

ПРОИЗВОДСТВО ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС



ББК 34.500.1я2

П80

УДК [621.833.002 : 658.527.011.56] (035)

Авторы: С. Н. Калашников, канд. техн. наук; А. С. Калашников, канд. техн. наук; Г. И. Коган, канд. техн. наук; А. И. Козловский, д-р техн. наук; И. А. Копор, канд. техн. наук; В. И. Корзинкин, канд. техн. наук; Н. Н. Марков, д-р техн. наук; Б. Н. Сильвестров, инж.; Б. А. Тайц, д-р техн. наук; Б. Ф. Федотов, канд. техн. наук; Л. Н. Гудым, инж.; Ц. З. Кринзберг, инж.; А. Б. Хохряков, инж.

Рецензент канд. техн. наук **Е. И. ТРОФИМОВА**

Производство зубчатых колес: Справочник / С. Н. Калашников, П80 А. С. Калашников, Г. И. Коган и др.; Под общ. ред. Б. А. Тайца.— 3-е изд., перераб. и допол.—М.: Машиностроение, 1990.—464 с.: ил. ISBN 5-217-00398-7

Приведены данные по технологии механической и термической обработки цилиндрических, конических и червячных колес различных видов, а также цилиндрических и глобондных червяков.

Третье издание (2-е изд. 1975 г.) переработано и дополнено сведениями о последних достижениях и передовом опыте производства зубчатых колес.

Для инженерно-технических работников машиностроительных заводов.

П $\frac{2702000000-607}{038(01)-90}$ 113—89

ББК 34.500.1я2

ISBN 5-217-00398-7

© Издательство «Машиностроение», 1975, с изменениями

© С. Н. Калашников, А. С. Калашников, Г. И. Коган и др., 1990, с изменениями

Раздел I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДСТВА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Глава 1. Общие сведения о зубчатых передачах (д-р техн. наук Б. А. Тацц)	9	2.5. Горячее накатывание зубьев цилиндрических колес	25
Глава 2. Изготовление заготовок зубчатых колес (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников)	16	2.6. Горячее накатывание конических колес с круговыми зубьями	26
2.1. Методы изготовления	16	2.7. Горячая штамповка конических колес с прямыми зубьями	26
2.2. Литье	18	2.8. Горячая штамповка конических колес с круговыми зубьями	28
2.3. Прокатка, высадка, штамповка и вырубка	21	Список литературы	28
2.4. Порошковая металлургия	24		

Раздел II. ПРОИЗВОДСТВО ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Обозначения геометрических параметров цилиндрических зубчатых колес	29	3.3. Типовые технологические маршруты (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	39
Обозначения отклонений и допусков для цилиндрических зубчатых передач по ГОСТ 1643—81	31	3.4. Технологические базы, требования к технологии изготовления заготовок (канд. техн. наук Г. И. Коган, инж. Б. Н. Сильвестров)	41
Обозначения параметров инструмента для цилиндрических зубчатых колес	32	3.5. Обработка заготовок (канд. техн. наук Г. И. Коган, инж. Б. Н. Сильвестров)	45
Глава 3. Изготовление цилиндрических колес с внешними зубьями	32	3.6. Обработка зубьев (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	49
3.1. Технологические требования к чертежам зубчатых колес (канд. техн. наук И. А. Копф)	32	3.7. Установка заготовок колес на зубообрабатывающих станках (канд. техн. наук Г. И. Коган)	54
3.2. Особенности технологии изготовления зубчатых колес (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	34	3.8. Обработка торцовых поверхностей зубьев (канд. техн.	

наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	58	5.3. Зубохонингование (канд. техн. наук В. И. Корзинкин)	135
3.9. Отделка базовых поверхностей после термической обработки (канд. техн. наук И. А. Копф)	59	5.4. Подбор комплектов зубчатых колес (канд. техн. наук В. И. Корзинкин)	138
3.10. Технологические методы упрочнения (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	62	5.5. Новые и специальные методы отделки зубчатых колес (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	139
3.11. Особенности восстановления зубчатых колес при ремонте машин (канд. техн. наук И. А. Копф)	63	Глава 6. Изготовление цилиндрических колес с шевронными зубьями (канд. техн. наук Г. И. Қоган, канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	141
3.12. Особенности изготовления зубчатых колес Новикова ДЛЗ (канд. техн. наук И. А. Копф)	65	Глава 7. Изготовление цилиндрических колес с внутренними зубьями (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	144
3.13. Особенности изготовления прецизионных зубчатых колес (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	70	Глава 8. Изготовление зубчатых реек (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	152
Глава 4. Нарезание зубьев цилиндрических колес с внешними зубьями	71	Глава 9. Допуски и контроль цилиндрических зубчатых передач	154
4.1. Зубофрезерование червячными фрезами (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. А. Б. Хохряков, инж. Ц. З. Кринзберг, инж. Б. Н. Сильвестров)	71	9.1. Нормирование точности цилиндрических зубчатых колес и передач (д-р техн. наук Б. А. Тайц, д-р техн. наук Н. Н. Марков)	154
4.2. Зубострогание (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	89	9.2. Система и виды контроля цилиндрических зубчатых колес (д-р техн. наук Б. А. Тайц, д-р техн. наук Н. Н. Марков)	159
4.3. Зубодобление (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	91	9.3. Приемочный контроль зубчатых колес в зависимости от назначения передачи (д-р техн. наук Б. А. Тайц, д-р техн. наук Н. Н. Марков)	160
4.4. Зубонарезание дисковыми и пальцевыми модульными фрезами (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	101	9.4. Профилактический и производственный контроль (д-р техн. наук Б. А. Тайц, д-р техн. наук Н. Н. Марков)	162
4.5. Специальные методы обработки (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	105	9.5. Допуски и контроль цилиндрических передач с зацеплением Новикова ДЛЗ (канд. техн. наук И. А. Копф)	186
Глава 5. Отделка зубьев цилиндрических колес с внешними зубьями	106	9.6. Основные направления механизации и автоматизации измерения зубчатых колес и передач (д-р техн. наук Б. А. Тайц, д-р техн. наук Н. Н. Марков)	188
5.1. Отделка термически неупрочненных зубьев (инж. Л. Н. Гудым, инж. Ц. З. Кринзберг, инж. Б. Н. Сильвестров)	106	Список литературы	190
5.2. Отделка термически упрочненных зубьев (канд. техн. наук И. А. Копф, инж. Б. Н. Сильвестров)	119		

Раздел III. ПРОИЗВОДСТВО КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Алфавитный указатель буквенных обозначений геометрических параметров конических зубчатых передач (ГОСТ 19325—73) . . . 192

Глава 10. Прогрессивные технологические процессы механической обработки (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 194

- 10.1. Конструктивные разновидности конических зубчатых колес . . . 194
- 10.2. Технические требования к заготовкам перед зубонарезанием и после термической обработки . . . 195
- 10.3. Выбор базовых поверхностей . . . 198
- 10.4. Оформление чертежа на конические колеса с круговыми зубьями . . . 199
- 10.5. Типовые технологические маршруты механической обработки конических зубчатых колес . . . 199

Глава 11. Обработка конических колес с прямыми зубьями 213

- 11.1. Методы нарезания зубьев (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 213
- 11.2. Нарезание дисковыми модульными фрезами (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 214
- 11.3. Нарезание двумя зубострогальными резцами (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 216
- 11.4. Нарезание двумя дисковыми фрезами (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 219
- 11.5. Нарезание методом кругового протягивания (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 223
- 11.6. Нарезание по шаблону (канд. техн. наук С. Н. Ка-

- лашиников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 228
- 11.7. Станки для нарезания конических колес с прямыми зубьями (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 230
- 11.8. Зажимные приспособления (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 234
- 11.9. Режущий инструмент (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 240
- 11.10. Обработка базовых поверхностей колес после термической обработки (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 246
- 11.11. Режимы резания (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 250
- 11.12. Шлифование зубьев (канд. техн. наук В. И. Корзинкин) . . . 255
- 11.13. Притирка (канд. техн. наук В. И. Корзинкин) . . . 259

Глава 12. Обработка конических колес с криволинейными зубьями . . . 260

- 12.1. Принцип образования зубьев (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 260
- 12.2. Технологические способы нарезания зубьев (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 261
- 12.3. Черновое нарезание зубьев методами врезания и обкатки (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 265
- 12.4. Чистовое нарезание зубьев методами копирования, обкатки и врезания (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников) . . . 268
- 12.5. Комбинированный метод нарезания зубьев (канд. техн.

наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников)	271	прия (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников)	313
12.6. Нарезание зубьев твердосплавными зуборезными головками (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников)	272	12.13. Нарезание зубьев методами фирмы «Клиндельберг» (ФРГ) (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников)	318
12.7. Снятие фасок с острых кромок зубьев (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников)	273	12.14. Подбор в пары (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников)	322
12.8. Станки для нарезания зубьев конических колес (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников)	276	12.15. Притирка зубьев колес конических передач (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников)	323
12.9. Зуборезные головки (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников)	281	12.16. Шлифование колес с криволинейной формой зубьев (канд. техн. наук В. И. Корзинкин)	326
12.10. Режимы резания (канд. техн. наук А. С. Калашников)	294	Глава 13. Допуски и контроль конических и гипоидных зубчатых передач (д-р техн. наук Б. А. Тайц, д-р техн. наук Н. Н. Марков)	335
12.11. Расчет параметров инструмента и данных для наладки зуборезных станков (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников)	298	13.1. Допуски конических и гипоидных зубчатых передач	335
12.12. Нарезание зубьев методом фирмы «Эрликон» Швейцарии		13.2. Контроль конических зубчатых колес	336
		Список литературы	345

Раздел IV. ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

Алфавитный указатель буквенных обозначений геометрических параметров червячных передач (ГОСТ 18498—73)	346	14.4. Рекомендуемые варианты зубообработки заготовок червяков и червячных колес	352
Глава 14. Изготовление червяков и червячных колес (канд. техн. наук Б. Ф. Федотов)	348	Глава 15. Изготовление цилиндрических червячных передач (канд. техн. наук Б. Ф. Федотов)	354
14.1. Классификация технологических процессов изготовления червяков и червячных колес	348	15.1. Обработка витков цилиндрических червяков	354
14.2. Технологические требования к оформлению чертежей на червяки и червячные колеса	349	15.2. Нарезание зубьев червячных колес	361
14.3. Принципы выбора технологических баз обработки червяков и колес, оборудования и технологической оснастки	350	Глава 16. Изготовление глобоидных передач (канд. техн. наук Б. Ф. Федотов)	364
		16.1. Нарезание витков глобоидных червяков	364
		16.2. Нарезание зубьев колес глобоидных передач	373

Глава 17. Особенности изготовления высокоточных червячных передач (канд. техн. наук Б. Ф. Федотов)	379	(д-р техн. наук Б. А. Тайц, д-р техн. наук Н. Н. Марков)	386
17.1. Делительные червячные цилиндрические передачи	379	18.2. Контроль цилиндрических червяков, червячных колес, передач и пар (д-р техн. наук Б. А. Тайц, д-р техн. наук Н. Н. Марков)	387
17.2. Прецизионные глобоидные передачи	383	18.3. Допуски на глобоидные передачи (канд. техн. наук Б. Ф. Федотов)	401
Глава 18. Допуски и контроль червячных цилиндрических и глобоидных передач	386	18.4. Контроль глобоидных червяков, колес, передач и пар (канд. техн. наук Б. Ф. Федотов)	402
18.1. Допуски на червячные цилиндрические передачи		Список литературы	405

Раздел V. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Глава 19. Автоматизация зубообрабатывающего оборудования (канд. техн. наук С. Н. Калашников, канд. техн. наук А. С. Калашников)	406	20.2. Предварительная термическая обработка заготовок для улучшения обрабатываемости резанием	427
19.1. Автоматизация зубообрабатывающих станков	406	20.3. Окончательная термическая обработка зубчатых колес	428
19.2. Автоматические линии	411	20.4. Оборудование для термической обработки зубчатых колес	444
19.3. Гибкие производственные системы	420	20.5. Деформирование зубчатых колес в результате термической обработки	445
Глава 20. Процессы, режимы и оборудование для термической обработки зубчатых колес (д-р техн. наук И. С. Козловский)	425	20.6. Контроль качества зубчатых колес, подвергаемых термической обработке	447
20.1. Основные процессы термической обработки	425	Список литературы	449
		Приложение	450
		Предметный указатель	459

ПРЕДИСЛОВИЕ

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года», указано на необходимость коренной реконструкции и опережающего развития машиностроительного комплекса. Намечается увеличение выпуска продукции машиностроения и металлообработки на 40—45 % и существенное повышение объема капитальных вложений на развитие машиностроительного комплекса.

Зубчатые передачи являются одним из важнейших элементов различных механизмов и машин. От качества их изготовления в значительной мере зависят эксплуатационные свойства этих машин, их надежность.

В справочнике нашли отражение передовые и перспективные направления производства зубчатых передач на основе отечественного и мирового опыта.

Основная цель нового издания — сравнение различных методов зубообработки по технико-экономическим показателям, ориентирование читателя на перспективные технологические решения, обеспечивающие высокие качество и производительность обработки.

Приведены данные по таким прогрессивным методам, как лезвийная обработка закаленных зубьев, зубокалибрование, по современным методам упрочняющей термообработки.

В новом издании уделено большое внимание автоматизации производственных процессов и использованию гибких производственных систем.

РАЗДЕЛ I

Общие вопросы производства зубчатых передач

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ

Зубчатые передачи служат для преобразования или передачи равномерного (реже неравномерного) вращательного движения между валами с параллельными, пересекающимися или скрещающимися осями, а также для преобразования вращательного движения в поступательное или колебательное движения посредством зубчатого зацепления. Зубчатые передачи выполняют в виде двух зубчатых колес, зубчатого колеса и рейки, червяка и червячного колеса, а также зубчатых деталей особой формы.

Передачи между валами с параллельными осями называют цилиндрическими и выполняют в виде двух цилиндрических зубчатых колес с внешним (рис. 1.1) (расчет геометрии см. ГОСТ 16532—70) или внутренним (рис. 1.2) зацеплением (расчет геометрии см. ГОСТ 19274—73). В цилиндрических передачах с внешним зацеплением начальная поверхность (аксоидная поверхность — круговой цилиндр) одного колеса при работе передачи находится в относительном движении: катится снаружи начальной поверхности (круговому цилиндру) другого колеса. В передачах с внутренним зацеплением наружная начальная поверхность одного колеса находится в относительном движении: катится внутри начальной поверхности другого колеса. В первом случае мгновенная ось относительного движения располагается между валами колес, во втором — валы колес находятся по одну сторону относительно мгновенной оси.

По виду зацепления цилиндрические передачи делят на передачи с эвольвентным, циклоидальным, часовым, цевочным, а также точечным или близким к линейчатому контактом (передачи Новикова). В машиностроении применяют в основном передачи с эвольвентным зацеплением [1] и передачи Новикова [5] (расчет геометрии см. ГОСТ 17744—72). По форме зуба цилиндрические зубчатые колеса делят на прямозубые (рис. 1.3), косозубые (рис. 1.4), шевронные (рис. 1.5) с криволинейными и круговыми зубьями.

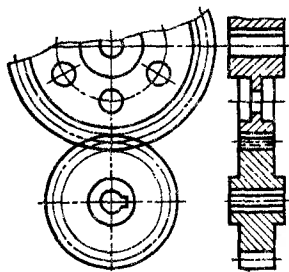


Рис. 1.1. Цилиндрическая передача с внешним зацеплением

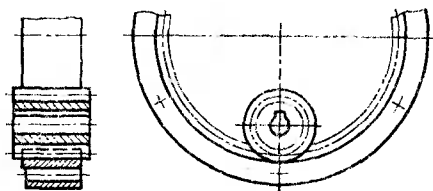


Рис. 1.2. Цилиндрическая передача с внутренним зацеплением

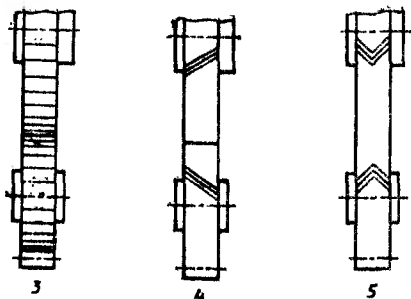


Рис. 1.3. Прямозубая цилиндрическая передача

Рис. 1.4. Косозубая цилиндрическая передача

Рис. 1.5. Шевронная цилиндрическая передача

В прямозубых колесах направление зубьев совпадает с образующей начальной поверхности (кругового цилиндра). В косозубых колесах винтовые зубья расположены под постоянным углом β на развертке соосной делительной поверхности, поэтому пара сопряженных зубьев вступает в работу не сразу по всей длине зубьев, а постепенно в продольном направлении. При угле наклона линии зубьев β , рабочей ширине венца b_w сопряженных колес достигается (дополнительно к торцовому) коэффициент осевого перекрытия (см. ГОСТ 16532—70) косозубой передачи $\epsilon_\beta = b_w \sin \beta / (\pi m)$.

Эти особенности косозубых колес обеспечивают плавную и бесшумную ра-

боту передач с меньшими динамическими нагрузками, чем прямозубые колеса. Недостатком косозубых колес является наличие осевых сил, возникающих при работе передачи вследствие наклона линии зубьев.

Шевронные колеса (см. рис. 1.5), имеющие косые зубья на двух участках по ширине венца с противоположными направлениями, обладают всеми преимуществами косозубых колес, а вследствие противоположного направления зубьев не создают осевых сил на подшипники. Шевронные колеса могут передавать большие мощности, чем прямозубые и косозубые колеса.

Косозубые и шевронные колеса целесообразно применять в среднескоростных и быстроходных передачах, к бесшумности колес которых предъявляются высокие требования [1].

В передачах с зацеплением Новикова зубья расположены так же, как в косозубых передачах, под постоянным углом β к образующей начальной поверхности. Пара сопряженных зубьев входит в зацепление постепенно в направлении осей сопряженных колес. Плавность зацепления обеспечивается благодаря перекрытию зубьев только в осевом направлении. В торцовой плоскости колес перекрытие профилей зубьев отсутствует. Радиус кривизны профилей в плоскости, перпендикулярной к линии контакта, очень велик, поэтому контактные напряжения невелики [5] и колеса могут передавать большую нагрузку в течение продолжительного времени до появления выкрашивания металла по причине его усталости. Работа с меньшими напряжениями обеспечивается передачей Новикова с двумя линиями зацепления (ДЛЗ) (ГОСТ 17744—72). Зацепление Новикова целесообразно применять в тяжело нагруженных передачах.

Передачи между валами с перекрещивающимися осями разделяют на конические (рис. 1.6) и смешанно-конические. В конических передачах аксоидными поверхностями сопряженных колес являются круговые конусы. По форме зуба различают конические колеса прямозубые (рис. 1.7), косозубые или с тангенциальными (рис. 1.8) и с криволинейными зубьями (рис. 1.9). В прямозубых конических колесах направление зубьев совпадает с образующими делительной поверхности (кругового конуса) (расчет геометрии см. ГОСТ 19624—74). В косозубых конических колесах зубья расположены под постоянным углом наклона β к образующим начальной поверхности. К коническим колесам с криволинейным зубом относятся колеса с круговым зубом (расчет геометрии см. ГОСТ 19326—73) (фрезеруемые

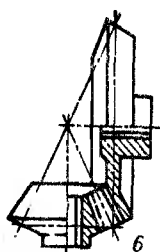


Рис. 1.6. Коническая передача



Рис. 1.7. Прямозубое коническое колесо



Рис. 1.9. Коническое колесо с криволинейным зубом

Рис. 1.8. Косозубое коническое колесо

с помощью конической червячной фрезы), с циклоидальным (гипоциклоидальным эллипсоидальным) и шевронным зубом. Шевронные конические колеса (а так же «Зерол») имеют зубья, подобные зубьям цилиндрических шевронных колес но с противоположным направлением наклона линии зуба, благодаря чему при их работе не возникают дополнительные осевые силы, вызываемые наклоном линии зубьев. Принципиальное различие между указанными выше коническими колесами с криволинейными зубьями заключается в основном в методе обработки зубьев.

Конические передачи изготовляют нескольких видов:

обкатные — обработка зубьев колес пары осуществляется методом обкатки;

полуобкатные — обработка зубьев колеса производится методом копирования (профиль зубьев прямолинейный), а шестерни — методом обкатки (профиль зубьев криволинейный и сопряжен с прямобочным профилем зубьев колеса);

из прямозубых зубчатых колес с круговым профилем зубьев, обрабатываемых дисковой протяжкой методом кругового протягивания;

с круговинтовым зацеплением, при котором обработка зубьев осуществляется методом обкатки или полуобкатным методом.

Смешанно-конические передачи — это зубчатые передачи, у которых одно колесо цилиндрическое, а другое — коническое с зубьями, имеющими особую форму боковой поверхности. Несущая способность таких передач меньше, чем обычных.

В связи с малым распространением смешанно-конических передач их производство в справочнике не рассмотрено.

Передачи между валами со скрещивающимися осями. К ним относятся винтовые (рис. 1.10), гипоидные (рис. 1.11), спироидные (рис. 1.12) и червячные (рис. 1.13 и 1.14) передачи. Межосевой угол этих передач может находиться в пределах $0 < \Sigma \leq 90^\circ$, но в практике чаще всего применяются ортогональные передачи с межосевым углом $\Sigma = 90^\circ$. Общим недостатком этих передач является повышенное скольжение зубьев, вследствие чего КПД их ниже, чем передач с параллельными и пересекающимися осями валов. Продольное скольжение способствует более интенсивному износу боковых поверхностей зубьев, разрыву масляной пленки при больших скоростях и передаваемых нагрузках и заеданию зубьев.

Винтовые передачи (см. рис. 1.10). Начальными поверхностями винтовых передач являются цилиндры, заменяющие часть поверхности гиперболоидов.

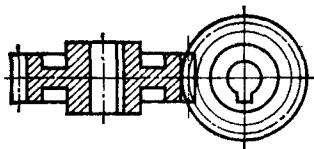


Рис. 1.10. Винтовая передача

лоида, симметрично расположенную относительно горлового сечения. Касание боковых поверхностей сопряженных зубьев происходит не по линии, а в точке. Профили зубьев в винтовых передачах испытывают большое давление и быстро изнашиваются. Концентрация передаваемой окружной силы в одной точке исключает возможность их применения для тяжело нагруженных передач. Поэтому

они применяются в передачах с небольшим крутящим моментом (в кинематических цепях делительных механизмов, в приборах и т. д.).

Производство колес для винтовых передач аналогично изготовлению косозубых цилиндрических колес.

Гипоидные передачи (см. рис. 1.11). Кинематика гипоидных передач аналогична кинематике винтовых передач. Начальными поверхностями гипоидных передач являются однополые гиперболоиды вращения, которые заменяются приближенными к ним усеченными конусами. Гипоидные колеса выполняются с косыми или круговыми зубьями. Зубья косозубых гипоидных колес, как у прямозубых цилиндрических и конических колес, соприкасаются при работе передачи одновременно по всей своей длине. Гипоидные колеса с круговым зубом по внешнему виду не отличаются от конических колес с круговым зубом. В этих передачах имеется гипоидное смещение E (см. рис. 1.11) оси ведущего (малого) колеса относительно оси ведомого (большого) колеса. Ввиду гипоидного смещения сопряженные колеса должны быть выполнены с различными углами наклона, а также различными профильными углами на противоположных сторонах зубьев. Обычно угол наклона линии зуба шестерни колеблется в пределах $45\text{--}50^\circ$, а колеса — в пределах $23\text{--}25^\circ$.

Гипоидные передачи теоретически имеют точечный контакт боковых поверхностей зубьев, но ввиду небольшого отхода сопряженных поверхностей зубьев гипоидные передачи по своей несущей способности не уступают передачам с линейчатым контактом, в то же время они позволяют расширить допуски на точность изготовления и монтаж колес. Большой угол линии наклона зубьев малого колеса (β до 50°) дает возможность значительно увеличить коэффициент продольного перекрытия зубьев, уменьшить приведенный радиус кривизны и увеличить диаметр шестерни при сохранении диаметра большого колеса по сравнению

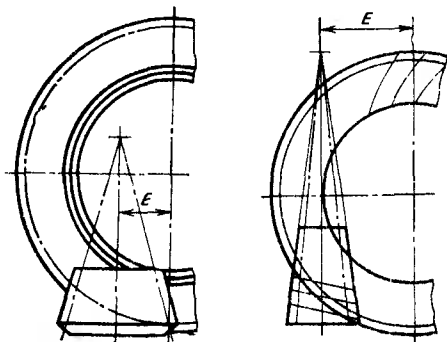


Рис. 1.11. Гипоидная передача

Рис. 1.12. Спироидная передача

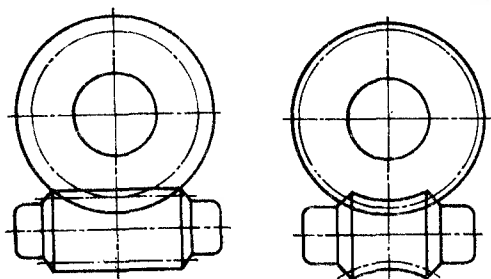


Рис. 1.13. Цилиндрическая червячная передача

Рис. 1.14. Глобоидная червячная передача

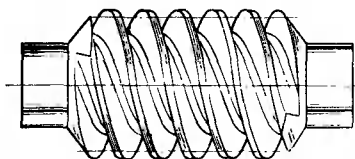


Рис. 1.15. Червяк цилиндрической червячной передачи

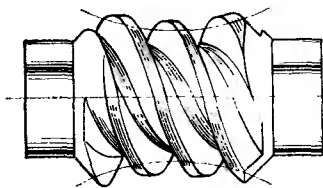


Рис. 1.16. Червяк глобоидной передачи

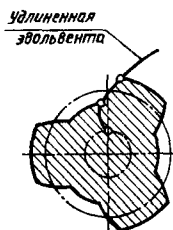


Рис. 1.17. Коиловолутный червяк ZN

с теми же параметрами конических передач. Вследствие большого диаметра шестерни увеличивается толщина зубьев колеса при сохранении общих габаритов передачи. Указанные особенности гипоидных зубчатых колес обеспечивают плавную и бесшумную работу передачи, высокую несущую способность, долговечность и прочность зубьев.

Спирои́дные пе́реда́чи (см. рис. 1.12). По внешнему виду спироидные передачи очень похожи на гипоидные, имеющие большой угол наклона и малое число зубьев ведущего колеса. Ведущим звеном спироидной передачи является спироидный конический червяк с постоянным шагом и углом наклона боковой поверхности витка (винтовые зубья). Смещение E конического червяка относительно оси ведомого колеса в спироидных передачах значительно больше аналогичного смещения ведущего колеса гипоидной передачи.

По кинематике зацепления спироидные передачи аналогичны червячным; они также имеют значительное число зубьев в одновременном зацеплении и поэтому могут передавать большие крутящие моменты по сравнению с передачами других видов.

С помощью осевого перемещения червяка в спироидных передачах можно регулировать боковой зазор между зубьями колеса и червяка, а также компенсировать износ зубьев в процессе эксплуатации передачи. Передача дает возможность достигать передаточного числа $300 : 1$ (и больше). С увеличением передаточного числа и смещения конического червяка КПД спироидной передачи уменьшается. При передаточном числе в пределах до $25 : 1$ КПД тот же, что у червячных передач. В пределах передаточных чисел ниже $25 : 1$ КПД спироидных колес заметно возрастает. Вследствие небольшого межосевого расстояния между колесом и червяком корпус спироидной передачи может быть очень компактным.

Спироидные передачи целесообразно применять в тех случаях, когда требуется получить высокую точность деления, беззазорное зацепление, а также большие передаточные числа в одной паре колес. В связи с малым распространением этих передач их производство в справочнике не рассматривается.

Червячные передачи. Существуют червячные передачи двух видов: цилиндрические и глобоидные.

Цилиндрическая червячная передача. У червяка и колеса этой передачи делительные и начальные поверхности цилиндрические (расчет геометрии см. ГОСТ 19650—74). Начальная поверхность червячного колеса является его делительной поверхностью (см. рис. 1.13).

Глобоидная червячная передача — это передача, у которой делительная поверхность червяка — винтовая, она образована вращением вокруг оси червяка вогнутого отрезка дуги делительной окружности парного чер-

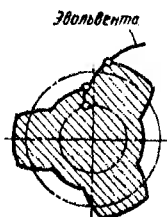


Рис. 1.18. Эвольвентный червяк ZI

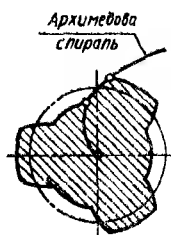


Рис. 1.19. Архимедов червяк ZA

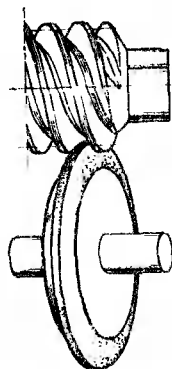


Рис. 1.20. Цилиндрический, образованный конусом червяк ZK

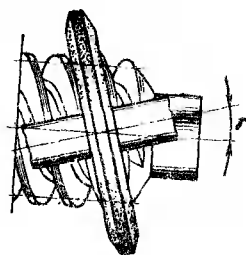


Рис. 1.21. Цилиндрический, образованный конусом червяк ZK1

вячного колеса, лежащего в плоскости его торцового сечения, в котором находится межосевая линия червячной передачи. При этом линия делит отрезок дуги окружности пополам, а делительная поверхность червячного колеса — цилиндрическая (см. рис. 1.14). Указанные виды червячных передач имеют несколько различных типов и модификаций червяков, основными из которых являются цилиндрический и глобоидный червяки (см. расчет геометрии ГОСТ 17696—80).

Червяк цилиндрической червячной передачи. Теоретическая поверхность витка червяка — винтовая, образована относительно оси, совпадающей с осью червяка. Различают геликоидный и нелинейный цилиндрические червяки. У первого теоретические поверхности витков могут быть образованы прямой линией, у второго — не могут (рис. 1.15).

Червяк глобоидной передачи. Теоретическая поверхность витка червяка может быть образована линией, лежащей в плоскости торцового сечения парного колеса, через которую проходит межосевая линия червячной передачи, при вращении вокруг осей червяка и колеса с отношением угловых скоростей, равным передаточному числу червячной передачи. Различают линейчатый и нелинейчатый глобоидные червяки, теоретические поверхности витков которых образованы соответственно прямой и кривой линиями (рис. 1.16).

Различают следующие разновидности цилиндрических червяков: конволютный червяк ZN; эвольвентный червяк ZI; Архимедов червяк ZA; цилиндрический, образованный конусом червяк (три вида) ZK; цилиндрический, образованный тором червяк (два вида) ZT.

Конволютный червяк ZN — цилиндрический геликоидный червяк. Теоретический торцовый профиль его витка является удлинённой или укороченной эвольвентой. Теоретическая поверхность витка конволютного червяка может быть образована прямой, касающейся при движении некоторой соосной цилиндрической поверхности в точках винтовой линии с ходом, равным ходу витка червяка, и составляющей постоянный угол с касательной к винтовой линии (рис. 1.17). Различают конволютные червяки трех видов: ZN1 — конволютные червяки с прямолинейным профилем витка, ZN2 — конволютные червяки с прямолинейным профилем впадины, ZN3 — конволютные червяки с прямолинейным нормальным профилем витка.

Рис. 1.22. Цилиндрический, образованный конусом червяк ZK2

Эвольвентный червяк Z1 — цилиндрический геликоидный червяк. Теоретический торцовый профиль его витка является эвольвентой окружности. Эвольвентный червяк представляет собой разновидность конволютного червяка, у которого прямая, образующая поверхность витка, касательна к винтовой линии, находящейся на соосной цилиндрической поверхности (рис. 1.18).

Архимедов червяк ZA — цилиндрический геликоидный червяк. Теоретический торцовый профиль витка червяка является архимедовой спиралью; теоретическая поверхность этого червяка может быть образована при винтовом движении прямой, пересекающей ось червяка (рис. 1.19).

Цилиндрический, образованный конусом червяк ZK. Главная поверхность его витка является огибающей производящего конуса при его винтовом движении относительно червяка с осью винтового движения, совпадающей с осью червяка (рис. 1.20). Различают червяки трех видов: ZK1 — цилиндрические, образованные конусом, ось которых скрещивается с осью производящего конуса под углом, равным делительному углу подъема линии витка червяка (рис. 1.21); ZK2 — цилиндрические, образованные конусом, ось которых пересекается с осью производящего конуса под прямым углом (рис. 1.22); ZK3 — цилиндрические, образованные конусом, ось которых скрещивается с осью производящего конуса под прямым углом (рис. 1.23).

Цилиндрический, образованный тором червяк ZT. Главная поверхность его витка является огибающей части внешней поверхности производящего тора при его винтовом движении относительно червяка с осью винтового движения, совпадающей с осью червяка. Различают два вида этих червяков: ZT1 — цилиндрические, образованные тором червяки, ось которых скрещивается с осью производящего тора под углом, равным делительному углу подъема витка червяка (рис. 1.24); ZT2 — цилиндрические, образованные тором, ось которых скрещива-

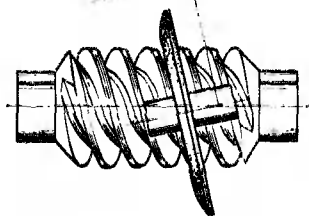
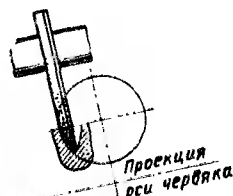
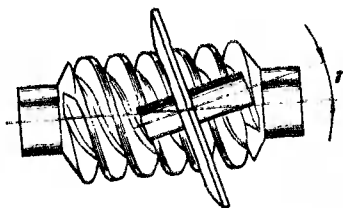
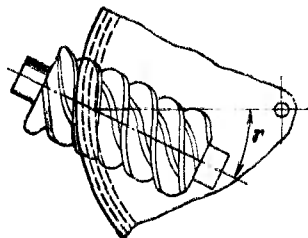
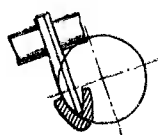
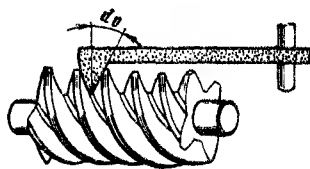
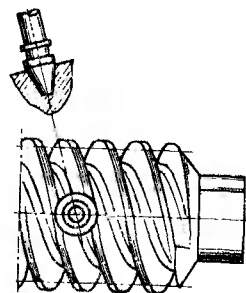


Рис. 1.23. Цилиндрический, образованный конусом червяк ZK3

Рис. 1.24. Цилиндрический, образованный тором червяк ZT1

Рис. 1.25. Цилиндрический, образованный тором червяк ZT2

ется с осью производящего тора под углом, при котором одно из плоских сечений главной поверхности червяка является дугой окружности, совпадающей с образующей производящего тора (рис. 1.25).

Реечные передачи применяют для создания равномерного поступательного движения.

Для передачи неравномерного вращательного движения между параллельными валами применяются некруглые зубчатые колеса.

Требования к показателям точности зубчатых передач всех видов для выполнения ими своего служебного назначения (т. е. передачи вращательного движения между валами или преобразования вращательного движения в поступательное или колебательное) идентичны. Эти требования относятся к погрешности передаточного отношения (кинематическая точность) за один оборот, местной кинематической точности, погрешности контактирования по боковым поверхностям и зазорам между неработающими профилями. Как правило, выполнение этих требований достигается точностью изготовления идентичных параметров перечисленных зубчатых передач.

При рассмотрении вопросов изготовления зубчатых передач в справочнике обращено внимание на обеспечение перечисленных показателей точности. Отдельно рассмотрены вопросы нормирования и контроля параметров колес и передач цилиндрических (гл. 9), конических (гл. 13) и червячных (гл. 18).

Глава 2

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

2.1. Методы изготовления

Зубчатые колеса в зависимости от области применения изготавливают из различных материалов: стали, чугуна, цветных металлов, пластмасс и др. Каждый из этих материалов удовлетворяет определенным требованиям. Самым распространенным материалом, из которого изготавливают зубчатые колеса, является сталь. Ее применяют для зубчатых передач автомобилей, тракторов, самолетов, станков и других машин, которые передают большие нагрузки. Определяющими факторами для этих колес являются: прочность зубьев на изгиб, контактная прочность и износ зубьев. При этом следует учитывать стоимость материала, возможность обработки резанием, степень деформирования в процессе закалки и т. д.

Для снижения уровня шума зубчатые колеса изготавливают из чугуна и пластмассы. Эти материалы по сравнению со сталью имеют меньшую стоимость, лучшую обрабатываемость, но колеса из этих материалов передают меньший крутящий момент, чем стальные колеса. Зубчатые венцы червячных колес чаще всего изготавливают из бронзы, которая обладает высокими антифрикционными и антикоррозионными свойствами. Зубчатые колеса насосов экономично изготавливать из металлического порошка.

Выбор метода изготовления заготовки зависит от формы и размеров детали, ее материала и назначения, объемов производства и т. д. Лучшим методом явля-

ется тот, при котором заготовки получают более дешевыми, включая стоимость последующей механической обработки, и имеют требуемое качество. Важнейшим фактором при выборе метода изготовления заготовок является экономия металла. Значительное сокращение расхода металла достигается при использовании технологических процессов малоотходного производства заготовок, размеры которых максимально приближаются к размерам деталей. Экономия металла достигается благодаря сокращению припусков под механическую обработку и повышению точности размеров заготовки. Уменьшается трудоемкость механической обработки благодаря более высоким режимам резания, исключению черновых операций, например точения, зубофрезерования и других, а также замене их полустистыми и чистовыми операциями.

В крупносерийном и массовом производстве к числу основных малоотходных методов изготовления заготовок зубчатых колес относятся: поперечно-клиновая прокатка ступенчатых валов, горячая высадка на многопозиционных автоматах, холодная штамповка, порошковая металлургия, горячее накатывание и горячая штамповка заготовок с зубьями, вырубка.

Особенно высокие требования предъявляют к качеству заготовок, которые предназначены для обработки в автоматизированном производстве (автоматы, автоматические линии, гибкие производственные системы) с применением ЧПУ. К этим заготовкам обычно предъявляют более жесткие требования в отношении припусков, точности размеров, твердости, структуры металла, массы и т. д. Перед механической обработкой заготовки целесообразно подвергать входному контролю в соответствии с техническими условиями.

В мелкосерийном производстве заготовки зубчатых колес, особенно крупных размеров, изготавливают другими методами. Заготовки обычно имеют простую форму с повышенными и неравномерными припусками под последующую механическую обработку, резким колебанием твердости и др. Чтобы уменьшить трудоемкость изготовления заготовок в процессековки и последующей механической обработки форму заготовки целесообразно ограничивать плоскими или цилиндрическими поверхностями, избегать применения заготовок сложных ступенчатых форм.

Типовой технологический маршрут изготовления кованных и штампованных заготовок: очистка металла от поверхностных дефектов, разрезка на мерные части, нагрев заготовки, осадка и штамповка заготовки за несколько рабочих ходов, пробивка отверстия у колес-дисков, обрезка облоя, термообработка.

В последнее время значительно усовершенствована трудоемкая и низкого качества операция резки на пилах, ножницах и др. Высокая производительность и хорошее качество среза круглых и фасонных прутков достигаются на специальных отрезных станках, например НТ-62, НТ-125, НТ-200, НТ-250 фирмы «Кизерлинг» (ФРГ). Во время резки два охватывающих режущих инструмента приводятся в действие одновременно от двух маховиков с кулачками. В результате двустороннего отрезного удара металл срезается ровно. Производительность 150—300 дет/мин, допуск на длину заготовки $\pm 0,15$ мм. Поверхность среза получается чистой, без заусенцев. Для повышения точности заготовок в автомат можно встраивать мини-ЭВМ, контролирующую длину отрезанной части прутка, что обеспечивает постоянство объема (массы) заготовки.

Технология горячейковки и штамповки оказывает значительное влияние на процесс изготовления и качество зубчатого колеса. Неправильная штамповка влияет на обрабатываемость резанием, срок службы инструмента, деформацию при термообработке, стоимость обработки, параметр шероховатости окончательно

обработанных поверхностей, срок службы зубчатого колеса. Основная причина в том, что штамп недостаточно наполнен для получения требуемой плотности и исключения пористости в штампованных заготовках. Гарантированное требуемое наполнение штампа достигается путем увеличения температуры штамповки для обеспечения однородного пластического течения, удаления окалины и раковины в ковочном штампе, увеличения размера штампованной заготовки. Правильно отштампованная заготовка зубчатого колеса имеет максимальную однородную плотность. Окалина и другие инородные частицы не должны попадать в заготовку. После штамповки заготовки подвергают нормализации или отжигу. Крупнозернистая структура, полученная при температурековки, переходит в более мелкую. Это позволяет уменьшить деформацию во время последующей термообработки и улучшить обрабатываемость. Структура металла должна состоять из феррита и перлита, твердость HB 170—207.

2.2. Литье

Литье является традиционным методом изготовления зубчатых колес без снятия стружки. Точность таких колес в большинстве случаев была недостаточной. Чтобы максимально приблизить форму и размеры заготовки к форме и размерам готовой детали, разработаны более совершенные и производительные методы литья заготовок.

Литье в кокиль применяют для изготовления заготовок прямозубых цилиндрических колес, зубчатых секторов, конических колес с прямыми зубьями и др. Отливки получают путем разливания жидкого металла в кокили, изготовленные из стали или графита. В качестве литейного материала для изготовления зубчатых колес используют преимущественно чугун с шаровидным или пластинчатым графитом, а также медь и медные сплавы. Точность заготовок с зубьями зависит от точности кокиля, размера и формы детали, качества литейного материала. Зубчатые колеса, полученные литьем в кокиль без дополнительной обработки зубьев, применяют в механизмах и приводах, работающих при низких окружных скоростях и с повышенным боковым зазором между зубьями.

Литье под давлением применяют для изготовления зубчатых колес из цветных металлов. В этом случае жидкий металл под высоким давлением и при высокой скорости заливается в закаленные стальные формы. Этим методом можно изготавливать зубчатые колеса с внешним и внутренним зацеплением. Из цинковых сплавов отливают зубчатые колеса с модулем 0,3 мм и выше, из сплавов легких металлов — с модулем 0,5 мм и выше, из медных сплавов — с модулем 1,5 и выше. Наиболее высокая точность (9—10-я степень) достигается при литье под давлением мелких деталей из цинковых сплавов. Для точных зубчатых колес, отлитых под давлением из цинкового сплава, в большинстве случаев не требуется дополнительная обработка зубьев, а для деталей из легких металлов и медных сплавов почти всегда необходима дополнительная обработка зубьев, для чего на боковых поверхностях зубьев оставляют припуск.

Следует также отметить, что для преодоления значительных сил вследствие усадки под выталкивателем необходимо предусматривать специальную площадку, которая позволяет извлечь отливку из формы без повреждения зубчатого венца.

Литье по выплавляемым моделям применяют для изготовления заготовок и зубчатых колес сложной формы из стали и цветных металлов. Литье выполняют по высокоточным керамическим моделям, которые точно соответствуют контуру обрабатываемой заготовки. Этот метод изготовления обеспечивает высокую точ-

ность: большинство поверхностей заготовки не требуют механической обработки, а часть поверхностей подвергается только чистовой или финишной обработке. Допуск на размер при точном литье составляет $\pm 0,3$ мм, или $\pm 0,7$ % номинального размера. Экономически выгодно литье по выплавляемым моделям применять для изготовления деталей сложной формы.

Зубчатые венцы червячных колес обычно отливают из бронзы с припуском по всем поверхностям для последующей механической обработки. Обработанный зубчатый венец устанавливают и закрепляют на стальной или чугунной ступице. У точных зубчатых колес зубчатый венец перед нарезанием обрабатывают окончательно в сборе со ступицей, выполняя базирование по отверстию ступицы. Червячные колеса небольшого размера отливают совместно со ступицей.

В табл. 2.1 приведены допустимые отклонения размеров отливок из чугуна и припуски на механическую обработку трех классов точности (ГОСТ 1855—55). В ГОСТе допускаются различные классы точности для различных размеров одной и той же отливки. На механическую обработку отливаемых отверстий должны приниматься припуски (табл. 2.2) I, II и III классов (верхней или нижней части отливки, независимо от расположения отверстий). Припуски на механическую обработку отливок III класса точности диаметром до 50 мм не предусматриваются.

2.1. Допустимые отклонения, мм, размеров отливок из серого (в том числе модифицированного) чугуна под последующую механическую обработку

Габаритные размеры заготовки, мм	Номинальный размер, мм											
	До 50			Св. 50 до 120			Св. 120 до 260			Св. 260 до 500		
	Класс точности											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
До 120	±0,2	—	—	±0,3	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 120 до 260	±0,3	±0,5	—	±0,4	±0,8	—	±0,6	±1,0	—	—	—	—
Св. 260 до 500	±0,4	±0,8	±1,0	±0,6	±1,0	±1,5	±0,8	±1,2	±2,0	±1,0	±1,5	±2,5
Св. 500 до 1250	±0,6	±1,0	±1,2	±0,8	±1,2	±1,8	±1,0	±1,5	±2,2	±1,2	±2,0	±3,0

На рис. 2.1 показана заготовка зубчатого колеса из серого чугуна.

Зубчатые колеса из пластмассы. В последнее время широкое применение в машиностроении получают зубчатые колеса из пластмасс, изготовленные литьем, взамен металлических. Основными преимуществами изготовления деталей из пластмасс являются экономия металла и снижение массы. Из пластмассы изготовляют цилиндрические зубчатые колеса с прямыми и косыми зубьями, а также целые приводные мелко модульные узлы. Колеса из пластмассы нашли применение в счетчиках, телефонной и электронной технике, стеклоочистителях, приводе спидометра (червяк, колесо и втулка подшипника) автомобиля и др. Благодаря эластичности материала зубчатые передачи из пластмассы в большинстве случаев работают в беззаворном зацеплении плавно и бесшумно и характеризуются хорошими антифрикционными свойствами.

Точность зубчатых колес из пластмассы, без дополнительной обработки, соответствует 8—9-й степени, допуски на размеры составляют 0,02 мм, или 0,3 %

2.2. Припуски, мм, на механическую обработку отливок из серого чугуна

Габаритные размеры заготовки, мм	Номинальный размер, мм											
	До 50		Св. 50 до 120			Св. 120 до 260			Св. 260 до 500			
	Класс точности											
	I	II	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
До 120	2,5	3,5	2,5	4,0	4,5	—	—	—	—	—	—	
	2,0	2,5	2,0	3,0	3,5							
Св. 120 до 260	2,5	4,0	3,0	4,5	5,0	3,0	5,0	5,5	—	—	—	
	2,0	3,0	2,5	3,5	4,0	2,5	4,0	4,5				
Св. 260 до 500	3,5	4,5	3,5	5,0	6,0	4,0	6,0	7,0	4,5	6,5	7,0	
	2,5	3,5	3,0	4,0	4,5	3,5	4,5	5,0	3,5	5,0	6,0	
Св. 500 до 800	4,5	5,0	4,5	6,0	7,0	5,0	6,5	7,0	5,5	7,0	8,0	
	3,5	4,0	3,5	4,5	5,0	4,0	4,5	5,0	4,5	5,0	6,0	
Св. 800 до 1250	5,0	6,0	5,0	7,0	7,0	6,0	7,0	8,0	6,5	7,5	8,0	
	3,5	4,0	4,0	5,0	5,0	4,5	5,0	6,0	4,5	5,5	6,0	

номинального размера (рис. 2.2). Важными факторами, определяющими качество и точность пластмассовых деталей являются: конструкция детали, точность пресс-формы и метод обработки. Лучшим методом изготовления деталей из пластмассы является литье под давлением. Детали из пластмассы должны изготавливаться за один рабочий цикл. При разработке чертежа на деталь необходимо учитывать усадку при охлаждении. Деталь должна иметь простую симметричную форму с одинаковой толщиной стенок. Неравномерное распределение материала в заготовке, а также острые углы приводят к неравномерной усадке, образованию раковин и ухудшению структуры материала.

Пресс-форма должна изготавливаться точнее, чем деталь, в ее конструкции необходимо предусмотреть места для впуска пластмассы, положение плоскости разъема, систему выталкивания. Наиболее высокие требования предъявляют к точности изготовления вставки для зубчатого колеса, вследствие усадки в ряде

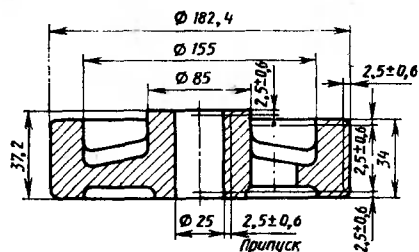


Рис. 2.1. Заготовка зубчатого колеса из серого чугуна

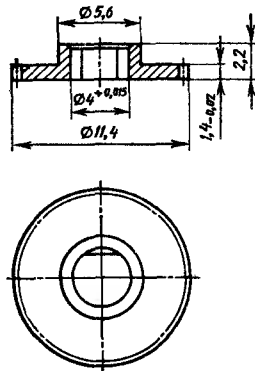


Рис. 2.2. Зубчатое колесо из пластмассы

случаев приходится корректировать угол профиля инструмента. На качество конечного продукта оказывает влияние температура материала и пресс-формы, давление, время охлаждения.

2.3. Прокатка, высадка, штамповка и вырубка

Поперечно-клиноватая прокатка круглыми роликами или плоскими плашками (рис. 2.3) применяется для изготовления заготовок валов ступенчатой формы. В процессе обработки заготовка 2 автоматически вращается между двумя круглыми роликами 1, 3, установленными на параллельных осях. На поверхности роликов установлены клиновые копиры 4, которые во время вращения постепенно внедряются в заготовку и формируют требуемую форму заготовки. За один оборот роликов заготовка полностью обрабатывается. Если длина заготовки невелика, возможна прокатка двух и более заготовок одновременно. Метод поперечно-клиновой прокатки по сравнению с горячей штамповкой на молотах или прессах позволяет благодаря сокращению припусков и облоя по периметру заготовки уменьшить расход металлопроката на 10—15 %. Припуск на механическую обработку уменьшается от 2,0—2,5 мм до 1,0—1,5 мм. Производительность прокатных станков составляет 360—900 шт/ч.

Горячая высадка на многопозиционных автоматах применяется для изготовления заготовок дисков, подшипниковых колец и др. Технологический процесс высадки полностью автоматизирован. В качестве исходного материала применяют горячекатаный прутки.

Ниже приведен допуск на диаметр прутка в зависимости от диаметра.

Диаметр прутка, мм	15,5—25	25,5—35	36—50	51—80
Допуск на диаметр, мм	$\pm 0,5$	$\pm 0,6$	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$

Прутки автоматически (непрерывно) подаются со стеллажа в индуктор, где они нагреваются до температурыковки. Ролики механизма подачи подают нагретые прутки в горизонтальный горячештампованный автомат. На позиции отрезки от прутка отрезается мерная заготовка и подается к матрицам.

На первой (иногда на первых двух) позиции (высадочная плита или матрица) производится осадка заготовки (рис. 2.4, а) для получения хорошего распределения материала и удаления окалины, на второй — производится предварительное, а на третьей — окончательное формообразование. Четвертая позиция обыч-

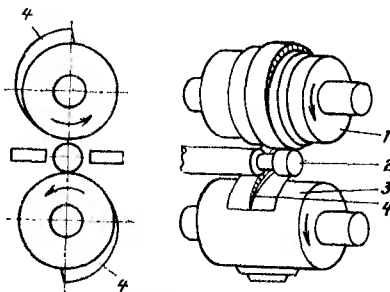


Рис. 2.3. Схема поперечно-клиновой прокатки заготовок круглыми роликами

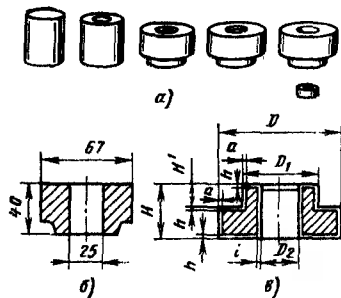


Рис. 2.4. Заготовка зубчатого колеса, изготовления на многопозиционном автомате: а — последовательность горячей высадки; б — размеры заготовки; в — допуски и припуски на основные размеры заготовки

но используется для прошивки отверстия. Формообразование производится в закрытых штампах, поэтому заготовки не имеют заусенцев и штамповочных уклонов. Заготовки имеют чистую поверхность, хорошие механические свойства, высокую точность (табл. 2.3 и 2.4) и небольшие припуски на механическую обработку. На заготовки одинаковых размеров расходуется металла примерно на 25 % меньше, чем при обработке на обычных кривошипно-штамповочных прессах. Многопозиционные автоматы имеют высокую производительность 70—100 шт/мин. При высадке заготовки диаметром 67 мм и высотой 40 мм (рис. 2.4, б) производительность автомата 70 шт/мин, отход металла в стружку около 6 %.

2.3. Допуск, мм, на размеры заготовки
(рис. 2.4, а)

Параметры заготовки	Номинальный диаметр заготовки, мм			
	35	65	90	120
Диаметры D и D_1	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$
Диаметр D_2	$-0,3$	$-0,4$	$-0,6$	$-0,6$
Высота H и H'	$\pm 0,2$	$\pm 0,25$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$
Разность толщин стенок, не более	0,5	0,6	0,8	1,0

2.4. Минимальные припуски, мм, на сторону заготовки (рис. 2.4, в)

Параметры заготовки	Наибольший диаметр заготовки D , мм			
	30	50	80	120
a	0,35	0,5	0,65	0,75
h	0,6	0,6	0,8	1,0
i	0,5	0,75	1,0	1,2

Холодная объемная штамповка применяется в машиностроении для изготовления крепежных, а также более сложных и крупных деталей. Основные преимущества метода: высокая производительность, высокий коэффициент использования металла (близок к единице), малая трудоемкость механической обработки. Этим методом получают заготовки зубчатых колес, а также конических и цилиндрических колес с прямыми зубьями. Коническое колесо дифференциала автомобиля диаметром 80 мм штампуют с зубьями и отверстием, производительность до 2000 шт/ч. После отжига окончательно обрабатывают зубья (припуск на сторону зуба 0,2 мм), отверстие после термообработки шлифуют или хонингуют. Коэффициент использования около 0,97, снижен объем механической обработки.

Холодное выдавливание за последнее время значительно усовершенствовано. Известны три разновидности холодного выдавливания: прямое (рис. 2.5, а), обратное (рис. 2.5, б) и комбинированное (рис. 2.5, в), а также осадка головки 6 (рис. 2.5, г). Металл заготовки 3 течет через отверстие матрицы 2 в направлении движения пуансона 1, диаметр заготовки уменьшается до 35 %, а длина заготовки увеличивается. При обратном выдавливании (рис. 2.5, б) металл заготовки 3 под действием головки 5 пуансона 1 течет в направлении, обратном движению пуансона 1. Этот метод обычно применяют для изготовления заготовок 4 с закрытым отверстием, глубина отверстия не должна превышать двух-трехкратного размера отверстия. Для уменьшения трения при выдавливании у калибрующей головки 5 пуансона 1 (рис. 2.5, б, в) предусматривают шлифованный поясok шириной 0,8—1,5 мм, торцы пояска скруглены и хорошо полированы. Комбинированный метод сочетает в себе прямое и обратное выдавливание.

Холодным выдавливанием рекомендуется изготавливать детали из стали с содержанием углерода 0,15—0,40 %, при содержании углерода в сталях свыше 0,45 % повышается прочность материала и снижается период стойкости инстру-

Рис. 2.5. Схемы холодного выдавливания

мента, такие стали выдавливают с подогревом. Полугорячую штамповку или выдавливание производят при температуре 500—700 °С. Снижаются сопротивление материала при деформировании и усилие при штамповке. При температуре более 650 °С усилие прессования снижается примерно на 50 %.

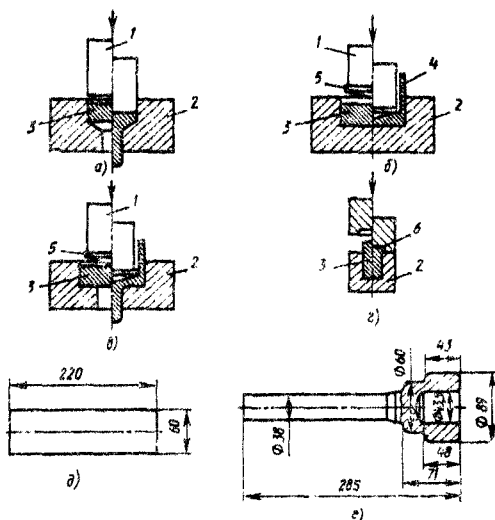
Холодное выдавливание широко применяют для изготовления заготовок цилиндрических и конических колес с хвостовиком (рис. 2.5, е). Рабочий цикл: осадка стержня (рис. 2.5, д), обратное выдавливание, обрезка и снятие заусенцев. Допуски на внешний и внутренний диаметры составляют 0,2 — 0,25 мм. При изготовлении цилиндрических зубчатых колес внешнего зацепления применяют прямое выдавливание. Точность зубчатого колеса 9—10-я степень. Когда требуется более высокая точность зубьев, то дополнительно применяют калибровку или другие методы обработки зубьев. При разработке чертежа заготовки под холодное выдавливание острые кромки и зоны перехода диаметров заменяют радиусом, выточки в заготовке при выдавливании не производят.

Точная вырубка используется для окончательного изготовления плоских деталей типа шайб, рычагов, крышек, зубчатых колес, зубчатых секторов, которые нашли применение в автомобилях, самолетах, тракторах, текстильных машинах. Этот высокопроизводительный метод позволяет за один рабочий цикл изготовить несколько деталей сложной геометрической формы высокого качества без дополнительной механической обработки. При этом достигается значительная экономия металла, снижается трудоемкость.

На рис. 2.6, а приведена схема вырубки зубчатых колес. Заготовка 4 под действием сил P_R с помощью плиты 2 с клиновым ребром 3 прижимается к матрице 5. Выталкиватель 6 прижимает металл снизу к пуансону 1. Вырубка осуществляется под действием силы P_S при закрепленной заготовке 4. По окончании вырубки прижимная плита 2 под действием сил P_R снимает с пуансона остатки металла от вырубки, а сила P_O выталкивает деталь из матрицы.

Основным материалом для точной вырубки служит сталь, применяют также медь, алюминий и их сплавы. Материал должен иметь низкие предел прочности на разрыв и предел текучести, а также высокие относительное удлинение и относительное сжатие при разрыве.

Геометрическая форма детали обычно зависит от толщины и качества материала. В большинстве случаев радиус закругления углов, толщину переповерхностей, толщину шлицев, модуль зубчатых колес (рис. 2.6, б) принято выбирать приблизительно равными 60 % толщины материала. На рис. 2.6, в приведен график для выбора толщины заготовки в зависимости от модуля. Зона А является наиболее оптимальной для выбора толщины зубчатого венца. Сложность обработки при выборе толщины заготовки в зоне В и С соответственно увеличивается.



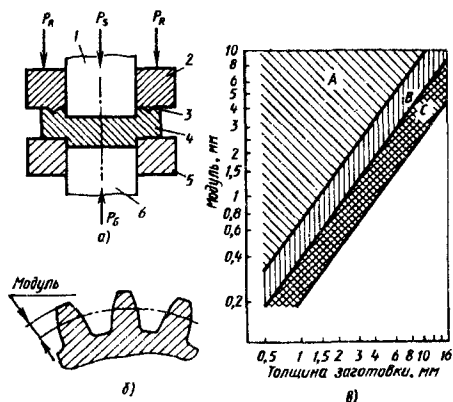
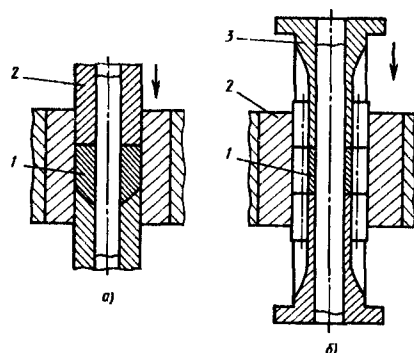


Рис. 2.6. Схемы вырубki зубчатых колес

Рис. 2.7. Схемы изготовления зубчатых колес из металлического порошка:
а — холодное прессование заготовки; б — горячее прессование зубчатого колеса

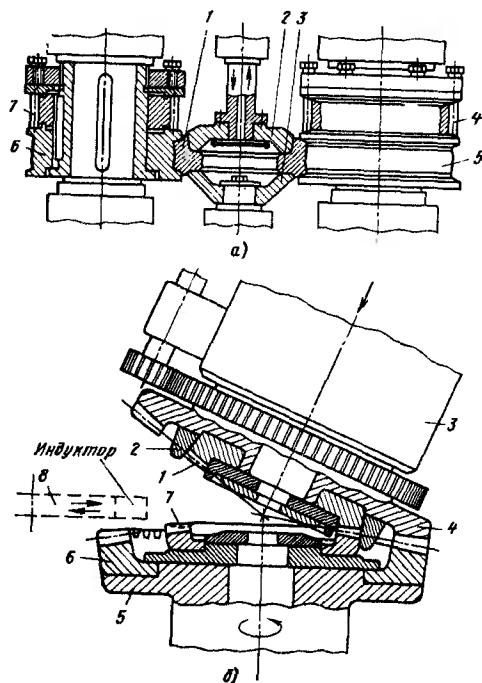
Точность размеров и качество поверхности среза зависят от качества и толщины материала, формы детали, качества инструмента, смазочного вещества и прессы. На качество поверхности среза большое влияние оказывают взаимодействие сил P_S , P_R , P_G , положение клинового ребра и зазор между пуансоном и матрицей. Зазор между пуансоном и матрицей составляет примерно 0,5 % толщины материала. Для материала толщиной до 4,5 мм клиновое ребро 3 (см. рис. 2.6, а) предусматривают только на прижимной плите 2, для материалов большей толщины клиновое ребро 3 делают и на матрице 5. Смазывающее вещество должно образовывать защитную пленку между пуансоном и материалом и между материалом и матрицей. Точность зубчатых колес после вырубki соответствует 9—10-й степени.

2.4. Порошковая металлургия

Этот метод предназначен для производства разнообразных симметричных заготовок конических зубчатых колес, цилиндрических зубчатых колес для насосов, предохранительных муфт и др. Материалом обычно служат железные порошки с добавлением порошков легирующих элементов — никеля, хрома, молибдена и др. Порошковая смесь тщательно смешивается, точно взвешивается, затем прессуется в холодном состоянии в закрытом штампе (рис. 2.7, а) под давлением пуансона 2. Спрессованная из порошка цилиндрической формы заготовка 1 с отверстием подвергается спеканию в печах при температуре 1150—1350 °С, близкой к температуре плавления основного металла. После вторичного подогрева до температуры 800—1100 °С формованная заготовка подвергается горячему прессованию в закрытом штампе (рис. 2.7, б). Основной деталью штампа является зубчатая матрица 2, в которой при перемещении верхнего пуансона 3 прессуется зубчатое колесо 1. Охлаждение детали происходит в защитном газе. В зависимости от назначения зубчатые колеса подвергаются дополнительной механической и термической обработке.

Для изготовления зубчатых колес из металлического порошка создана автоматическая линия. Процесс состоит из следующих этапов: точное взвешивание

Рис. 2.8. Схема горячего накатывания зубьев:
а — цилиндрических колес; б — конических колес



порошка — изостатическое уплотнение в мягкие оболочки в сухом состоянии, высокотемпературное (1315 °С) спекание заготовки и горячая штамповка за один цикл на механическом эксцентриковом прессе с высокой скоростью хода. В линии устранены все ручные операции, введен автоматический контроль качества в каждой фазе процесса.

На линии изготовляют конические колеса с прямыми зубьями дифференциала автомобиля массой 75 — 1000 г, наибольший диаметр 114 мм. Производительность прессы 360 — 450 шт/ч. У конических колес дифференциала после цементации и закалки зубья не обрабатывают, их точность соответствует точности зубчатых колес, изготовленных на зуборезных станках методом кругового протягивания. Обработке подвергают только базовые поверхности. Готовые детали имеют 100 %-ную плотность структуры и те же механические и металлургические свойства, что и эквивалентные детали, полученные обычным способом.

Порошковая металлургия экономична: при изготовлении 1 т заготовок из металлического порошка экономится 2 т стального проката.

2.5. Горячее накатывание зубьев цилиндрических колес

Метод разработан ВНИИметмаш совместно с автозаводом им. И. А. Лихачева (ЗИЛ) для накатывания цилиндрических зубчатых колес с модулем свыше 6 мм взамен чернового нарезания зубьев. Поковку 1 (рис. 2.8, а), полученную на кривошипном горячештамповочном прессе, устанавливают и закрепляют между станами 2, 3 зажимного приспособления накатного станка ЗПС-350 конструкции ВНИИметмаш. Нагрев поковки под накатывание осуществляется непосредственно на стане токами высокой частоты (ТВЧ) до температуры 1100—1150 °С.

Зубья накатывают за два последовательных этапа. Сначала гладкими роликами 5, 6 калибруют нагретую штампованную поковку по наружной поверхности до требуемых размеров под накатывание зубьев. Для лучшего заполнения зубьев зубчатого венца у заготовки перед накатыванием зубьев должна быть специальная форма — небольшая вогнутость (глубиной 1,5—2 мм) на внешнем диаметре, а торец венца должен быть выполнен конусным под углом 3—5°. Затем заготовка в зажатом состоянии вместе с индуктором перемещается в положение накатывания зубьев и после вторичного подогрева осуществляется накатывание зубьев на заготовке зубчатыми накатниками 4, 7. Время цикла накатывания зубчатого колеса ($z = 46$, $m_n = 6$ мм, $b = 70$ мм, $\beta = 16^\circ 7'$) составляет 2,4 мин.

Предусмотрены автоматическая загрузка и выгрузка с помощью манипулятора с двумя схватами, производительность стана 28—35 шт/ч. Гладкие ролики 5, 6 и зубчатые накатники 4, 7 имеют реборды для ограничения течения металла в осевом направлении во время накатывания зубьев.

Заготовки, обработанные по этому технологическому процессу, не требуют механической обработки по контуру перед накатыванием зубьев и чернового нарезания зубьев. Так как размеры зубчатых колес после горячего накатывания недостаточно точны, в большинстве случаев требуется последующая механическая обработка зубьев. По опыту ЗИЛ, зубчатые колеса с указанными выше параметрами имеют следующую точность: радиальное биение 0,8—1,0 мм, колебание длины общей нормали 0,5—0,7 мм, припуск на сторону зуба 1,5—2,0 мм. Стойкость зубчатых накатников 2,5—3 тыс. заготовок. При применении горячего накатывания зубьев цилиндрических колес достигается экономия металла до 20 % массы заготовки, повышается прочность зубьев на 20—30 % и снижается трудоемкость механической обработки.

2.6. Горячее накатывание конических колес с круговыми зубьями

Метод разработан НИИТавтопром (Научно-исследовательский институт технологии автомобильной промышленности) совместно с ЗИЛом и внедрен в производство при накатывании зубьев конического колеса ($z = 40$, $m_{\text{тс}} = 8,017$ мм, $b = 42,5$ мм, $\beta_m = 33^\circ 37'$, сталь 12Х2Н4А) взамен чернового нарезания зубьев.

Механически обработанная заготовка 7 (рис. 2.8, б) специальной формы устанавливается в патрон и зажимается, затем сообщается вращение столу 5. Индуктор 8 перемещается в зону обработки и нагревает заготовку до температуры 1100—1150 °С, после чего отходит в исходное положение. Верхняя головка 3 накатного стана с вращающимся накатником 1 и коническим верхним зубчатым синхронизатором 4 быстро перемещается вниз. Когда зубья верхнего синхронизатора 4 входят в зацепление с зубьями нижнего синхронизатора 6, установленного на столе 5, ведущим элементом становится стол.

Формирование зубьев осуществляется на медленной рабочей подаче до достижения полной высоты зуба. По окончании цикла накатывания верхняя головка отходит, заготовка снимается и устанавливается в накопитель. Время полного цикла накатывания зубьев около 3 мин, из них на нагрев заготовки затрачивается около 55 с. Накатник 1 имеет реборды 2 для формирования торцовых поверхностей зубьев колеса. Припуск на сторону зуба после горячего накатывания под черновое нарезание составляет 0,4—0,7 мм. Параметры точности зубчатых колес с модулем 8 мм следующие: биение зубчатого венца 0,1—0,2 мм, наибольшая разность соседних окружных шагов 0,02—0,04 мм. Средняя стойкость накатников составляет 3500 заготовок. При внедрении горячего накатывания производительность зубонарезания повышается в 2—4 раза, достигается экономия металла 20—25 % на деталь и на 20—30 % увеличивается прочность на изгиб вследствие направленного расположения волокон металла на зубьях.

2.7. Горячая штамповка конических колес с прямыми зубьями

Горячая штамповка заготовок с прямыми зубьями разработана и внедрена ЗИЛом совместно с НИИТавтопром при изготовлении сателлитовых и полуосевых конических колес дифференциала автомобиля с модулем 5 мм и выше. Существуют две разновидности малоотходных технологических процессов — с ме-

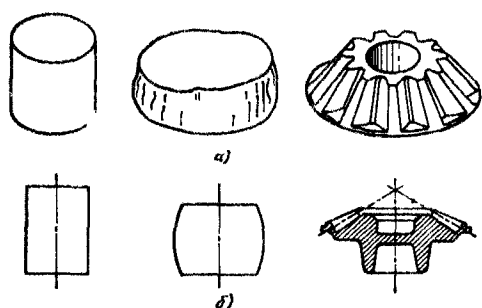


Рис. 2.9. Схемы горячей штамповки заготовок конических колес с прямыми зубьями:

а — сателлит дифференциала; б — шестерня полуоси автомобиля

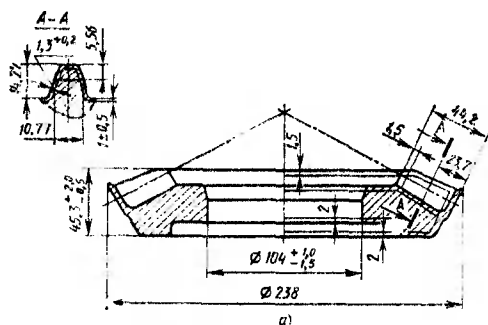


Рис. 2.10. Штамповка конических колес с круговыми зубьями:

а — поковка с зубьями; б — ковочный штамп

ханической обработкой поверхностей зубьев и без нее. На ЗИЛе в результате анализа требуемой точности конических зубчатых колес, объема производства, габаритных размеров и экономической эффективности изготовления в качестве базового была принята штамповка с припуском 0,6—0,8 мм на сторону и 0,8—1,0 мм по дну впадины под последующее чистовое зубонарезание.

Обработка зубьев конических колес из заготовок со штампованными зубьями в значительной степени затруднена. Объясняется это тем, что зуборезный инструмент производит обработку металла, поверхность которого получена непосредственно после горячей штамповки. К традиционным свойствам, характеризующим условия резания при обработке целых заготовок (твердость, предел прочности при растяжении, структура металла в малоотходном технологическом процессе), добавляются также колебание припуска по боковым поверхностям и дну впадины зуба, наличие окалины, толщина обезуглероженного слоя.

Сателлит дифференциала ($z_1 = 11$, $m_{te} = 6,35$ мм, $h_e = 12,61$ мм, $b = 30$ мм, сталь 18ХГТ) штампуют на кривошипном горячештамповочном прессе с усилием $25 \cdot 10^7$ Н за два рабочих хода (рис. 2.9, а). Осадка заготовки в свободном состоянии, предварительно нагретой до температурыковки (1230—1260 °С), затем окончательная штамповка с формообразованием зубьев, прошивка отверстия и обрезка облоя осуществляются в горячем состоянии в комбинированном штампе на обрезном прессе. Производительность штамповки 120 шт/ч. Средняя стойкость литых зубчатых матриц штампов 3500—4000 деталей.

Поковку с зубьями шестерни полуоси ($z_2 = 22$, $m_{te} = 6,35$ мм, $h_e = 12,61$ мм, $b = 30$ мм, сталь 25ХГТ) штампуют на кривошипном горячештамповочном прессе с усилием $25 \cdot 10^7$ Н за два рабочих хода (рис. 2.9, б). Стойкость литых зубчатых матриц 5000—6000 деталей.

При внедрении горячей штамповки только на двух конических колесах достигнута годовая экономия металла 800 т (расход металла на деталь сократился на 20—25 %), отменено черновое нарезание зубьев, высвобождены рабочие, станки, производственная площадь и т. д.

2.8. Горячая штамповка конических колес с круговыми зубьями

Метод впервые разработан и внедрен ЗИЛом совместно с НИИТавтопромом при обработке поковок со штампованными круговыми зубьями конических колес ($z_2 = 25$, $m_{te} = 9$ мм, $\beta_m = 35^\circ$, $b = 38$ мм, $h_e = 16,99$ мм, сталь 18ХГТ). Заготовки нарезают из горячекатаного прутка диаметром 100 мм. Предварительно нагретые в индукционных печах до температурыковки заготовки штампуют за два рабочих хода: осадка до диаметра, близкого к диаметру заготовки, и окончательная штамповка с формообразованием зубьев на кривошипных горячештампочных прессах с производительностью 85 шт/ч.

Линия разъема ковочного штампа (рис. 2.10, б) проходит по наибольшему диаметру поковки конического колеса. Верхняя часть 1 штампа центрируется по нижней 3 с зазором 0,3—0,4 мм. Основной частью штампа является зубчатая матрица 2, которая осуществляет формообразование зубчатого венца колеса. Зубья в матрице изготовлены электроэрозионным методом. В качестве электрода-инструмента применяется зубчатое колесо из графита.

Обрезка облоя и прошивка отверстия в поковках с зубьями производятся на обрезных прессах в комбинированном штампе.

Чертеж поковки (рис. 2.10, а) разработан с учетом обработки впадины зуба за две операции: черновую — для снятия поверхности металла, полученного горячей штамповкой, и выравнивания припуска под чистовое зубонарезание — и чистовую. Припуск на сторону зуба составляет 1,3 мм, по дну впадины 1,0 мм. Проведенные на ЗИЛе сравнительные стендовые испытания показали, что прочность на изгиб конических колес с круговыми зубьями из поковок со штампованными зубьями на 25—30 % выше, чем колес, изготовленных из целых заготовок. Расход проката легированной стали сократился на 155 т/год, высвободились зуборезные станки, производственная площадь и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зубчатые передачи:** Справочник/Е. Г. Гинзбург, Н. Ф. Голованов, Н. Б. Фирун и др.: Под ред. Е. Г. Гинзбурга. Л.: Машиностроение, 1980. 415 с.
2. **Прогрессивные технологические процессы в автостроении/С. М. Степашкин, С. Н. Калашников, Д. М. Левчук и др.:** Под ред. С. М. Степашкина. М.: Машиностроение, 1980. 319 с.
3. **Производство зубчатых колес:** Справочник/С. Н. Калашников, Г. И. Коган, И. С. Козловский и др.; Под ред. Б. А. Тайца. М.: Машиностроение, 1975. 728 с.
4. **Справочник технолога-машиностроителя/В. Б. Борисов, Е. И. Борисов, В. Н. Васильев и др.:** Под ред. А. Г. Қосиловой и Р. К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. 655 с.
5. **Федякин Р. В., Чесноков В. А.** Зубчатые передачи с зацеплением Новикова. М.: Центральный институт научно-технической информации по автоматизации в машиностроении, 1954. 87 с.

РАЗДЕЛ II

Производство цилиндрических зубчатых колес

ОБОЗНАЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Латинский алфавит

- $a_w(a)$ — (делительное) межосевое расстояние цилиндрической зубчатой передачи
 $b(b_w)$ — (рабочая) ширина венца цилиндрического зубчатого колеса и передачи
 c — радиальный зазор зубчатой передачи или пары исходных реек
 d — диаметр зубчатого колеса
 e — ширина впадины
 $g(g_a, g_a, g_f)$ — длина линии зацепления (активной, заплотусной, доплотусной)
 $h(h_a, h_f)$ — высота зуба (делительной головки и ножки зуба)
 $\bar{h}_a(\bar{h}_c)$ — высота до хорды зуба (до постоянной хорды)
 h_d — глубина захода зубьев зубчатого колеса и исходных реек
 h_{wa}, h_{wf} — высота начальной головки и ножки зуба зубчатого колеса
 $\text{inv } \alpha$ — эвольвентный угол профиля зуба
 j_n, j_t, j_φ — нормальный, окружной и угловой боковой зазор зубчатой передачи
 l_Σ — суммарная длина контактных линий
 M — размер по роликам (шарикам)
 $m(m_t, m_x)$ — модуль зубьев нормальный (окружной и осевой)
 p_n, p_t, p_x — шаг зубьев нормальный, торцовый (окружной) и осевой
 p_{bn}, p_{bt} — шаг зубьев основной нормальный и основной окружной
 p_z — ход зуба
 q_{21}, q_{22} — интервал между контактными точками поверхности зуба или двух зубьев передачи Новикова ДЛЗ
 r — радиус зубчатого колеса
 $S_n(S_t, S_x)$ — толщина зуба нормальная (окружная и осевая)
 S_{bn}, S_{bt} — толщина зуба основная нормальная и основная окружная
 \bar{s}_y, \bar{s}_c — толщина по хорде зуба, постоянная хорда зуба зубчатого колеса
 u — передаточное число зубчатой передачи
 v — окружная скорость зубчатого колеса
 W — длина общей нормали зубчатого колеса
 $X(X_\Sigma, X_d)$ — коэффициент смещения исходного контура (коэффициент суммы и разности смещений)
 X_{\min} — коэффициент наименьшего смещения исходного контура
 y — коэффициент воспринимаемого смещения
 z, z_n — число зубьев; число зубьев в длине общей нормали
 z_{\min} — наименьшее число зубьев, свободное от подрезания

z_n — число зубьев эквивалентного прямозубого цилиндрического зубчатого колеса

Греческий алфавит

- α — угол профиля зуба и зуба рейки
- α_w — угол зацепления
- β — угол наклона линии зуба и зуба рейки
- β_b — основной угол наклона линии зуба
- Δu — коэффициент уравнивающего смещения
- Δ_a, Δ_f — глубина модификации профиля головки и ножки зуба
- $\Delta_{a_n}, \Delta_{f_n}$ — нормальная глубина модификации профиля головки и ножки зуба
- e_a, e_b, e_v — коэффициенты торцового, осевого и перекрытия зубчатой передачи
- e_n, e_f — коэффициенты заголовного, доголовного перекрытия зубчатой передачи
- η — половина угловой ширины впадины зубчатого колеса
- θ — удельное скольжение в контактной точке поверхности (профиля) зуба
- ρ — радиус кривизны профиля зуба
- ρ_f — радиус кривизны переходной кривой зуба
- ρ_h — радиус кривизны линии притупления продольной кромки зуба
- Σ — межосевой угол зубчатой передачи
- ν — угол развернутости эвольвенты зуба
- τ — угловой шаг зубьев
- φ — фаза зацепления
- φ_a, φ_f — угол заголовного и доголовного перекрытия зубчатого колеса цилиндрической передачи
- φ_a, φ_b — угол торцового и угла осевого перекрытия зубчатого колеса цилиндрической передачи
- φ_v — угол перекрытия зубчатого колеса передачи
- ψ — половина угловой толщины зуба
- ω — угловая скорость зубчатого колеса

Подстрочные индексы

- n — нормальное сечение
- t — окружное (торцовое) сечение
- c — размер, относящийся к постоянной хорде
- x — осевое сечение
- w — начальная поверхность
- a — поверхность вершин зубьев
- f — поверхность впадин зубьев
- g — поверхность модификации головок зубьев
- k — поверхность притупленных кромок зубьев
- e — поверхность граничных точек зубьев
- p — поверхность нижних активных точек зубьев
- q — поверхность модификации ножек зубьев
- b — основная поверхность колеса
- α — направление, нормальное профилю зуба, поверхность зацепления
- R, L — правое, левое направление

- 1 — рассматриваемое зубчатое колесо (шестерня)
 2 — сопряженное зубчатое колесо (колесо)
 0 — инструмент

Согласно ГОСТ 16530—83 к обозначению параметра в индексе могут добавляться буквы *n*, *t*, *x* и вторые буквы индекса *y*, *w*, *a* или *f*.

В обозначениях параметров зубчатых колес с прямыми зубьями в индексах опускаются буквы *n* и *t*. Отсутствие индексов *y*, *w*, *a* или *f* указывает, что параметр относится к делительной поверхности или делительной окружности.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ И ДОПУСКОВ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ПО ГОСТ 1643—81

- F'_{i0} — допуск на кинематическую погрешность передачи
 F'_t — допуск на кинематическую погрешность колеса
 F_p — допуск на накопленную погрешность шага (по колесу)
 F_{pk} — допуск на накопленную погрешность *k* шагов
 F_r — допуск на радиальное биение зубчатого венца
 F_o — допуск на погрешность обката
 F_{ow} — допуск на колебание длины общей нормали
 F'_t — допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса
 f_{zho} — допуск на циклическую погрешность передачи
 f_{zso} — допуск на циклическую погрешность зубцовой частоты в передаче
 f_{zh} — допуск на циклическую погрешность колеса
 f_t — допуск на местную кинематическую погрешность
 f_{pt} — предельное отклонение шага
 f_{pb} — предельное отклонение шага зацепления (основного шага)
 f_f — допуск на погрешность профиля
 f'_t — допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе
 F_β — допуск на направление зуба
 F_{pxn} — допуск на погрешность формы и расположения контактной линии
 F_h — допуск на непрямолинейность контактной линии
 f_x — допуск на непараллельность осей
 f_y — допуск на перекося осей
 j_{min} — гарантированный боковой зазор
 f_a — предельное отклонение межосевого расстояния
 E_{Hs} — наименьшее смещение исходного контура
 T_H — допуск на смещение исходного контура
 $E_{a's}, E_{a'f}$ — предельные отклонения измерительного межосевого расстояния — верхнее и нижнее
 E_{wms} — наименьшее отклонение средней длины общей нормали
 T_{wm} — допуск на среднюю длину общей нормали
 E_{cs} — наименьшее отклонение толщины зуба
 T_c — допуск на толщину зуба
 E_{Ms} — наименьшее отклонение размера по роликам
 T_M — допуск на размер по роликам

Примечание. Для обозначения действительного отклонения по ГОСТ 1643—81 к обозначению, принятому для допуска, прибавляется в индексе буква *r*.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

α_0	— угол профиля исходного инструментального контура
d_{m0}	— средний расчетный диаметр
z_{10}	— число заходов
γ_{m0}	— угол подъема витка
$p_{nz\ 10}$	— нормальный шаг захода
$p_{xz\ 10}$	— осевой шаг захода
ρ_{a0}, ρ_{f0}	— радиус вершины зуба, ножки зуба
d	— диаметр посадочного отверстия
p_{z0}	— ход винтовой стружечной канавки
z_0	— число стружечных канавок
γ_{0a}	— передний угол
α_{0a}	— задний угол по вершине зуба
α_{0m}	— боковой задний угол
λ_m	— угол наклона стружечной канавки

Глава 3

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС С ВНЕШНИМИ ЗУБЬЯМИ

3.1. Технологические требования к чертежам зубчатых колес

Рабочий чертеж зубчатого колеса служит для разработки технологического процесса и наладки станков без дополнительных расчетов, связанных с нахождением геометрических параметров зубчатого венца. В нем должны быть указаны точность, характеристики механических, а при необходимости и других свойств элементов зубчатого колеса.

В общем случае на рабочем чертеже не допускается помещать технологические указания. В виде исключения допускается: указывать способы изготовления и контроля, если они являются единственными, гарантирующими требуемое качество изделия; давать указания по выбору вида технологической заготовки (отливка, поковка и т. п.), указывать определенный технологический прием, гарантирующий обеспечение отдельных технических требований к изделию, которые невозможно выразить объективными показателями или величинами, например процесс старения. Необходимо указывать вид зубоотделочного процесса для высоконагруженных зубчатых колес, так как зубошлифование снижает контактную и изгибную прочность закаленных зубьев, а зубохонингование и обработка лезвийным твердосплавным инструментом повышают прочность зубьев (см. подразд. 3.10).

Для изделий единичного производства на чертежах, предназначенных для использования на конкретном предприятии, допускается помещать указания по технологии изготовления и контролю изделий.

ГОСТ 2.403—75 устанавливает правила выполнения чертежей эвольвентных цилиндрических колес в части указания параметров зубчатого венца. На

Рис. 3.1. Пример оформления чертежа цилиндрического зубчатого колеса

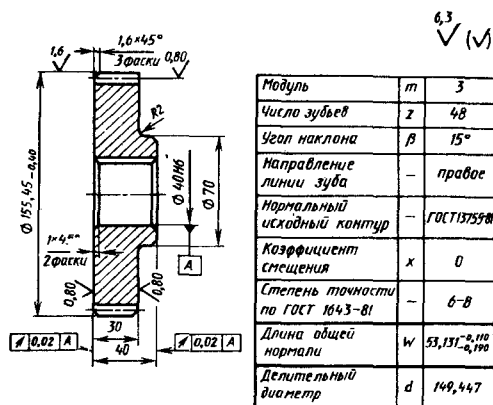


рис. 3.1 приведен пример оформления чертежа косозубого колеса со стандартным исходным контуром.

В общем случае на изображении зубчатого колеса должны быть указаны: диаметр вершин зубьев, ширина венца, размер фасок или радиусы притупления на кромках зубьев, шероховатость боковых поверхностей зубьев, параметры продольной модификации зубьев.

На чертеже зубчатого колеса помещают таблицу параметров зубчатого венца. Таблица состоит из трех частей, отделенных друг от друга сплошными основными линиями.

В первой части таблицы должны быть приведены основные данные: m , z , β , нормальный исходный контур (ГОСТ 13755—81, ГОСТ 9587—81), коэффициент смещения x с соответствующим знаком, степень точности и вид сопряжения по нормам бокового зазора (ГОСТ 1643—81 и др.).

Для нестандартного исходного контура задаются основные его параметры: α , h_a^* , h_f^* , ρ_f^* , s^* , а в случае модификации зуба — h_g^* , Δ_s^* , h_g^* , Δ_f^* . Если исходный контур не может быть определен перечисленными параметрами, то должно быть приведено его изображение.

Во второй части таблицы приводят данные для контроля взаимного положения разноименных профилей зубьев: длину общей нормали W или постоянную хорду зуба \bar{s}_c и высоту до нее \bar{h}_c и т. д.

Данные для контроля точности зубчатого колеса с нестандартным исходным контуром устанавливает конструктор по одному из контрольных комплексов, предусмотренных стандартом.

В третьей части таблицы приводят делительный диаметр d , число зубьев сектора и при необходимости прочие справочные данные, например размеры основного диаметра d_b для контроля торцового профиля зуба; шаг зацепления ρ_a , осевой шаг ρ_x или ход зуба ρ_z для контроля взаимного положения одноименных профилей зубьев, обозначение чертежа сопряженного зубчатого колеса.

Если зубчатое колесо имеет два венца одного вида и более, то значение параметров следует указывать в отдельных графах (колонках) для каждого венца. Венец в соответствующую колонку таблицы обозначают одной прописной буквой русского алфавита.

На чертеже зубчатого колеса указывают допуски на диаметр и биение поверхности вершин зубьев в зависимости от конструктивного (например, в шестеренных насосах) или технологического использования этой поверхности.

Необходимо помещать указания по точности обработки базовых конструкторских поверхностей зубчатого колеса, особое внимание обращать на шлицевые поверхности зубчатых колес.

При разработке чертежей зубчатых колес крупных размеров из высоколегированной стали в конструкции колеса должны быть учтены требования восстановления зубчатого венца (см. подразд. 3.11).

3.2. Особенности технологии изготовления зубчатых колес

Технология изготовления цилиндрических зубчатых колес зависит от большого числа факторов, основные из которых следующие:

1) форма зубчатого колеса, влияющая на выбор оборудования и построение технологического процесса обработки заготовки, а также на выбор технологических баз (табл. 3.1);

2) форма и расположение зубчатого венца (табл. 3.2), влияющие на выбор метода зубообработки и технологических баз на этих операциях и являющиеся показателями технологичности детали. Минимальная ширина канавки для выхода инструмента при обработке зубьев закрытых венцов приведена в табл. 3.3;

3) особенности зубообработки в зависимости от формы зубьев (прямые, косые) и модификации (продольная и поперечная) см. в подразд. 3.6 и в гл. 4, 5.

Если окончательной зубообработкой до закалки невозможно обеспечить заданную точность колеса, его конструкция должна быть такой, чтобы была возможна отделочная зубообработка лезвийным твердосплавным инструментом или зубошлифованием (см. подразд. 3.6; 5.2). По сравнению с зубошлифованием обработка лезвийным инструментом обеспечивает более высокие свойства поверхностного слоя зубьев, более производительна, требует меньше места для выхода инструмента за торец венца при обработке закрытых венцов, позволяет обрабатывать крупные колеса в сборе с валом или ступицей, но точность обработки лезвийным инструментом не выше 6-й степени (ГОСТ 1643—81). Зубошлифование обеспечивает 3—6-ю степень точности (см. подразд. 3.6; 5.2), однако не позволяет изготавливать колеса с закрытыми венцами, а также колеса составной конструкции со ступицей, препятствующей установке колеса в сборе на зубошлифовальном станке;

4) механические свойства материала заготовки. При невозможности достижения заданных механических свойств металла термическим упрочнением заготовки до ее черновой обработки проводят промежуточную термическую обработку в процессе механической обработки (до чистовых токарных операций), что увеличивает цикл и трудоемкость изготовления деталей. При необходимости обработки лезвийным инструментом отдельных поверхностей колеса после его закалки (например, шлицевых отверстий, особенно с эвольвентным профилем, точных резьб, отверстий в венцовых колесах) материал колеса и технология термической обработки должны обеспечивать сохранение достаточно низкой твердости этих поверхностей (не выше HRC₃ 38—41,5). У колес из цементуемых сталей должно быть минимальное число поверхностей, предохраняемых от цементации;

5) характер и значение деформаций зубчатого колеса в процессе термической обработки, являющиеся одним из основных показателей технологичности. Статистические оценки позволяют выразить деформацию зубчатых колес при термической обработке через относительную размерную деформацию зубчатых колес, не изменяющую их формы (ϵ_p), и относительную деформацию, изменяющую форму колес (ϵ_Φ).

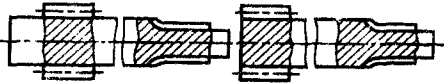
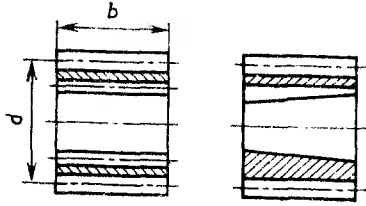
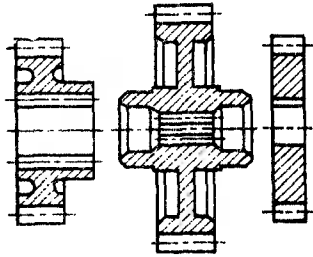
Размерная деформация представляет собой изменение размеров зубчатого колеса по окружности выступов (d_a), шагу зубьев (p_b), длине общей нормали (W):

$$\Delta d_a = d'_a - d_a = \epsilon_p d_a;$$

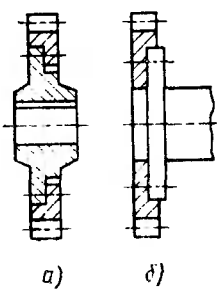
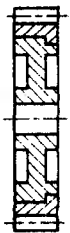
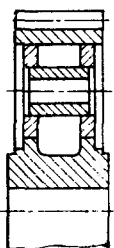
$$\Delta p_b = p'_b - p_b = \epsilon_p p_b;$$

$$\Delta W = W' - W = \epsilon_p W.$$

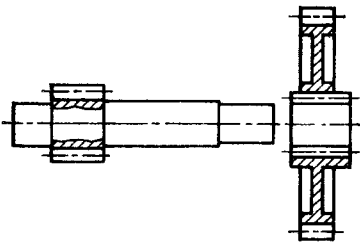
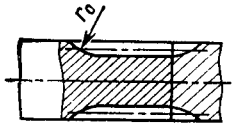
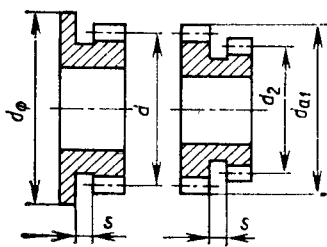
3.1. Технологические характеристики операций изготовления цилиндрических зубчатых колес

Тип и конструкция колеса	Характеристика
<p>Валы-шестерни</p>  <p>а) б)</p> <p>а — двусторонний вал; б — односторонний вал</p>	<p>Заготовку на основных операциях устанавливают в центрах или (при зубообработке) в лонетах на рабочих шейках</p>
<p>Шестерни насадные (с малым числом зубьев $d \approx b$)</p>  <p>а) б)</p> <p>а — с цилиндрическим отверстием; б — с конусным отверстием</p>	<p>Заготовку на основных операциях устанавливают на оправке в центрах или (при зубообработке) в приспособлениях</p>
<p>Колеса насадные</p>  <p>а) б) в)</p> <p>а — со ступицей и выточками; б — с шейками; в — плоское</p>	<p>Заготовку на основных операциях устанавливают в патроне, а на части операций (в том числе зубообработки) — на оправке или в приспособлениях</p>

Продолжение табл. 3.1

Тип и конструкция колеса	Характеристика
<p>Колеса составные</p>  <p><i>a)</i> <i>б)</i></p> <p><i>a</i> — составное; <i>б</i> — венцовое</p>	<p>Ступицу и венцовое колеса обрабатывают отдельно, а затем дорабатывают составное колесо в сборе. Заготовку на основных операциях (в том числе зубообработки) устанавливают в приспособлениях, а также в патроне (особенно на токарных операциях)</p>
<p>Колеса бандажированные</p> 	<p>Бандаж монтируют на ступице, выполненной с полями допусков <i>s7</i> или <i>u8</i> (ГОСТ 25347—82). Чистовую обработку заготовки и зубонарезание ведут так же, как и цельных колес</p>
<p>Колеса сварные</p> 	<p>Черновое зубонарезание выполняют после сварки колеса, чистовое — после посадки колеса на вал и чистовой обработки базовых поверхностей</p>

3.2. Технологические характеристики операций обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес в зависимости от формы зубчатого венца

Тип и конструкция венца зубчатого колеса	Характеристика
<p>Открытые венцы (свободный выход инструмента)</p> 	<p>Нарезание и отделка зубьев возможны любым методом и инструментом на станках всех типов. Наиболее технологична конструкция цилиндрического колеса</p>
<p>Врезные венцы (валы-шестерни)</p> 	<p>Нарезание возможно только фрезерованием. Обработка двусторонних венцов возможна только при радиальном врезании инструмента. Шлифование профиля зубьев возможно при радиусе инструмента $r_0 > 75$ мм</p>
<p>Закрытые венцы (с буртом или фланцем, блочные шестерни)</p> 	<p>Нарезание зубьев возможно только долблением или строганием гребенками, а также фрезерованием пальцевыми фрезами. Минимальная ширина канавки для выхода инструмента дана в табл. 3.3</p>

Деформирование формы заключается в нарушении формы зубчатых колес: окружность d_a превращается в овал с диаметрами $d'_{a \min}$ и $d'_{a \max}$, цилиндр d_a превращается в конус с диаметрами $d''_{a \min}$ и $d''_{a \max}$, причем $\Delta d_a = d'_{a \max} - d'_{a \min} = d''_{a \max} - d''_{a \min} = \epsilon_{\phi} d_a$.

Уменьшение деформации достигается рациональным режимом термической обработки, применением отпуска перед цементацией (см. гл. 20), зубокалиброванием (см. подразд. 5.1), закалкой в штампах рациональной конструкции (см. гл. 20), применением технологичных конструкций, приспособлений для базиро-

3.3. Минимальная ширина s канавки для выхода инструмента при нарезании и отделке зубьев закрытых венцов

Метод обработки зубьев	Угол наклона β° , зубьев колеса	s , мм, для колес с модулем, мм								
		До 2	Св. 2 до 3	Св. 3 до 4,5	Св. 4,5 до 6	Св. 6 до 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 14	Св. 14 до 20	Св. 20
Долбление и стро- гание инструмен- том с плоской пе- редней поверхно- стью	0—30	5	6	7	8	10	12	14	15	18
Долбление инст- рументом с перед- ней поверхностью по нормалн к зубь- ям	15	5,5	7	8,5	10	12	15	18	22	28
	23	6,5	8	10	12	15	18	22	30	40
	30	7,5	10	12	15	18	22	28	36	50

Примечания: 1. При фрезеровании дисковыми фрезами $s \geq l_{\text{пер}} \cos \beta + 1,7 m \sin \beta$.

2. При фрезеровании червячными фрезами $s \geq l_{\text{вр}}$.

3. При шевинговании дисковыми шеверами $s = \sqrt{r_{a0}^2 - \frac{a^2 - r_{\phi}^2 + r_{a0}^2}{2a} \operatorname{tg} \Sigma + c}$,

где $l_{\text{пер}}$ — длина осевого вывода фрезы за венец колеса; $l_{\text{вр}}$ — длина врезания фрезы в зубчатое колесо; r_{a0} — радиус вершин зубьев шевера; r_{ϕ} — радиус смежного фланца или бурта; a — номинальное межосевое расстояние в обработке; c — ширина шевера, выводимая за торцы венца колеса при обработке; Σ — межосевой угол (угол скрещивания) шевера и колеса.

вания колеса по зубчатому венцу при отделке базовых поверхностей, а также корректировкой параметров нарезания зубчатого венца для компенсации деформаций при термообработке $\Delta\alpha$, ΔW , $\Delta\beta$ (табл. 3.4 и 3.5) с учетом поправочных коэффициентов на материал зубчатого колеса $\epsilon_p' = \epsilon_p K_p$; $\epsilon_{\phi}' = \epsilon_{\phi} K_{\phi}$.

В случае нестабильной технологии термообработки, колебаний химического

3.4. Ориентировочные значения деформации насадных зубчатых колес

Термообработка	Относительная деформация, мкм, на 1 мм		Отклонение направ- ления линии зуба $\Delta\beta$, °
	ϵ_p	ϵ_{ϕ}	
Цементация	—0,6	0,7	—3,5
Нитроцементация	—0,4	0,4	—2,5
Объемная закалка	1,25	—	—0,5
Азотирование	0,10—0,01	$\epsilon_{\phi} < \epsilon_p$	—

3.5. Поправочные коэффициенты, учитывающие марку стали зубчатого колеса

Коэффициент	Сталь							
	18ХГТ	20Х	30ХГТ	18ХНВА	12ХН3А	20ХН3А	12Х2Н4А	20Х2Н4А
K_p	0,6	0,8	0,9	1,6	1,0	1,2	1,3	1,8
K_{ϕ}	0,4	0,6	0,8	1,5	1,0	1,0	1,7	1,8

состава стали (одной марки) стабильность деформации резко падает, отношение деформаций одинаковых деталей в разных партиях достигает двух, а при крайне неблагоприятных условиях может изменяться даже знак деформации;

6) габаритные размеры зубчатых колес, влияющие на выбор типа зубообрабатывающих станков и инструментов, а также на достижимую точность обработки венца и на способы установки колес на станках. Установку таких колес производят с выверкой биения относительно оси вращения стола (рабочего шпинделя) с помощью индикатора.

Конструкция крупногабаритного колеса должна быть такой, чтобы была возможна одновременная обработка основных посадочных и вспомогательных поверхностей заготовки, в том числе технологических и измерительных баз. При изготовлении точных крупных колес зубообработку желательно проводить после монтажа колеса на валу с опорой на торец зубчатого венца, а базовые поверхности следует обрабатывать после монтажа;

7) вид производства, влияющий на выбор типа оборудования, содержание отдельных операций и тип оснастки. Тип исходной заготовки (поковка, штампованная заготовка, прутки, отливка), зависящий от вида производства и размеров колеса, влияет на построение и трудоемкость первых операций изготовления заготовки.

При крупносерийном и массовом производстве рациональна конструкция колес с открытыми венцами, точность которых по нормам плавности и частично контакта обеспечивается применением зубокалибрования или зубошевингования (см. подразд. 5.1).

3.3. Типовые технологические маршруты

Тип исходной заготовки (штамповка, поковка, отливка, прокат), габариты зубчатого колеса и масштабы его производства влияют на построение технологического маршрута обработки особенно на изготовление заготовок; габариты и масштабы производства зубчатых колес определяют также состав операций зубообработки, гарантирующих требуемую точность зубчатого венца.

При построении технологического маршрута изготовления зубчатых колес осуществляют следующее:

в зависимости от габаритов зубчатого колеса и масштабов производства определяют тип исходной заготовки (поковка, штамповка, отливка и т. п.);

в зависимости от формы зубчатого колеса и венца (см. табл. 3.1 и 3.2) устанавливают возможные методы его обработки (см. подразд. 3.5, гл. 4, 5);

в зависимости от заданной точности зубчатого колеса, его материала и характера термической обработки, с учетом габаритов колеса и выбранных методов зубообработки устанавливают состав операции обработки зубьев и отделки зубчатого колеса после термической обработки.

Типовой технологический маршрут изготовления зубчатого колеса 6-й степени точности из сталей 40Х, 18ХГТ в условиях средне- и мелкосерийного производства включает следующие операции:

изготовление заготовки;

предварительная токарно-револьверная обработка;

термическая обработка;

токарная обработка под протягивание;

протягивание гладкого отверстия со шпоночным пазом или шлицевого отверстия с припуском под шлифование;

получистовая токарная обработка;
обработка базовых поверхностей;
контроль перед зубообработкой;
зубонарезание;
снятие фасок по торцам зубьев (при необходимости зубозакругление);
обработка дополнительных отверстий;
слесарная обработка;
мойка;
контроль перед термической обработкой;
термическая обработка;
калибрование боков шлицев (для деталей со шлицевым отверстием);
шлифование наружной поверхности зубчатого венца и торца (для колес со шлицевым отверстием);
окончателное шлифование отверстия и торца;
окончателное шлифование второго торца;
окончателное шлифование паза;
окончателное шлифование наружного диаметра;
мойка;
контроль перед зубошлифованием;
окончателное шлифование зубьев;
мойка;
контроль окончательный;
консервация.

П р и м е ч а н и е. Для колес 5-й степени точности перед окончательным шлифованием отверстия и торца производят предварительное шлифование базовых поверхностей, предварительное шлифование зубьев и искусственное старение.

Для другого типа производства содержание операций будет меняться.

На поверхностях, которые не должны быть подвергнуты цементации и которые не могут быть защищены предохранительными покрытиями, оставляют специальные защитные припуски, удаляемые на промежуточной операции механической обработки между цементацией и закалкой.

Соединительные поверхности, в том числе шлицевые (особенно с эвольвентным и остроугольным профилем), точные резьбы, отверстия и шпоночные пазы обрабатывают окончательнo после термической обработки.

При изготовлении составных и сварных колес предпочтительна окончательная обработка зубьев после сборки венцового колеса на ступице или сборки сварного колеса с валом.

Для обеспечения обработки соединительных отверстий в ступице и венцовом колесе в сборе при изготовлении закаленных венцовых колес необходимо предохранять от закалки соответствующие поверхности.

При изготовлении колес высокой точности или закаливаемых без последующей зубоотделочной обработки после черновых операций с большим съемом металла желателно производить промежуточную термообработку для снятия внутренних напряжений; при азотировании поверхности зубьев после чернового нарезания осуществляется термическая стабилизация заготовки.

Сваренные по технологии ЦНИИТМАШ крупногабаритные зубчатые колеса ($d > 1000$ мм, зубчатый венец из термически улучшенной легированной стали, остальнe детали из малоуглеродистой стали) не имеют сварочных трещин и незначительно деформируются при эксплуатации.

3.4. Технологические базы, требования к технологии изготовления заготовок

Рекомендуется на всех или большинстве операций совмещать технологические базы с конструкторскими посадочными поверхностями. Однако вследствие специфичности обработки цилиндрических зубчатых колес, особенно закаленных, полное совмещение технологических и конструкторских баз на всех операциях практически невыполнимо. Для восприятия больших сил резания, возникающих при нарезании и шевинговании зубьев, в качестве опорной технологической базы рекомендуется использовать один из торцов зубчатого венца, обработанный совместно с основными посадочными поверхностями или точно ориентированный относительно ранее обработанных конструкторских базовых поверхностей заготовки.

При обработке зубьев шевингованием технологические базы на этой операции должны совпадать с базами, использованными при чистовом нарезании зубьев. Этим достигается максимальная точность шевингованных зубьев.

Основным условием выбора технологических баз для зубообработки должно быть минимальное изменение ориентирования зубчатого венца, обработанного до термической обработки, относительно оси отделанных после термической обработки посадочных поверхностей (конструкторских баз).

Исходя из указанного, при выборе технологических баз для обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес рекомендуется учитывать следующее:

1) заготовки валов-шестерен при нарезании зубьев следует устанавливать в люнетах, базирующих заготовку по посадочным шейкам, с упором в торец вала или торец одной из шеек большего диаметра. Только при нарезании зубчатых колес относительно небольших модулей ($m < 6$ мм) возможно использование в качестве технологических баз центровых отверстий на торцах вала. Однако применяют крепление валов-шестерен в четырехкулачковом или самоцентрирующем патроне с поддержкой центром в случае предварительной обработки посадочных шеек в центрах.

При шевинговании и зубошлифовании валы-шестерни, как правило, базируют по центровым отверстиям, а при особо больших габаритах — в люнетах по рабочим шейкам, желательно с упором в торец зубчатого венца.

При изготовлении закаленных валов-шестерен отделку посадочных шеек после термической обработки производят, как правило, в центровых отверстиях, которые должны быть перед этим исправлены (должны быть восстановлены их форма и расположение относительно оси вала);

2) при изготовлении насадных шестерен с цилиндрическим гладким или шлицевым отверстием в качестве технологических баз при зубообработке используют посадочное отверстие и опорный торец. При отделке посадочного отверстия после закалки шестерни в качестве опорного торца следует использовать тот, который служил технологической базой при предшествующей зубообработке;

3) при изготовлении незакаленных насадных колес технологическими базами при зубообработке служат посадочное отверстие и торец зубчатого венца, обработанный совместно с опорным торцом ступицы. Это обеспечивает правильное ориентирование зубчатого венца относительно оси отверстия.

При изготовлении закаленных насадных зубчатых колес с отделкой посадочного отверстия в качестве опорной технологической базы рекомендуется использовать торец зубчатого венца, противоположный базовому опорному торцу ступицы (конструкторской базе). При отделке отверстия после термической обра-

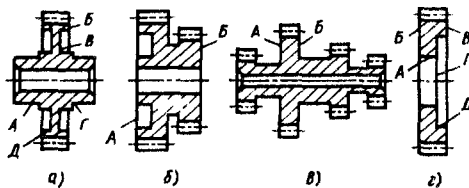


Рис. 3.2. Базовые поверхности цилиндрических зубчатых колес:

а — насадное колесо с выточками и шейками;
б — двухвенцовое насадное колесо; в — многовенцовое насадное колесо; г — венцовое колесо

ботки колесо устанавливают по зубчатому венцу с опорой на базовый торец зубчатого венца. На колесах с двумя базовыми торцами опорную технологическую базу рекомендуется выбирать со стороны выступающей ступицы.

При изготовлении точных зубчатых колес, особенно больших размеров, зубообработку производят после монтажа колеса на валу, при зубообработке колеса устанавливают так же, как валы-шестерни больших размеров, но используя в качестве опорной технологической базы торец зубчатого венца.

При шлифовании зубьев насадные зубчатые колеса обычно устанавливают, базируя их по основным посадочным базам (отверстие и торец ступицы). При изготовлении зубчатых колес крупных размеров, особенно при обработке на вертикальных зубошлифовальных станках, в качестве опорной технологической базы используют торец зубчатого венца: при отсутствии термической обработки после нарезания зубьев — базовый торец при зубонарезании, а при наличии закалки — торец, противоположный базовому при зубонарезании и отделяемый после термической обработки одновременно с посадочным отверстием и торцом ступицы.

При изготовлении зубчатых колес с выточками из цементованных сталей или с поверхностной закалкой зубьев опорной технологической базой при зубошлифовании может служить торец диска, противоположный базовому торцу зубчатого венца при зубонарезании (рис. 3.2, а, поверхность В). Этот торец отделяют одновременно с посадочными поверхностями при базировании колеса по зубчатому венцу и базовому торцу зубчатого венца;

4) при изготовлении насадных зубчатых колес со шлицевым отверстием в качестве направляющей технологической базы, независимо от принятой системы центрирования соединения в механизме, рекомендуется принимать внутреннюю поверхность шлицевого отверстия, что позволяет сохранить единство технологических баз на протяжении всей обработки, включая отделку шлицевых поверхностей после термической обработки. При центрировании по наружной поверхности шлицевого соединения это требует применения комбинированных протяжек;

5) отклонение от параллельности базовых торцов узких зубчатых колес, устанавливаемых на зубообрабатывающих станках пакетом, а также биение торцов относительно оси посадочного отверстия не должны превышать $F_T = 0,25 (d/b) F_B$;

6) при изготовлении зубчатых колес с шейками (см. рис. 3.2, а) в качестве центрирующей технологической базы при зубонарезании рекомендуется использовать одну из посадочных шеек (А или Г), а в качестве опорной базы — торец зубчатого венца (соответственно Д или Б). Только при изготовлении зубчатых колес относительно малых размеров такого типа, особенно с последующим шевингованием зубьев на станках с горизонтальной осью, можно использовать для центрирования центральное отверстие или центровые фаски. В качестве опорной технологической базы и в этом случае рекомендуется использовать торцы венца Б и Д. При отделке зубьев крупных зубчатых колес с шейками их устанавливают на станках с вертикальной осью по шейке А или Г с опорой на торцы венца Д и Б.

При отделке посадочных шеек таких колес их устанавливают обычно по зубчатому венцу и при зубонарезании — по базовому торцу. При использовании для этого грибковых оправок (с выверкой радиального и торцового биения базовых поверхностей) колесо не снимают с оправки до окончания всех отделочных операций (в том числе зубошлифования на станках с горизонтальной осью);

7) в качестве опорной технологической базы при зубообработке многовенцовых зубчатых колес обычно используют тот торец зубчатого венца, который дает возможность устанавливать колесо при обработке зубьев всех венцов (рис. 3.2, б, поверхность А).

При необходимости шлифования зубьев большого венца такого колеса в качестве опорной базы используют торец В, обрабатываемый одновременно с отверстием после термической обработки (устанавливают колесо при отделке отверстия и торца В по двум венцам или по большому венцу с опорой на торец А, являющийся базой при зубонарезании).

Если невозможно обработать все зубчатые венцы с опорой на один торец венца, в качестве опорных технологических баз последовательно используют оба торца большого зубчатого венца (рис. 3.2, в, поверхности А и Б);

8) независимо от способа центрирования венцовых зубчатых колес на ступице или на валу, в качестве центрирующей технологической базы при нарезании и шевинговании зубьев рекомендуется использовать отверстие меньшего диаметра (рис. 3.2, г, поверхность А).

Опорной технологической базой на этих операциях при изготовлении закаленных зубчатых колес служит торец В, обрабатываемый совместно с посадочными поверхностями (с торцом Г). При наличии закалки в качестве опорной технологической базы рекомендуется торец Б, используемый также при отделке посадочных поверхностей после термической обработки (центрирование по зубчатому венцу). При шлифовании зубьев в качестве технологических баз используют поверхности А или Д и Г.

Технологические базы для черновой обработки должны обеспечивать последующую одновременную чистовую обработку технологических базовых поверхностей, используемых при зубообработке, а также жесткость установки колес на операциях, связанных с большим съемом металла. Выбор этих баз зависит от конструкции колеса и принятых методов обработки.

При изготовлении незакаленных зубчатых колес размеры заготовок должны соответствовать чертежу колеса, биение базового торца зубчатого колеса допускается обычно не более $F_T = 0,5 (d/b)F_B$ (см. табл. 9.15). Отклонение от параллельности базовых торцов (технологического и конструкторского) и допуски на взаимное биение посадочных шеек валов-шестерен рекомендуется принимать равными указанным отклонениям, заменяя в формуле d на l , где l — расстояние между серединами шеек валов-шестерен.

Допуски на диаметр технологической базовой поверхности и на диаметр центрирующего элемента приспособления принимают обычно такими, чтобы разность наибольшего допустимого диаметра технологической базовой поверхности колеса и наименьшего диаметра центрирующего элемента приспособления не превышала допустимого радиального биения зубчатого венца. Рекомендуемые допуски на диаметры отверстия и шейки вала зубчатых колес приведены в табл. 3.6, соответствующие допуски на диаметр центрирующего элемента приспособления — см. табл. 3.16. В случае последующего шевингования зубьев допуски, приведенные в табл. 3.6 и 3.16, для зуборезной операции принимают в зависимости от степени кинематической точности шевингования.

3.6. Допуски, мкм, на диаметры отверстия и шейки вала зубчатых колес

Степень точности зубчатого колеса по ГОСТ 1643—81	Обозначения полей допусков по ГОСТ 25347—82	Диаметр отверстия или шейки вала, мм						
		До 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180
3	H3 h3	2,5	3	4	4	5	6	8
		2,5	3	4	4	5	6	8
4	H4 h4	4	5	6	7	8	10	12
		4	5	6	7	8	10	12
5	H5 h5	6	8	9	11	13	15	18
		6	8	9	11	13	15	18
6	H6 h5	9	11	13	16	19	22	25
		6	8	9	11	13	15	18
7	H7 h6	15	18	21	25	30	35	40
		9	11	13	16	19	22	25
8	H7 h6	15	18	21	25	30	35	40
		9	11	13	16	19	22	25
9	H8 h7	22	27	33	39	46	54	63
		15	18	21	25	30	35	40
10	H8 h7	22	27	33	39	46	54	63
		15	18	21	25	30	35	40

Примечание. Предельные отклонения, мм, для отверстий $+H$, для шеек валов $-h$.

При обработке заготовок закаленных зубчатых колес учитывают следующее: при наличии отделки посадочных поверхностей зубчатого колеса после термической обработки, с ориентированием колеса по зубчатому венцу, точность обработки технологической опорной базы может быть снижена в 1,5—2 раза относительно рассчитанной для соответствующей степени точности зубчатого венца до термической обработки;

точность обработки посадочного отверстия должна соответствовать данным, приведенным в табл. 3.6;

поверхности, подлежащие отделке после термической обработки, обрабатывают с припусками в соответствии с табл. 3.7;

при назначении точности обработки поверхности вершин зубьев следует учитывать изменение ее диаметра при термообработке $\Delta d_a = \epsilon_p d_a$ (мкм) по табл. 3.4 и 3.5.

Не рекомендуется назначать допуски диаметра наружных цилиндрических поверхностей $d \geq 1000$ мм грубее чем по 8-му качеству (ГОСТ 25347—82) с учетом возможностей измерительных средств. Допуски диаметра внутренних цилиндрических поверхностей $d \geq 1500$ мм должны быть не выше чем по 6—7-му качеству.

3.7. Ориентировочные припуски на шлифование после термической обработки базовых посадочных поверхностей колеса (размеры в мм)

Номинальный диаметр посадочной поверхности	Припуск на диаметр при длине вала (ширине ступицы колеса)		
	До 100	Св. 100 до 400	Св. 400 до 1000
До 30	0,3—0,4	0,4—0,5	0,5—0,6
Св. 30 до 80	0,4—0,5	0,5—0,6	0,5—0,8
Св. 80 до 200	0,5—0,6	0,6—1,0	0,6—1,0

Примечания: 1. При отделке поверхностей невысокой твердости резцами припуски увеличивают в 2—2,5 раза.

2. При изготовлении колес поверхностной закалкой зубьев припуск принимают по нижнему пределу, а для колес из цементуемых высоколегированных сталей — по верхнему пределу.

3. При калибровании шлицевых отверстий протяжками припуск на диаметр центрирующей поверхности увеличивают относительно указанного на 30—50%.

4. Припуск на отделку торцовых поверхностей устанавливают 0,5—0,75 указанного.

5. Допуск на припуск устанавливают в зависимости от метода отделки: $H11$, $h11$ — отделка шлифованием; $H12$, $h12$ — отделка резцами. Допуск на диаметр технологической базы — см. табл. 3.9.

Для зубчатых колес больших размеров, у которых при зубообработке проверяют биение вершин зубьев, радиальное биение окружности выступов должно быть $F_{da} \leq 0,6F_r$.

При использовании поверхности вершин зубьев в качестве измерительной базы точность ее обработки должна соответствовать рекомендациям, приведенным в гл. 9.

Параметры шероховатости поверхностей, используемых в качестве технологических баз, особенно при зубообработке, независимо от требований чертежа должны соответствовать их точности.

Если невозможна окончательная зубообработка составного зубчатого колеса в сборе, точность обработки зубчатого венца должна соответствовать допустимым отклонениям расположения поверхностей сопряжения ступицы и венца.

3.5. Обработка заготовок

На механическую обработку заготовки должны, как правило, поступать после соответствующей термической обработки (см. гл. 20), а также контроля их механических свойств и размеров.

Наибольший и наименьший наружные диаметры заготовок, обрабатываемых на металлорежущем станке, ориентировочно должны составлять соответственно 0,5 и 0,8 наибольшего для данного станка диаметра обрабатываемой заготовки.

Рекомендации по типу применяемого оборудования и особенности механической обработки заготовок зубчатых колес различной конфигурации приведены ниже.

Обработка заготовок валов-шестерен. Типовое оборудование приведено в табл. 3.8. При мелкосерийном производстве валов-шестерен, особенно больших размеров, допускается объединять: предварительную и чистовую токарную обработку (при отсутствии промежуточной термической обработки); подрезку и центровку торцов с предварительной токарной обработкой, при которой заготов-

ка закрепляется в патроне вначале с поддержкой ее конца люнетом, а после центровки — задним центром.

3.8. Типовое оборудование для обработки заготовок валов-шестерен

Операция	Производство			
	единичное и мелкосерийное		среднесерийное и крупносерийное	
	Размеры заготовок			
	малые	средние	крупные	малые и средние
Подрезка торцов и центровка	Револьверный станок	Токарный станок		Фрезерно-центровальный двухсторонний станок
Предварительная обточка вала	Токарный станок			Гидрокопировальный или многогорезцовый токарный полуавтомат
Чистовая обработка вала	Токарный станок			Гидрокопировальный или многогорезцовый токарный полуавтомат
Обработка шлицевых поверхностей или шпоночных пазов	Шлицефрезерный станок или вертикально-фрезерный станок		Шлицефрезерный или фрезерный станок	Шлицефрезерный или шпоночно-фрезерный станок
Отделка посадочных шеек	Круглошлифовальный станок			

При среднесерийном производстве валов-шестерен и отсутствии фрезерно-центровальных станков соответствующих размеров рекомендуется подрезку торцов осуществлять на двухшпиндельных продольно-фрезерных станках, а центровку торцов — на вертикально-сверлильных станках с применением универсального поворотного приспособления. Подрезку торцов и центровку валов-шестерен, особенно больших размеров, обычно выполняют за два установа на горизонтально-расточных станках с закреплением заготовки в призмах.

При мелкосерийном производстве валов-шестерен, особенно больших размеров, обработку соосных резьб допускается объединять с чистовой токарной обработкой заготовок. У закаленных валов-шестерен точные соосные резьбы следует обрабатывать на этапе отделки детали после термической обработки, для чего поверхность резьб следует предохранять от закалки. Резьбы в последнем случае рекомендуется нарезать резцами.

Обработка заготовок насадных колес. Типовое оборудование для обработки насадных колес приведено в табл. 3.9.

На чистовой токарной операции заготовки зубчатых колес с чистыми выточками удобно базировать (рис. 3.3, а) по обработанной на черновой операции цилиндрической поверхности выточки. Если у таких колес не предусматривают обработку выточек, рационально на черновой токарной операции создавать технологическую базу в выточке (рис. 3.3, б).

3.9. Типовое оборудование для обработки заготовок насадных зубчатых колес

Операция	Производство		
	единичное и мелкосерийное	среднесерийное	крупносерийное и массовое
Зубчатые колеса с обработанными выточками и гладким отверстием			
Черновая обработка одной стороны	Токарный или револьверный станок	Револьверный станок	Револьверный или токарный полуавтомат
Черновая или получистовая обработка с другой стороны	То же	То же	То же
Чистовая обработка отверстия, базовых торцов и наружного цилиндра венца	Токарный станок	Токарный полуавтомат	Токарный полуавтомат
Обработка шпоночного паза	Горизонтально-протяжной станок с адаптером или долбежный станок		
Зубчатые колеса средних размеров со шлицевым отверстием			
Черновая обработка с двух сторон	Токарный или револьверный станок	Револьверный станок	Револьверный или токарный полуавтомат
Обработка посадочного шлицевого отверстия	Горизонтально-протяжной станок с адаптером, протяжка комбинированная		
Чистовое обтачивание наружного цилиндра и торцов венца с двух сторон	Токарный станок	Многорезцовый токарный станок или токарный полуавтомат	

Долбят шпоночный паз только при изготовлении зубчатых колес больших размеров, когда невозможно протягивание паза. В остальных случаях рекомендуется унифицировать размеры шпоночных пазов, чтобы обеспечить возможность их обработки протягиванием.

Чистовая токарная обработка заготовок насадного колеса со шлицевым отверстием должна производиться на оправках, обеспечивающих точное ориентирование заготовки (прессовые, разжимные или конусные оправки).

Независимо от системы центрирования шлицевого отверстия его протягивание рекомендуется выполнять комбинированными протяжками, обеспечивающими одновременную обработку внутренней и наружной поверхности шлицевого отверстия. Это дает возможность осуществлять центрирование заготовок на последующих операциях по внутренней поверхности.

Чистовую обработку заготовок прецизионных колес, особенно больших размеров, осуществляют обычно после напрессовки колеса на вал, как при изготовлении валов-шестерен.

Отличительные особенности изготовления заготовок колес с шейками (обычно с обрабатываемыми выточками) следующие (рис. 3.4): после черновой обработки заготовки чистовую обработку осуществляют на оправке; на закаленных заготовках зубчатых колес отделяют только одну шейку, используемую в качестве технологической базы при зубообработке; при отсутствии центрального отверстия (нетехнологичная конструкция) заготовки при чистовой токарной обработке устанавливают на центровых фасках; соединительное шлицевое отверстие, чаще с эвольвентным профилем, обрабатывают, как правило, после термической обработки, при этом отверстие следует предохранять от закалки.

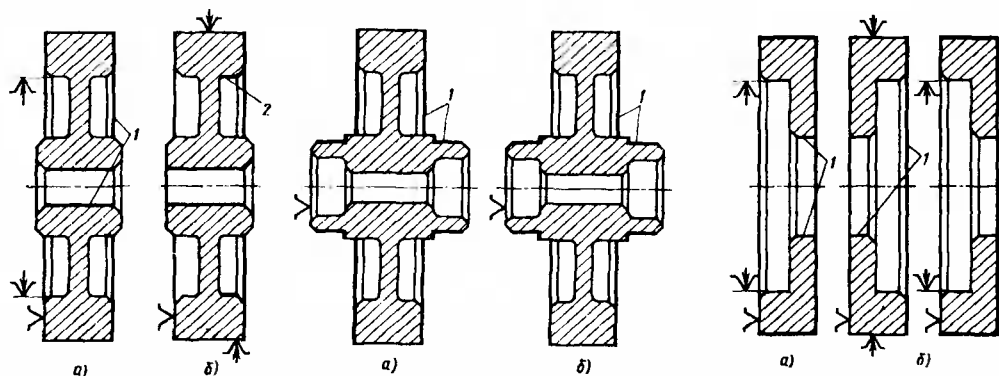


Рис. 3.3. Схема обработки заготовок с выточками:

а — установка в разжим по выточке; *б* — создание технологической базы в необрабатываемой выточке; *1* — технологические базы при зубообработке; *2* — технологическая выточка

Рис. 3.4. Схема обработки заготовок колес с шейками:

а — полная обработка на токарном станке; *б* — отделка посадочных шеек на круглошлифовальном станке; *1* — технологические базы при зубообработке

Рис. 3.5. Схема обработки венцовых заготовок:

а — закаливаемых; *б* — незакаливаемых; *1* — технологические базы при зубообработке

При обработке заготовок насадных колес и шестерен симметричной конструкции базовый торец венца отмечают обычно кольцевой риской примерно на делительном диаметре (за пределами окружности впадин).

Обработка заготовок венцовых зубчатых колес. Типовое оборудование для обработки заготовок венцовых колес приведено в табл. 3.10.

3.10. Типовое оборудование для обработки заготовок венцовых зубчатых колес

Операция	Производство			
	мелкосерийное		среднесерийное	крупносерийное и массовое
	мелкие и средние размеры заготовки	большие размеры заготовки		
Черновая обработка с одной стороны	Токарный или револьверный станок	Карусельный станок	Револьверный станок	Револьверный токарный полуавтомат
Черновая и полуочищенная обработка с другой стороны	То же	То же	То же	То же
Закаленные венцовые колеса (рис. 3.5, а)				
Чистовая обработка технологических баз (центрального отверстия и торца венца)	Токарный станок	Карусельный станок	Токарный станок	Токарный полуавтомат
Незакаленные венцовые колеса (рис. 3.5, б)				
Чистовая обработка посадочной выточки и технологических баз	То же	То же	То же	Многорезцовый токарный полуавтомат

Изготовление заготовок венцовых сборных колес (рис. 3.5) начинают с обработки поверхностей сопряжения составных деталей (плоскостей разъема, соединительных отверстий). После сборки частей колеса, растачивания посадочного отверстия и подрезки торца посадочной поверхности колеса дальнейшую обработку выполняют так же, как при изготовлении цельного колеса соответствующей конфигурации. Иногда при обработке заготовок используют «фальш-ступицы». При небольших размерах сборного колеса его составные детали изготавливают из цельного кольца-заготовки; предварительно поковку или отливку обдирают и разрезают на отдельные секторы.

При высокой точности сборных колес, особенно закаленных, после ряда операций, при которых срезают слой большой толщины (в том числе после черновой зубообработки), выполняют дополнительную подгонку поверхностей сопряжения составных деталей, а также обработку посадочного отверстия и его торцов. Отверстия, предусмотренные для уменьшения массы диска насадного колеса обрабатывают на черновых операциях изготовления заготовки. При необходимости предохранения торцов диска от цементации эти отверстия обрабатывают после термической обработки.

3.6. Обработка зубьев

Метод обработки зубьев выбирают исходя из их обрабатываемости, точности зубчатого колеса и его конструктивных особенностей, требований к нагрузочной способности передачи, экономических соображений (производительность обработки, расходы на оборудование и инструмент, возможность автоматизации производства).

Кроме того, при выборе метода обработки зубьев учитывают влияние на нагрузочную способность предшествующих и последующих операций. Так, деформирование зубьев при термообработке, их стабилизация влияют на выбор методов зубонарезания, определяют методы отделочной обработки до или после термообработки. Снижение механических, антикоррозионных и других свойств тонкого поверхностного слоя зубьев при термообработке и зубошлифовании вызывает необходимость применения соответствующих методов зубоотделочной обработки зубьев.

Следует учитывать, что методы зубоотделочной обработки зубошевингованием, зубохонингованием, зубокалиброванием, а также зубопритиркой эффективно исправляют небольшие погрешности по нормам плавности при съеме минимального припуска и при нормальной режущей способности инструмента.

Зубчатые колеса с закрытым венцом нарезают зубостроганием, зубодолблением или пальцевыми фрезами. Зубоотделочную обработку таких колес выполняют перед термообработкой — шевингованием и зубокалиброванием, после термообработки — твердосплавными долбяками, зубостроганием твердосплавными резцами (см. подразд. 5.2).

Лезвийную обработку закаленных зубчатых колес (с модулем до 20 мм) твердосплавным инструментом наряду с зубошлифованием все шире применяют в СССР и за рубежом. На рис. 3.6 приведено ориентировочное сравнение производительности и точности зубообработки лезвийным инструментом, а также различными методами зубошлифования колес с модулем $m = 4...12$ мм и припуском на обработку зубьев 0,07 m .

Расширяющееся производство крупных закаленных зубчатых колес и зубчатых колес из сильнодеформируемых при термообработке сталей приводит к рас-

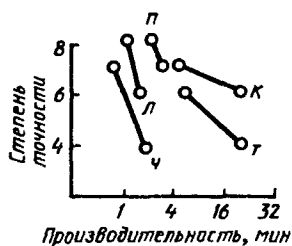


Рис. 3.6. Производительность и степень точности отделочной обработки зубьев лезвийным инструментом и зубошлифованием: ч — червячным кругом; п — профильным кругом; т — тарельчатым кругом; л — лезвийным инструментом

ширению области использования зубошлифования, а также ко все более широкому применению лезвийного твердосплавного инструмента [3, 15].

Зубошлифование обеспечивает наибольшую точность закаленных зубчатых колес, однако стабильность механических свойств в большой степени зависит от стабильности свойств материала колеса, его термообработки, характеристик шлифовального круга и т. д.

При особых требованиях к качеству поверхностного слоя зубьев после зубошлифования рекомендуется выполнять зубохонингование, обработку пластическим деформированием и другие виды обработки (см. подразд. 3.10), стабилизирующие и повышающие механические свойства поверхностного слоя зубьев.

Зубообработка закаленных колес лезвийным твердосплавным инструментом (червячные фрезы, обкаточные резцы, долбяки и др.) наиболее рациональна для зубчатых колес 7—9-й степени точности с $m \geq 6$ мм, механические свойства поверхностного слоя зубьев при этом не снижаются (см. подразд. 3.10, 5.2, 5.5).

Степень точности колес, достигаемая при различных методах зубообработки, приведена в табл. 3.11, 3.12.

Рекомендации по выбору оборудования и инструмента для изготовления зубчатых колес различной точности приведены в табл. 3.13.

3.11. Точность обработки зубчатых колес из термически улучшаемых сталей

Метод обработки	Степень точности после обработки	
	черновой	чистовой
Зубофрезерование червячными фрезами	6—7	4—5
Зубофрезерование дисковыми и пальцевыми фрезами	9	8
Зубодолбление	7—8	5—6
Зубошвингование	7—8	5—6
Обработка обкаточными резцами	9	8

3.12. Точность обработки зубчатых колес из закаливаемых сталей

Метод обработки	Степень точности после обработки	
	черновой	чистовой
Зубошлифование	5—6	3—4
Зубохонингование	По нормам плавности работы на одну степень выше исходной	
Зубофрезерование червячными фрезами из быстрорежущей стали повышенной производительности твердостью зубьев до HRC ₃ 41,5	8—9	7—8
Лезвийная обработка твердосплавным инструментом — червячными фрезами, долбяками, обкаточными резцами	8—9	6—7

3.13. Рекомендуемые классы точности станков и инструмента для обработки зубчатых колес

Станки и инструмент	Стандарт	Степень точности зубчатых колес								
		3	4	5	6	7	8	9	10	11
Станки:										
зубофрезерные верти- кальные	ГОСТ 659—78Е	—	A	B	П	H	—	—	—	—
зубофрезерные гори- зонтальные	ГОСТ 18065—80Е	—	A	B	П	H	—	—	—	—
зубодолбежные	ГОСТ 658—78Е	—	—	B	П	H	—	—	—	—
зубошевинговальные	ГОСТ 13281—77Е	—	A	B	—	—	—	—	—	—
зубошлифовальные с кругом:										
червячным	ГОСТ 13086—77Е	—	A	B	—	—	—	—	—	—
коническим	ГОСТ 7640—76Е	—	A	B	—	—	—	—	—	—
тарельчатым	ГОСТ 13150—77Е	C	A	—	—	—	—	—	—	—
профильным	ГОСТ 13133—77Е	—	—	B	П	—	—	—	—	—
плоским	ГОСТ 13150—77Е	C	A	—	—	—	—	—	—	—
Инструмент:										
фрезы:										
червячные одноза- ходные	ГОСТ 9324—80	—	—	AAA	AAA	AA	A	B	C	D
дисковые	ОСТ 2И41—14—87	—	—	—	—	—	—	—	—	—
долбки зуборезные	ГОСТ 9323—79	—	—	—	AA	A	B	—	—	—
шеверы дисковые	ГОСТ 8570—80Е	—	—	AA	A	B	C	—	—	—

Примечание. При комбинировании норм разных степеней точности зубчатого колеса класс точности станка устанавливают исходя из норм кинематической точности и норм контакта на колесо, а класс точности инструмента — исходя из норм плавности для прямозубых и узких косозубых колес или норм контакта для широких косозубых колес.

В турбостроении изготавливают зубчатые колеса 6-й и более степеней точности из азотируемых сталей без станочной зубоотделочной обработки (см. подразд. 3.13). В тяжелом машиностроении изготавливают зубчатые колеса 7-й степени точности с закалкой ТВЧ без зубоотделочных операций после термообработки.

В условиях массового производства удается изготавливать колеса из нитроцементуемых сталей 6—7-й степени точности без зубошлифования.

Нарезание зубьев колес, не подвергаемых обработке после закалки, следует производить с учетом изменения толщины зубьев после их термической обработки. При отсутствии особых требований к колебанию боковых зазоров в партии колес рекомендуется увеличивать в 1,5—2 раза допуск на смещение исходного контура T_n (с ограничением его колебания величиной F , на каждом венце).

Уменьшение в передаче погрешностей шага зацепления закаленных колес со шлифованными зубьями возможно посредством комплектования пар.

Для улучшения эксплуатационных показателей зубчатых колес все более широко применяют модификацию поверхности зубьев. Выпускают зубошлифовальные станки (см. подразд. 5.2), позволяющие выполнять произвольную («координатную») модификацию; все более широко применяют правку шлифовальных кругов профильными алмазными инструментами, что позволяет получить при шлифовании различные модификации эвольвентного профиля зубьев. Используют модификацию поверхности зубьев при зубохонинговании (см. подразд. 5.3).

Модификацию поверхности зубьев перед термообработкой осуществляют при зубофрезеровании, зубострогании, зубодолблении, зубошевинговании и зу-

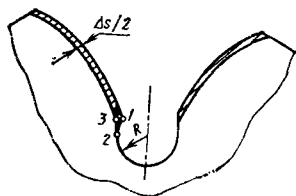


Рис. 3.7. Схема нарезания зубьев перед отделочной зубообработкой с оставлением припуска только по эвольвентным поверхностям зубьев

бокалибровании. Зубофрезерные станки оснащают системами для продольной модификации зубьев, модификация эвольвентного профиля зубьев осуществляется специальным профилированием инструмента.

При зубошевинговании модификация эвольвентного профиля достигается соответствующей модификацией профиля зубьев шевера, модификация продольного профиля зубьев — радиальным перемещением шевера относительно колеса, а также изменением тормозной силы при одностороннем шевинговании. Расширяется применение шеверов внутреннего зацепления, с помощью которых можно получать различные варианты модификации (см. подразд. 5.1).

Модификация зубьев также осуществляется и при лезвийной чистовой обработке закаленных колес.

Обработку переходных поверхностей зубьев высокоточных и тяжелонагруженных колес применяют все чаще как для увеличения прочности при изгибе зубьев, так и для улучшения условий работы чистового зуборезного и зубошлифовального инструмента, в том числе после упрочняющей термообработки (см. подразд. 5.2). Схема расположения припусков на чистовую зубообработку приведена на рис. 3.7. При этом начальная точка 1 и радиус R выкружки принимают такими, чтобы при снятии припуска $\Delta s/2$ точка 2 находилась за пределами рабочего эвольвентного профиля (точка 3). Переходные поверхности зубьев (выкружку) отделяют полированием для удаления рисок вдоль зубьев. В ряде случаев допускается шлифование этих поверхностей после термообработки. Лезвийная обработка твердосплавным инструментом способствует повышению нагрузочной способности передач (см. подразд. 3.10).

Припуски на толщину зубьев, оставляемые на рабочих профилях на чистовую зубообработку, рекомендуется принимать соответственно табл. 3.14. При назначении припусков на последующую зубообработку необходимо учитывать следующее: при единичном производстве колес больших размеров и последовательной зубообработке на одном станке припуск допускается снижать; при изготовлении колес с большими допусками на толщину зубьев, отделка которых выполняется шевингованием или шлифованием, рекомендуется толщину зубьев на чистовой зуборезной операции несколько уменьшать, принимая в дальнейшем часть чертежного допуска в качестве припуска на отделочные операции, что сократит время отделочных операций; припуск на шлифование колес с поверхностной закалкой зубьев принимают по минимальному пределу, указанному в табл. 3.14, а для колес из высоколегированных цементуемых сталей — по максимальному пределу, но с учетом максимально допустимой толщины цементованного слоя, снимаемого с рабочих профилей. Минимальные припуски на зубошлифование, рекомендуемые в табл. 3.14, соответствуют точности колес перед зубошлифованием, указанной в табл. 3.15.

В среднесерийном производстве припуски на шлифование и шевингование зубьев уточняют экспериментально путем измерения толщины зубьев до данной операции и после нее (при полном удалении следов предыдущей обработки с рабочих профилей зубьев).

Размеры зубьев специального черного зуборезного инструмента, а также чистового инструмента под шлифование и шевингование следует выбирать с учетом припусков, оставляемых по рабочим профилям.

3.14. Припуски на чистовую зубообработку цилиндрических колес

Зубообработка	Модуль, мм	Зубонарезание									
		черновое					чистовое				
		Диаметр колеса, мм									
		До 100	100—200	200—500	500—1000	Св. 1000	До 100	100—200	200—500	500—1000	Св. 1000
<i>Припуски на толщину зубьев, мм (по нормали), оставляемые при зубонрезании*¹</i>											
Чистовое нарезание	До 5	0,5—0,7	0,6—0,8	0,8—1,0	0,8—1,0	1,0—2,2	—	—	—	—	—
	5—10	0,6—0,8	0,7—1,0	0,9—1,4	1,0—1,6	1,2—1,9	—	—	—	—	—
	10—15	1,0—1,5	1,2—1,6	1,2—1,8	1,4—2,0	1,5—2,2	—	—	—	—	—
	Св. 15	1,2—1,8	1,4—2,0	1,5—2,2	1,8—2,2	2,0—3,0	—	—	—	—	—
Шевингование* ²	До 3	—	—	—	—	—	0,06—0,10	0,08—0,12	0,08—0,12	—	—
	3—5	0,6—0,9	0,8—1,0	1,0—1,2	1,0—1,3	1,2—1,5	0,08—0,12	0,10—0,15	0,10—0,15	0,12—0,18	0,15—0,20
	5—7	0,8—1,0	1,0—1,2	1,1—1,5	1,2—1,8	1,2—2,0	0,10—0,14	0,12—0,16	0,12—0,16	0,15—0,18	0,16—0,20
	7—10	0,8—1,0	1,0—1,2	1,1—1,6	1,4—2,2	1,4—2,2	0,12—0,16	0,15—0,18	0,15—0,18	0,18—0,22	0,18—0,22
Шлифование, лезвийная обработка твердосплавным инструментом	До 3	—	—	—	—	—	0,15—0,20	0,15—0,25	0,18—0,30	—	—
	3—5	—	—	—	—	—	0,18—0,25	0,18—0,30	0,20—0,35	0,25—0,45	0,30—0,50
	5—10	0,85—1,2	1,1—1,5	1,2—1,8	1,4—2,2	1,6—2,5	0,25—0,40	0,30—0,50	0,35—0,60	0,40—0,70	0,50—0,50
	10—20	1,2—1,8	1,4—2,0	1,5—2,2	1,8—2,5	2,0—3,0	0,35—0,50	0,40—0,60	0,50—0,70	0,50—0,70	0,60—0,50

*Допуски на припуск, мкм*³*

Зубообработка	Диаметр колеса, мм							
	До 50	50—100	100—200	200—500	500—800	800—1250	1250—2000	Св. 2000
Чистовое нарезание	150	180	220	260	300	350	400	450
Шевингование* ⁴ :								
с подналадкой	50	60	75	90	100	110	125	150
без подналадки	40	50	60	70	80	—	—	—
Шлифование, лезвийная обработка твердосплавным инструментом	65	80	100	120	150	180	230	—

*¹ Технологическая толщина зубьев $s_{н\tau}$ на данной операции определяется как сумма верхней предельной толщины зубьев по чертежу $s_{не} = s_n - E_n$ и указанного припуска Δ , где s_n — нормальная толщина зуба; E_n — верхнее отклонение толщины зуба; $s_{н\tau} = (s_n - E_n) + \Delta$.

*² При обработке прямозубых колес припуск допускается уменьшать на 10—25%, а для колес с углом наклона зубьев более 15° — увеличивать на 10—15% по сравнению со значениями, указанными в таблице.

*³ Допуск T на толщину зубьев после данной операции устанавливается «в минус» от технологического размера.

*⁴ В среднесерийном производстве рекомендуется работать с подналадкой станка на партию колес, обработанных на одной наладке зуборезного станка.

3.15. Допустимые отклонения, мкм, цилиндрических зубчатых колес со шлифуемыми зубьями после термической обработки и отделки посадочных баз (ориентировочные)

Материал и термическая обработка колеса	Обозначение отклонения	Диаметр колес, мм								
		До 50	50—80	80—120	120—200	200—320	320—500	500—800	800—1250	1250—2000
Конструкционная сталь с поверхностной закалкой	F_r	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,12	0,15	0,19	0,22
	E_w	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,15	0,20
	F_β	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
Конструкционная сталь низколегированная цементованная или закаливаемая	F_r	0,08	0,10	0,12	0,15	0,18	0,20	0,24	0,30	0,36
	E_w	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,15	0,18	0,20	0,24
	F_β	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06
Низкоуглеродистая высоколегированная цементованная сталь	F_r	0,12	0,17	0,20	0,24	0,28	0,32	0,38	0,48	0,56
	E_w	0,05	0,08	0,10	0,12	0,15	0,18	0,22	0,25	0,30
	F_β	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08

Обозначения: F_r — радиальное биение зубчатого венца; E_w — отклонение длины общей нормали; F_β — отклонение направления зубьев на 100 мм ширины венца.

Закругление торцов зубьев переключаемых колес, снятие фасок на торцовых кромках и удаление заусенцев производят после чистового зубонарезания; после шевингования заусенцы удаляют повторно.

Необходимой частью технологического процесса зубообработки является технологический контроль точности и качества зубчатых колес (см. подразд. 9.2). При этом предпочтение следует отдавать профилактическому контролю, при котором высокое качество колес обеспечивается благодаря контролю заготовок, высокой точности оборудования, оснастки и инструмента.

3.7. Установка заготовок колес на зубообрабатывающих станках

Заготовки валов-шестерен среднего размера, колес с шейками и многорядных колес (с модулем менее 6 мм) устанавливают непосредственно в центрах, особенно на станках с горизонтальной осью заготовки. При установке на горизонтальный зубофрезерный станок заготовок крупных валов-шестерен и колес, посаженных на вал, их поддерживают люнетами по базовым шейкам вала (рис. 3.8) с помощью четырехкулачковых или самоцентрирующих патронов, а свободный конец — люнетом или центром.

Заготовки крупных колес на станках с вертикальной осью заготовки часто устанавливают без центрирующей оправки, их положение проверяют по радиальному биению посадочных поверхностей или наружного цилиндра заготовки (рис. 3.9).

Пакетную установку узких колес применяют чаще на зубофрезерных станках: смежно устанавливают плоские торцы без выступающей ступицы. Заготовки на зубошевиговальных станках с вертикальной осью заготовки устанавливают так же, как на зуборезных станках. Из-за отсутствия верхней поддержки заготов-

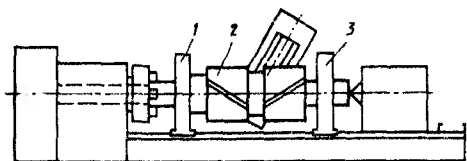


Рис. 3.8. Схема установки заготовки крупного вала-шестерни на горизонтальном зубофрезерном станке:

1, 3 — люнет; 2 — заготовка

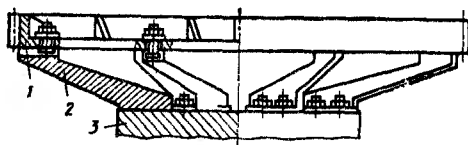


Рис. 3.9. Схема установки заготовки крупного зубчатого колеса на вертикальном зубофрезерном станке:

1 — заготовка; 2 — сменная подставка; 3 — стол станка

ки валов-шестерен на вертикальных зубошвинговальных станках не обрабатывают.

Заготовки валов-шестерен, многовенцовых колес и колес с шейками на зубошвинговальных станках с горизонтальной осью заготовки обычно устанавливают непосредственно в центрах, заготовки насадных колес, многовенцовых колес и колес с шейками средних размеров — на оправках (рис. 3.10). Технологические базы при зубошвинговании и зубонарезании должны совпадать.

При крупносерийном и массовом производстве зубчатых колес диаметром до 100—150 мм на швинговальных станках применяют автоматизированные приспособления, резко сокращающие вспомогательное время.

На рис. 3.11 и 3.12 приведены типовые варианты установки заготовок зубчатых колес на зубошлифовальных станках.

При установке заготовок насадных зубчатых колес, а также венцовых колес на зубошлифовальных станках с горизонтальной осью заготовки в качестве технологических баз обычно используют основные конструкторские базы заготовки — посадочное отверстие и базовый торец ступицы или выточки (см. рис. 3.11).

При установке заготовок крупных валов-шестерен и колес на оправках на зубошвинговальных и зубошлифовальных станках в качестве поводка детали обязательно применяют плавающие хомуты.

При изготовлении колес, у которых после термической обработки можно обработать торец диска резцом, в качестве опорной базы на зубошлифовальных станках с вертикальной осью заготовки рекомендуется использовать этот торец (см. рис. 3.12, а и г) с опорой на чашу 6, установленную на тумбе 1. Заготовку насадных колес центрируют оправкой 5, колес с шейками — втулкой 7. Зажимать заготовку рекомендуется по торцу ступицы через шайбу 4 с помощью тяги 3 без винтового зажима. При больших размерах колес в качестве опорной базы используют торец зубчатого венца (см. рис. 3.12, д).

При обработке заготовок колес, у которых швингуют и шлифуют зубья, обычно применяют разжимные центрирующие элементы в установочных приспособлениях (см. рис. 3.12, б).

При серийном производстве рекомендуется на всех типах зубообрабатывающих станков применять специальные групповые приспособления, каждое из которых используют для обработки группы заготовок с определенным диапазоном размеров.

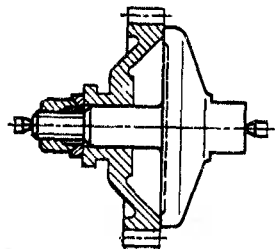


Рис. 3.10. Схема установки заготовок насадных колес на швинговальном станке с горизонтальной осью заготовки

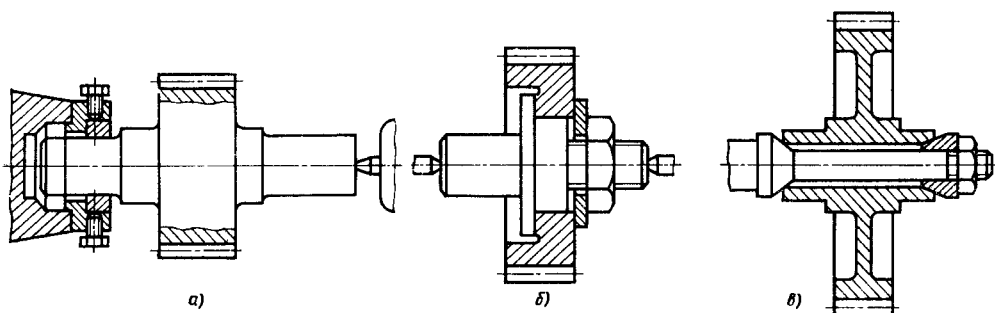


Рис. 3.11. Схемы установки заготовок зубчатых колес на зубошлифовальном станке с горизонтальной осью заготовки:

а — вал-шестерня; *б* — насадное колесо; *в* — колесо с шейками

Для уменьшения износа делительной пары привода стола станка рекомендуется применять приспособления, в которых зажим заготовки в осевом направлении выполняют без вращения гайки или винта, соосных столу или рабочему шпинделю. Для этого удобно применять встроенные в шпиндель или в приспособление гидро- или пневмоцилиндры, а при обработке крупных колес — гидрошайбы.

При многооперационной зубообработке цилиндрических колес на чистовой зуборезной или зубошлифовальной операции рекомендуется применять приспособления с фиксатором 2, ориентирующим предварительно обработанные впадины

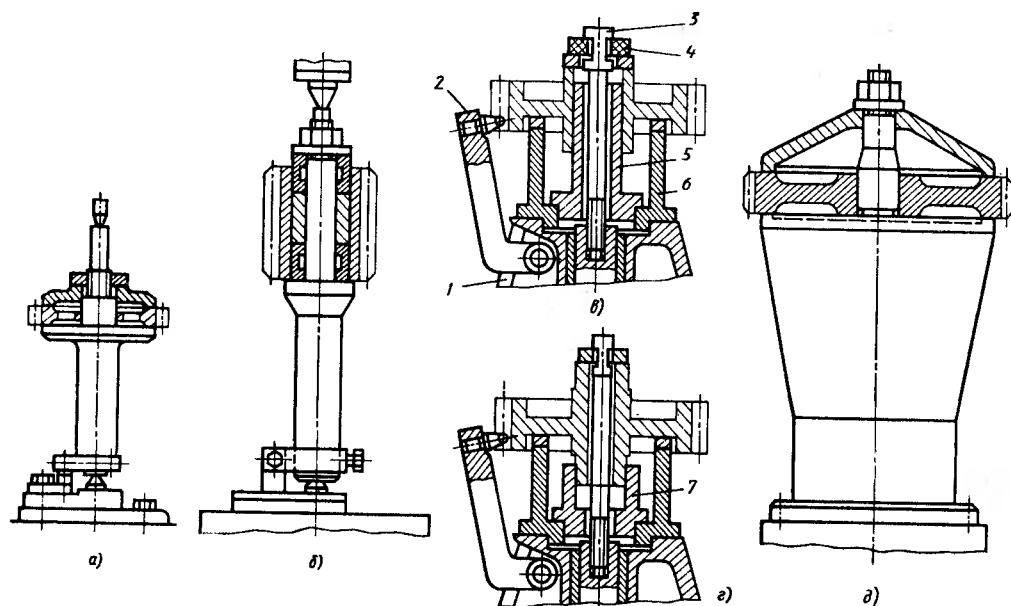


Рис. 3.12. Схемы установки заготовок зубчатых колес на зубошлифовальном станке с вертикальной осью заготовки:

а — колеса малых размеров; *б* — насадные широкие; *в* — колеса средних размеров; *г* — колеса с шейками; *д* — колеса больших размеров

зубьев относительно зубьев чистового зуборезного инструмента (см. рис. 3.12, в, г). Радиальное биение центрирующего элемента приспособления рекомендуется принимать не более $0,25F_r$ при жестком центрирующем элементе и не более $0,5F_r$ при разжимном или упругом центрирующем элементе. Торцовое биение базового опорного торца приспособления и отклонение от соосности люнетов рекомендуется принимать не более $0,3 (d/b)F_\beta$. Допуск на диаметр центрирующего элемента приспособления рекомендуется выбирать по табл. 3.16.

3.16. Поле допуска (ГОСТ 25347—82) диаметра центрирующего элемента приспособления для зубообрабатывающего станка (ориентировочно)

Степень точности зубчатого колеса по ГОСТ 1643—81	Диаметр колес, мм								
	До 50	50—80	80—120	120—200	200—320	320—500	500—800	800—1250	1250—2000
5—6	h5						g6		
7	g4—g5			g6			f7		
8	g6			f7					
9	f7			f8					
10—11	f8								

Примечания: 1. При комбинировании норм разных степеней точности колеса допуски принимают в зависимости от степени кинематической точности. При наличии последующего шевингования зубьев допуски на зуборезной операции принимают в зависимости от степени кинематической точности зубошевингования.

2. В приспособлениях с центрирующей охватывающей втулкой допуски принимают по системе вала, обеспечивая указанные отклонения, но с обратным знаком.

3. Для зубошевинговальных и зубодолбежных станков допуск уменьшают на 10—20% по сравнению с указанным.

Проверку биения центрирующей поверхности и опорного торца приспособления на станке следует производить после каждой переналадки станка или приспособления, но не реже одного раза в одну-четыре смены, в зависимости от загрузки станка и массы обрабатываемых колес (см. гл. 9).

При установке заготовок колес больших размеров на зубообрабатывающих станках без специального центрирующего приспособления заготовку выставляют по конструкторской базовой поверхности с помощью индикатора, непрерывно вращая стол. При этом радиальное биение рекомендуется принимать равным $0,75—0,80F_r$. Для шевинговальных и зубодолбежных станков радиальное биение принимают на 10—20 % меньше.

Если на зубообрабатывающем станке невозможно проверить биение конструкторской базовой поверхности колеса, заготовку устанавливают по поверхности вершин зубьев. В этом случае допускается биение не более $0,35—0,40F_r$ при соблюдении точности обработки заготовки, рекомендуемой в гл. 9. Биение базового торца зубчатого венца колеса или разность радиального биения посадочных шеек вала-шестерни принимают равным $0,3 (d/b) F_\beta$.

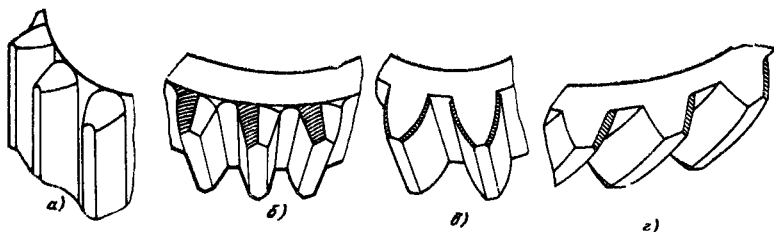


Рис. 3.13. Обработка торцов зубьев:

а — радиусная форма; *б* — остроугольная форма; *в* — фаски по обоим профилям; *г* — фаски с одной стороны косозубого колеса

3.8. Обработка торцовых поверхностей зубьев

Торцовые поверхности зубьев обрабатывают для придания торцу специальной формы, обеспечивающей вход в зацепление переключаемых колес, а также для притупления острых кромок и удаления заусенцев, образующихся при нарезании колес.

У торцов зубьев можно получить форму в соответствии с требованиями эксплуатации колес и технологическими возможностями оборудования. Наибольшее распространение нашли радиусная форма торца зуба (рис. 3.13, *а*), а также остроугольная форма (рис. 3.13, *б*), получаемая при обработке зубьев торцовыми фрезами.

Фаски у прямозубых цилиндрических колес снимают по всему контуру зубьев или по обоим профилям (рис. 3.13, *в*), а у косозубых колес в большинстве случаев — с одной стороны профиля зуба, имеющего острую кромку (рис. 3.13, *г*).

Закругления торцовых поверхностей зубьев выполняют пальцевой фрезой (фасонной или конусной), ось которой почти перпендикулярна оси колеса (рис. 3.14). Большие стойкость инструмента и производительность обработки достигаются на станках, в которых используется дисковая фреза. Однако этот метод применяют ограниченно вследствие врезания фрезы в выступающую ступицу или деталь крепления колеса. Заострение торцовых поверхностей пустотелыми конусными (торцовыми) фрезами показано на рис. 3.15.

Фаски на торцах зубьев (рис. 3.16) снимают абразивным инструментом, который позволяет обрабатывать закаленные и незакаленные колеса, не образуя при этом дополнительных заусенцев. На станках с дисковым шлифовальным кругом, который благодаря качанию шлифовальной головки «следит» за всем про-

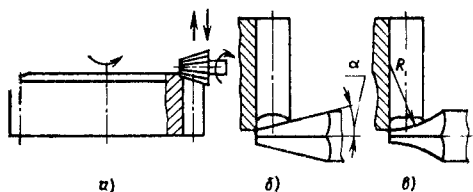


Рис. 3.14. Схема обработки торцовых поверхностей зубьев пальцевыми фрезами:

а, б — конусной; *в* — фасонной

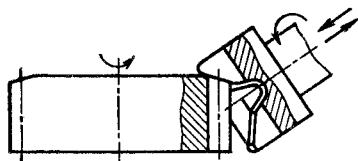


Рис. 3.15. Схема обработки торцовых поверхностей зубьев пустотелой конусной торцовой фрезой

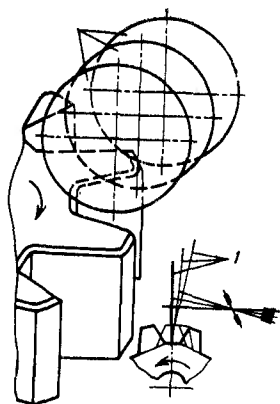


Рис. 3.16. Схема обработки фасок плавающим дисковым шлифовальным кругом:

1 — последовательные положения круга относительно вращающегося колеса

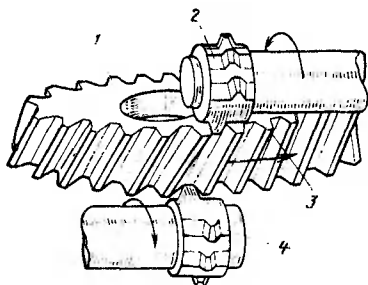


Рис. 3.17. Схема обработки фасок червячными фрезами-улитками:

1 — заготовка зубчатого колеса; 2 — правая фреза; 3 — фаска; 4 — левая фреза

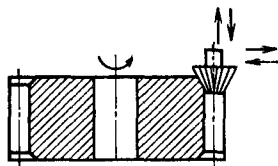


Рис. 3.18. Схема снятия фаски на торцевых кромках зубьев колеса конусной фрезой

филем зуба, круг прижимается с небольшой силой к равномерно вращающемуся колесу и обработка производится за один или несколько оборотов колеса.

Применяют обработку косозубых колес: двумя червячными фрезами-улитками, одновременно снимающими острые кромки обоих торцов колеса (рис. 3.17); конусными фрезами с осью, параллельной оси колеса (рис. 3.18); пустотелыми коническими фрезами; профильными пальцевыми фрезами; колесом-накатником, при этом металл фаски выдавливается на торец зубьев колеса, а затем образовавшиеся наплывы срезаются резцами.

При изготовлении крупных косозубых колес, особенно прецизионных, вместо закругления торцов зубьев обычно срезают часть металла с заостренной стороны зубьев. Для этого используют повторный рабочий ход червячной фрезы с зубьями уменьшенной толщины (перестройка гитары дифференциала) или обработку обкаточными резцами за несколько оборотов заготовки.

Продольные кромки зубьев обычно притупляют червячной фрезой специального контура одновременно с обработкой эвольвентного профиля зубьев, а также с помощью электрохимических методов.

Технические характеристики станков для обработки торцевых поверхностей зубьев приведены в табл. 3.17.

3.9. Отделка базовых поверхностей после термической обработки

При изготовлении колес большой жесткости и валов-шестерен, особенно с поверхностной закалкой зубьев, отделку базовых посадочных поверхностей после термической обработки выполняют только для восстановления их формы и размеров. На валах-шестернях шлифуют посадочные шейки и шлицевые поверхности; на цементованных валах-шестернях, кроме того, нарезают точную соосную резьбу и шлицевые поверхности с эвольвентным или треугольным профилем, которые предохраняют от цементации.

Предварительно исправляют технологические базы для отделочных операций — центровые фаски; на валах с незакаленными торцами центровые фаски от-

3.17. Технические характеристики станков для обработки торцовых поверхностей зубьев

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Инструмент			Масса станка, т	Операция, выполняемая на станке
		Диаметр	Модуль	Ширина венца	Тип	Диаметр, мм	Частота вращения, мин ⁻¹		
Витебский станкостроительный завод им. Коминтерна (СССР)	5Е580 5Н582	320	6	140	Пальцевая фреза	18	1075—3258	3	Закругление зубьев
		500	8	140		18	1000—2000	4	
	5Б525 5Б525-2 5527	500	10	350	Дисковый шлифовальный круг	125	7700	0,315	Снятие фасок
		500	10	350		125	7700	0,345	
	BC-320A BC-500	500	16	300		150	5580	0,69	
		320	8	140	Одновитковая червячная фреза	70	320	2,4	
		500	10	140		75	205	3,5	
Егорьевский станкостроительный завод «Комсомолец» (СССР)	ЕЗ-101	250	4,5	100	Пальцевая фреза	18	1420	2,9	Закругление зубьев
Корсунь-Шевченковский станкостроительный завод им. Б. Хмельницкого (СССР)	КН-50	220	4	100	Торцовая фреза	20	600—1350	3,2	
«Хурт» (ФРГ)	ZRF	250	5	100	Пальцевая фреза	14	2240	1,8	Снятие фасок
	ZK7	280	4	100	Накатник	—	250—280	1,6	
	ZEА	120	4	50	Накатник	200	128	1,5	
«Гревема» (ФРГ)	АТМ 55	350	8	—	Пальцевая фреза	—	500—3500	2	Закругление зубьев
«Окамото» (Япония)	GTR-E	200	6	100	Пальцевая фреза	—	1800	1	
«Хова» (Япония)	MCG-3	150	4	100	Торцовая фреза	25	2000	3,5	
«Тратомат» (ФРГ)	300Н	600	10	400	Дисковый шлифовальный круг	—	25 000	0,26	Снятие фасок
«Сампутенсили» (Италия)	SU—200SML	200	—	50	Накатник	—	700—1000	2,5	

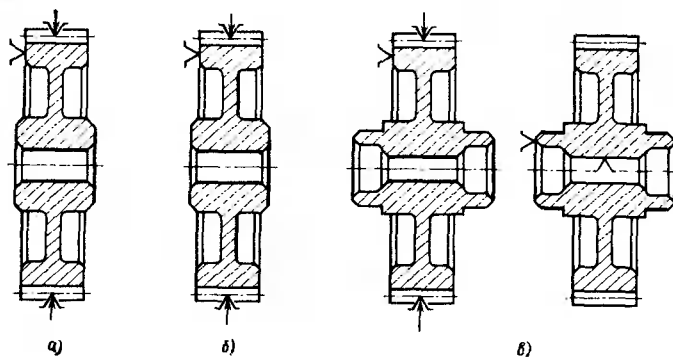


Рис. 3.19. Схема обработки базовых поверхностей заготовки зубчатого колеса после термической обработки:

а — окончательная обработка заготовки колеса; *б* — обработка заготовки колеса, подлежащего последующему зубошлифованию; *в* — обработка базового отверстия (с эвольвентными шлицами) и посадочных шеек заготовки колеса с шейками

делывают зенкерами. У валов с закаленными торцами центровые фаски исправляют конусными шлифовальными пальцевыми кругами. При поверхностной закатке зубьев исправление центровых фасок обычно не выполняют.

Отделку посадочного отверстия в жестких насадных шестернях и плоских колесах обычно производят, ориентируя заготовку по базовой поверхности, использованной для центрирования при зубообработке. При низкой твердости поверхности отверстия (до HRC₀ 41,5) отделку его часто выполняют калибрующей выглаживающей протяжкой, используя шаровую опору на станке.

Точность обработки заготовок колес, отделываемых после термической обработки без изменения ориентирования посадочной поверхности относительно зубчатого венца, должна соответствовать данным, приведенным в табл. 3.6, а биение базового торца допускается не более $F_t = 0,5 (d/b) F_B$ (см. подразд. 3.4).

При изготовлении колес, подвергаемых сравнительно интенсивному деформированию при термической обработке, отделку базовых посадочных поверхностей осуществляют одновременно с восстановлением их ориентирования относительно зубчатого венца (рис. 3.19, *а*). При изготовлении точных колес одновременно с базовой посадочной поверхностью обрабатывают технологическую опорную базу — торец выточки для последующего зубошлифования (рис. 3.19, *б*). При этом колеса устанавливают в специальных патронах, центрирующих заготовку по зубчатому венцу (роликами, рейками или зубчатыми секторами). Многовенцовые колеса и колеса, у которых ширина венца больше диаметра (особенно не имеющие конструкторских торцовых баз), устанавливают в патронах, имеющих два самостоятельных центрирующих элемента (двухрядные патроны). В качестве опорной базы заготовки обычно используют торец зубчатого венца, применявшийся для базирования заготовки на зуборезном станке, а центрирование производят по зубьям колеса через шарики (рис. 3.20).

Рекомендуется применять многокулачковые патроны (четыре-шесть кулачков), в которых деформированный зубчатый венец более точно ориентируется относительно оси шпинделя станка.

Точность колес с нешлифуемыми зубьями после отделки посадочных поверхностей должна соответствовать допускам, заданным чертежом, а при последующей зубоотделочной обработке — желательно соответственно табл. 3.15.

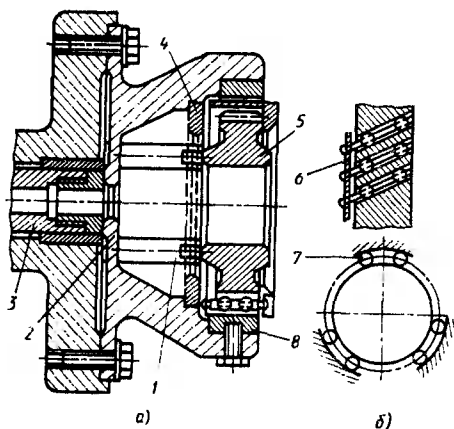


Рис. 3.20. Мембранное приспособление для закрепления заготовки зубчатого колеса при шлифовании базового отверстия и торца: *a* — общий вид приспособления; *б* — сепаратор; 1 — опорные пальцы; 2 — мембрана; 3 — привод раскрытия патрона; 4 — съемное кольцо; 5 — за-

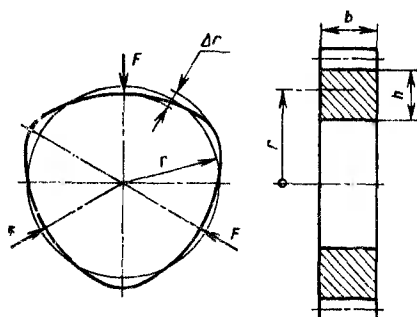


Рис. 3.21. Изменение геометрических параметров зубчатого колеса при зажиме за венец

товка зубчатого колеса; *б* — кольцо сепаратора; 7 — шарик сепаратора; 8 — кулачки приспособления

Отделка прямобоковых шлицевых отверстий в колесах с низкой твердостью ступицы выполняется калибрующими (режущими) шлицевыми протяжками, центрируемыми по предварительно отделанному посадочному отверстию. Независимо от системы центрирования шлицевого соединения внутренний диаметр посадочного отверстия отделывают после термической обработки с полем допуска *H7* или *H8*. Соединительные отверстия в диске колеса, в том числе венцового типа, обрабатывают после отделки базовых посадочных поверхностей, по которым центрируют кондуктор. Обработку и особенно развертывание соединительных отверстий обычно производят совместно в сопряженных деталях.

При отделке посадочных поверхностей венцовых (нежестких в радиальном направлении) колес следует учитывать возникающее при зажиме в патроне отклонение от круглости (рис. 3.21) $\Delta r = r_{\max} - r_{\min}$, определяемое по формуле

$$\Delta r = K_n \frac{\Sigma F r^3}{JE},$$

где K_n — коэффициент, значения которого в зависимости от числа мест зажима n следующие:

n	3	4	5	6	7	8
K_n	0,009	0,0025	0,001	0,0005	0,0002	0,0001

$F\Sigma$ — сумма сил зажима; r — средний радиус тела колеса без учета зубьев;
 $JE = \frac{bh^3}{12}$; E — модуль упругости материала венца.

3.10. Технологические методы упрочнения

Влияние технологических процессов на уровень и стабильность работы зубчатых колес, особенно термически упрочняемых, под нагрузкой необходимо учитывать при выборе методов зубообработки.

Зубошлифование — основная зубоотделочная операция колес 4—6-й степени точности при высокой поверхностной твердости зубьев. Однако вследствие интенсивного тепловыделения в зоне резания зубошлифование может снизить контактную прочность и прочность при изгибе зубчатых колес. Относительно низкая производительность этой операции объясняется необходимостью предупреждения шлифовочных прижогов.

Удаление дефектного поверхностного слоя толщиной 5—20 мкм без искажения профиля зубьев, например, специальным зубохонингованием активного профиля зубьев (см. подразд. 5.2) или электрополированием переходных поверхностей зубьев позволяет существенно повысить контактную прочность и прочность при изгибе зубьев, а также восстановить антикоррозионные и другие свойства материала после зубошлифования или упрочняющей термообработки (табл. 3.18).

3.18. Зависимость работы зубчатой передачи под нагрузкой от технологии зубоотделочной обработки

Основная зубоотделочная операция	Упрочняющая технологическая операция	Ориентировочное увеличение	
		прочности при изгибе	контактной прочности
Зубошлифование	Зубохонингование	—	В 10 раз и менее
	Зубошлифование с толщиной снимаемого слоя, имеющего пониженные механические свойства, $t \leq 20$ мкм	На 40—60%	В 8 раз и менее
	Образование нешлифованных переходных поверхностей зубьев применением фрез с протуберанцами	На 10%	—
	Обработка переходных поверхностей шлифованием и электрополированием	На 40%	В 2 раза
	Обработка переходных поверхностей шлифованием, электрополированием и старением	—	В 4,5 раза
Отделочная зубообработка твердосплавным инструментом	Обработка переходных поверхностей зубьев в оптимальных условиях	На 15%	—

Отделочная зубообработка колес 7–8-й степени точности с высокой поверхностной твердостью твердосплавным лезвийным инструментом оказывает более благоприятное воздействие на поверхностный слой зубьев, чем зубошлифование, благодаря отсутствию шлифовочных прижогов, этим, в частности, и определяется значительно большая производительность метода при более низкой точности обработки.

3.11. Особенности восстановления зубчатых колес при ремонте машин

Прогрессирующее изнашивание зубчатых колес приводит к увеличению потерь в передаче, ухудшению динамических свойств привода и разрушению сопряженных деталей и узлов, например двигателей, резкому увеличению вибраций и шума.

При изготовлении крупногабаритных колес экономия металла в последние годы достигается восстановлением изношенных зубьев. Известен отечественный и зарубежный опыт восстановления зубьев ведомых колес тяговых передач локомотивов [17], зубьев зубчатых колес передач турбинного типа, венцов рудо-размольных мельниц, карьерных экскаваторов, а также зубчатых колес сельскохозяйственных машин, тракторов, автомашин, угольных машин.

К технологическому процессу восстановления зубчатых колес предъявляются особые требования:

способность передачи, включающей восстановленное зубчатое колесо, к восприятию нагрузки должна быть не меньше, чем новой передачи;

при восстановлении следует рационально выполнять разборку узла; например, ведомые колеса тяговых передач локомотивов восстанавливают, не разбирая колесной пары;

методы зубообработки, применяемые при восстановлении, должны быть высокопроизводительными, так как необходимая толщина снимаемого слоя металла часто во много раз превышает припуски на чистовую зубообработку новых колес;

простота изготовления и повторной заточки инструмента, возможность использования универсальных станков определяют возможность восстановления в условиях ремонтных заводов.

На опыте восстановления зубчатых колес разработаны четыре основные схемы.

1. Восстановление исходного эвольвентного профиля уменьшением толщины зубьев. В этом случае основные геометрические и кинематические показатели передачи не изменяются, а боковой зазор увеличивается. Такая схема применяется, например, для ведомых колес тяговых передач, для зубчатых колес передач турбинного типа. Если зубья закаленные, рационально предусматривать необрабатываемые переходные поверхности (см. подразд. 5.2).

2. Восстановление углублением зубьев колеса передачи с использованием шестерни с параметрами, отличными от параметров парной шестерни, работающей с колесом до его восстановления. В этом случае необходимо назначать параметры шестерни исходя из нагрузочной способности и технологических возможностей. Это наиболее распространенная схема, в частности, при ремонте передач поворота экскаваторов. В чертеже колеса следует предусмотреть необходимую для восстановления радиальную толщину венца.

3. Восстановление углублением зубьев колеса передачи с регулируемым межосевым расстоянием и использованием парной шестерни без изменения ее параметров. Эту схему применяют для передач поворота барабана рудо-размольных мельниц. В этом случае также необходима оценка влияния изменения геометрических и кинематических параметров на способность передачи работать под нагрузкой и технологических возможностей восстановления.

4. Восстановление первоначальных размеров зубьев колес с применением пластического деформирования или наплавки и последующей отделочной зубообработки. Эта схема нашла применение при восстановлении зубчатых колес сельскохозяйственных машин.

При восстановлении зубчатых колес с твердостью поверхности зубьев $HRC_{\phi} \geq 46,5$ применяют твердосплавный зуборезный инструмент, для колес с $HV \leq 250$ используют стандартные червячные фрезы, а при восстановлении зубчатых колес с твердостью $HV \geq 280$ с модулем $m > 20$ мм применяют специальный инструмент.

Степень пригодности зубчатых передач и их деталей к дальнейшей эксплуатации и необходимость ремонта определяют контролем их фактического состояния исходя из установленных нормативов на отдельные повреждения. Несопряженное искажение эвольвентного профиля зубьев колес в процессе износа контролируют измерением шума или вибраций передачи.

3.12. Особенности изготовления зубчатых колес Новикова ДЛЗ

Технологическая характеристика зубчатых колес Новикова ДЛЗ. Обработка незакаливаемых зубчатых колес Новикова аналогична обработке незакаливаемых эвольвентных колес, поэтому могут быть использованы рекомендации, приведенные в гл. 3 и 4.

Зубчатые колеса Новикова ДЛЗ выполняют как косозубыми, так и шевронными. В последнем случае минимальная ширина канавки s для выхода червячной фрезы меньше, чем ширина канавки эвольвентных шевронных зубчатых колес, и мало зависит от угла наклона линии зуба; так, например, для $m = 4...14$ мм $s = (4,5...6,5) m$. Большие относительные значения берут для меньших модулей.

Стандарт на исходный контур (см. гл. 1) предусматривает изготовление зубчатых колес с $HV \leq 320$. Однако этот же и другие исходные контуры используют для изготовления зубчатых колес с $HRC_s 41,5-61$.

ЦНИИТМАШ разработал рекомендации по изготовлению передач Новикова ДЛЗ классов НД-2, НД-3, НД-4 (см. гл. 9). Зубчатые колеса класса НД-1 можно изготавливать на станках класса П с применением червячных фрез, точность которых соответствует классу АА по ГОСТ 9324—80. В этом случае технологические допуски класса НД-2, указанные в табл. 3.20—3.24, должны быть уменьшены в 1,4 раза, а указанные в табл. 3.19 — в 1,25 раза.

Требования к заготовкам зубчатых колес Новикова ДЛЗ. Биение базового торца заготовки зубчатого колеса и биение этого же торца на зубофрезерном станке не должно превышать значений, указанных в табл. 3.19.

Предельные отклонения диаметра поверхности вершин зубьев при использовании его в качестве базы при измерении глубины врезания инструмента не должны превышать значений, указанных в табл. 3.20.

В остальных случаях, в том числе и при учете измеренных и маркированных на заготовке действительных отклонений диаметра поверхности вершин зубьев, поле допуска на него назначают $h11$, но не более $0,06m$ для колес класса НД-2 и не более $0,10m$ для колес класса НД-3.

Радиальное биение поверхности вершин зубьев относительно основных посадочных баз при использовании его в качестве базы для проверки точности установки на станке или для измерения точности зуборезания, а также конусность, овальность и отклонение от прямолинейности образующей цилиндра вершин зубьев не должны превышать значений, указанных в табл. 3.21. В остальных случаях радиальное биение поверхности вершин зубьев должно быть в пределах допуска на его диаметр.

Обработка зубьев зубчатых колес Новикова ДЛЗ. Нарезание зубьев зубчатых колес Новикова ДЛЗ классов НД-2, НД-3 и НД-4 (см. гл. 1 и 9) при твердости боковых поверхностей зубьев $HV \leq 320$ обычно выполняют на зубофрезерных станках червячными фрезами (ОСТ2И 41-11—87). Плавность работы передач Новикова ДЛЗ определяется сопряженностью линий зубьев колес передачи. Поэтому чистовое нарезание зубьев, особенно колес класса НД-2, рекомендуется выполнять после монтажа зубчатого колеса на валу. В этом случае при исполь-

3.21. Допуск F_{at} на радиальное биение поверхности вершин зубьев относительно посадочных поверхностей заготовки при использовании поверхности вершин в качестве базы при измерении или базировании заготовки на станке

Класс точности колеса	Модуль m , мм	F_{at} , мкм. при диаметре колеса, мм								
		До 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
НД-2	От 2 до 2,5	22	28	36	36	36	36	—	—	—
	Св. 2,5 до 3,15	22	28	36	40	45	45	45	—	—
	Св. 3,15 до 4	22	28	36	40	50	50	50	—	—
	Св. 4 до 5,0	22	28	36	40	50	55	55	55	—
	Св. 5,0 до 6,3	22	28	36	40	50	60	70	75	—
	Св. 6,3 до 8	—	28	36	40	50	60	70	80	90
	Св. 8 до 16	—	—	36	40	50	60	70	80	100
НД-3	От 2 до 2,5	32	40	40	40	40	40	—	—	—
	Св. 2,5 до 3,15	32	40	50	50	50	50	50	—	—
	Св. 3,15 до 4	32	40	50	60	65	65	65	—	—
	Св. 4 до 5	32	40	50	60	70	75	75	75	—
	Св. 5 до 6,3	—	40	50	60	70	80	90	90	—
	Св. 6,3 до 8	—	40	50	60	70	80	90	100	100
	Св. 8 до 16	—	—	50	60	70	80	90	110	125

зовании поверхности вершин зубьев в качестве базы при измерении или для базирования заготовки на станке его окончательную обработку производят также после монтажа заготовки на валу (с базированием относительно посадочных поверхностей).

При нарезании зубьев зубчатых колес передач Новикова ДЛЗ рекомендуются режимы, принятые для обработки эвольвентных зубчатых колес соответствующих модулей (подразд. 4.1). Нарезание незакаленных зубчатых колес и валов-шестерен класса НД-2 с $m > 3$ мм обычно производится за два рабочих хода.

Закаленные зубчатые колеса Новикова обрабатывают на зубошлифовальных станках, а также на зуборезных станках с твердосплавным лезвийным инструментом.

Инструмент. Точность червячных фрез для нарезания колес Новикова ДЛЗ должна соответствовать классу А и В по ОСТ2 И41-11—87.

После новой заточки червячной фрезы проверяют следующие элементы: разность соседних окружных шагов f_{no} , профиль передней поверхности зуба f_{γ} и направление стружечных канавок f_x . Отклонения не должны превышать значений, указанных в ОСТ2 И41-11—87. Допустимый износ h_z чистовых фрез по задним поверхностям зубьев в зависимости от модуля нарезаемого колеса приведен ниже.

m , мм	1,6—8	9—16
h_z , мм	0,4	0,6

Положение исходного контура рекомендуется контролировать проверкой глубины врезания фрезы или межосевого расстояния станочного зацепления при чистовой обработке.

При учете отклонения диаметра вершин зубьев на заготовке маркируют (в доступном для осмотра месте установленной на станке заготовки, например на торце, противоположном базовому торцу венца) действительное отклонение диа-

метра вершин зубьев от номинального значения (только в минус). При наличии конусности поверхности вершин на последней наносят кольцевую риску, совпадающую с плоскостью измерения диаметра.

Наладка зубофрезерного станка. Межосевое расстояние станочного зацепления назначают по результатам измерения глубины врезания или измерения межосевого расстояния при обработке. Начало отсчета глубины врезания соответствует моменту появления тонких рисок на наружном цилиндре заготовки зубчатого колеса в процессе радиального перемещения фрезерной стойки или стола (рабочего шпинделя). При наличии радиального биения наружного цилиндра заготовки колеса на станке за начало отсчета принимают среднее положение стойки или стола между моментом появления таких рисок только на ограниченном участке колеса и моментом их появления с противоположной стороны колеса. При наличии конусности поверхности выступов рекомендуется начало отсчета определять указанным способом в отмеченном сечении колеса.

Точность наладки зубофрезерного станка. Точность установки червячной фрезы принимают в соответствии с табл. 4.19. Радиальное биение центрирующей поверхности установочного приспособления на зубофрезерном станке и радиальный зазор между этой поверхностью и базовой посадочной поверхностью заготовки не должны превышать половины значений, указанных в табл. 3.22. При использовании разжимных центрирующих элементов радиальное биение центрирующей поверхности допускается увеличивать в 1,5 раза. Радиальное биение заготовки колеса или вала-шестерни, устанавливаемой на станке, должно соответствовать данным табл. 3.23. Допуск на торцовое биение опорных поверхностей приспособления на зубофрезерном станке не должен превышать значений, указанных в табл. 3.19.

3.22. Допуск F_{δ} на радиальное биение посадочных поверхностей колеса (вала-шестерни) на зубофрезерном станке

Класс точности колеса	Модуль m , мм	F_{δ} , мкм, при диаметре колеса, мм								
		До 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
НД-2	От 2 до 2,5	32	42	48	48	48	48	—	—	—
	От 2,5 до 3,15	32	42	50	60	60	60	60	—	—
	Св. 3,15 до 4	32	42	50	60	70	70	70	—	—
	Св. 4 до 5	32	42	50	60	70	80	85	85	—
	Св. 5 до 6,3	32	42	50	60	70	80	95	105	—
	Св. 6,3 до 8	—	42	50	60	70	80	95	120	120
	Св. 8 до 16	—	—	50	60	70	80	95	120	140
НД-3	От 2 до 2,5	45	60	60	60	60	60	—	—	—
	Св. 2,5 до 3,15	45	60	70	75	75	75	75	—	—
	Св. 3,15 до 4	45	60	70	85	90	90	90	—	—
	Св. 4 до 5	45	60	70	85	100	105	105	105	—
	Св. 5 до 6,3	—	60	70	85	100	110	130	130	—
	Св. 6,3 до 8	—	60	70	85	100	110	130	150	150
	Св. 8 до 16	—	—	70	85	100	110	130	160	180

При установке заготовок на зубофрезерном станке биение базового торца зубчатого венца или взаимное биение посадочных шеек вала-шестерни (вала-колеса)

3.23. Допуск на радиальное биение поверхности вершин зубьев заготовки колеса при установке на зубофрезерном станке

Класс точности колеса	Модуль m , мм	Допуск на радиальное биение, мкм, при диаметре колеса, мм								
		До 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
НД-2	От 2 до 2,5	22	28	36	36	36	36	—	—	—
	Св. 2,5 до 3,15	22	28	36	40	45	45	45	—	—
	Св. 3,15 до 4	22	28	36	40	50	50	50	—	—
	Св. 4 до 5	22	28	36	40	50	55	55	55	—
	Св. 5 до 6,3	22	28	36	40	50	60	70	75	—
	Св. 6,3 до 8	—	28	36	40	50	60	70	80	90
	Св. 8 до 16	—	—	36	40	50	60	70	80	100
НД-3	От 2 до 2,5	32	40	40	40	40	40	—	—	—
	Св. 2,5 до 3,15	32	40	50	50	50	50	50	—	—
	Св. 3,15 до 4	32	40	50	60	65	65	65	—	—
	Св. 4 до 5	32	40	50	60	70	75	75	75	—
	Св. 5 до 6,3	—	40	50	60	70	80	90	90	—
	Св. 6,3 до 8	—	40	50	60	70	80	90	100	100
	Св. 8 до 16	—	—	50	60	70	80	90	110	125

3.24. Допуск на радиальное биение посадочных шеек валов-шестерен или вала-колеса на зубофрезерном станке

Класс точности колеса	Ширина венца	Модуль нормальный m , мм	Допуск на радиальное биение, мкм, при расстоянии между серединами шеек, мм								
			До 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
НД-2	До 50	2—16	8	12	20	32	50	80	125	—	—
	Св. 50 до 80		—	10	16	25	40	60	100	125	—
	Св. 80 до 125		—	—	12	20	32	50	80	125	125
	Св. 125 до 200		—	—	—	14	22	36	55	90	125
	Св. 200		—	—	—	—	16	25	40	60	100
НД-3	До 50	2—16	10	16	25	40	60	100	150	—	—
	Св. 50 до 80		—	12	20	32	50	80	125	150	—
	Св. 80 до 125		—	—	14	22	36	55	90	140	150
	Св. 125 до 200		—	—	—	16	25	40	60	100	150
	Св. 200		—	—	—	—	22	36	55	90	120

не должно превышать значений, указанных в табл. 3.19. Проверка биения посадочных шеек вала-шестерни или колеса (допуски в табл. 3.24) должна осуществляться с помощью индикатора, установленного на вращающемся столе (рабочем шпинделе), при упоре его измерительного штифта в проверяемую шейку, установленную в люнете; шейка конца вала, установленного на столе (рабочем шпинделе), проверяется непосредственным измерением радиального биения. Взаимное биение равно разности биений, измеренных на обеих шейках. При установке колеса с валом в приспособлении (без поддержки люнетом) проверяют радиальное биение обеих шеек.

3.13. Особенности изготовления прецизионных зубчатых колес

К прецизионным относятся зубчатые передачи 3—4-й степени по ГОСТ 1643—81. Изготовление их значительно отличается от изготовления передач 5—7-й степени точности.

Ниже рассмотрены особенности изготовления зубчатых колес 3—4-й степени точности и приведены некоторые данные по технологии обработки зубчатых колес 5—7-й степени точности по ГОСТ 1643—81. Прецизионные зубчатые колеса применяют в кинематических цепях высокоточных зубо- и резьбообрабатывающих станков, турбинных редукторах, радиотелескопах, приборах, двигателях, делительных машинах и других точных механизмах.

К прецизионным относится также высокоточный зуборезный инструмент (долбяки и шеверы дисковые) и измерительные зубчатые колеса. Изготовление этих разнородных по назначению зубчатых колес имеет много общих принципиальных особенностей.

1. Перед обработкой колеса станок должен поработать вхолостую до стабилизации температуры масла в гидросистеме. Обработку заготовок желательно производить в термokonстантных цехах или отдельных изолированных помещениях, постоянная температура в которых поддерживается специальными установками.

2. Станки устанавливают на виброизолирующем фундаменте или на виброизолирующих опорах, собственные вибрации станка строго ограничивают, применяют режимы обработки, исключающие вибрации узлов станка.

3. Используют станки классов точности А и С, инструмент классов точности ААА, А и специальный. Точности изготовления заготовки колеса и ее базирования на зуборезном станке, как правило, предельно высокие.

4. У выбранных станков контролируют, соответствует ли их точность стандартам, регламентирующим точность зубообрабатывающих станков. При необходимости восстанавливают точность геометрических параметров и стабильность работы основных узлов станка.

5. К механическим свойствам заготовок прецизионных колес предъявляют высокие требования, производят их стабилизирующие термические обработки.

При обработке базовых поверхностей заготовки обычно используют не только чистовые, но и доводочные операции. На каждое колесо составляют паспорт механических свойств заготовки и паспорт механической обработки заготовки. Последний имеет большое значение, так как часто необходимой точности сопряжений удастся достигнуть только с учетом фактических размеров и формы сопрягаемых деталей. Чистовую обработку колес выполняют после посадки на вал. Нежесткие зубчатые колеса (венцы) проходят последовательные операции отделки базовых поверхностей и зубообработки на одном жестком приспособлении.

6. Большое значение для организации производства зубчатых колес высокой точности имеет квалификация производственного персонала, работников ремонтных подразделений.

Особенности зубошлифования колес 3—4-й степени точности. Требуемая точность достигается, когда после обдирочного шлифования базовых поверхностей и зубчатого венца, а также последующего получистового шлифования этих же поверхностей производят искусственное старение заготовки (двухкратное старение). Высокие требования при шлифовании высокоточных колес предъявляются к технологической оснастке. Для установки колес с цилиндрическим отверстием рекомендуется применять комплекты оправок из 3—4 шт. с перепадом диаметра посадочной шейки 2—3 мкм. При этом должен быть обеспечен минимально возмож-

ный зазор в соединении. Центровые отверстия оправок должны быть отшлифованы (биение не более 1 мкм), должны иметь предохранительные фаски, а также смазочные канавки (через 120°) на рабочей поверхности отверстия. Биение посадочной и контрольной шеек оправки относительно ее центров не должно превышать 1—2 мкм [24].

Поле допуска на диаметр базового отверстия высокоточных колес следует назначать по 4-му качеству. Припуск по толщине зуба (Δs) на зубошлифование должен примерно в 1,4 раза превышать накопленную погрешность F_p до шлифования и может быть ориентировочно определен по табл. 3.15. При обдирочном шлифовании следует снимать 60 % припуска, на получистовой и чистовой операциях соответственно 25 и 15 %.

При получистовом шлифовании рекомендуется обеспечивать 5—6-ю степень по нормам кинематической точности и 6—7-ю степень по нормам плавности и контакта, что достигается обработкой на станках 5Д831, 5Д833. Могут быть использованы также станки 5М841, 5А843 и др. При получистовом зубошлифовании рекомендуется обеспечивать 4—5-ю степень по нормам кинематической точности и 5—6-ю степень по нормам плавности и контакта. Эти параметры обеспечиваются обработкой на станках 5Д833 и 5А851.

При окончательном шлифовании долбяков и шеверов классов АА и А рекомендуется использовать станки 5891С и 5А893С особо высокой точности, а для колес 4-й степени точности — станки мод. 5Д833, 5А851.

Плоские, конические и тарельчатые шлифовальные круги, применяемые для обработки высокоточных зубчатых колес, должны проходить статическую балансировку, а червячные — статическую и динамическую балансировку, так как одна статическая балансировка абразивных червяков не обеспечивает требуемого качества шлифования.

Введение получистового шлифования с последующей термической стабилизацией обеспечивает не только повышение точности обработки, но и практическую неизменяемость ее со временем.

Глава 4

НАРЕЗАНИЕ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС С ВНЕШНИМИ ЗУБЬЯМИ

4.1. Зубофрезерование червячными фрезами

Нарезание зубьев червячными фрезами благодаря универсальности и высокой точности, а также высокой производительности и низких затратах на инструмент наиболее рационально применять для обработки цилиндрических зубчатых колес с $m \leq 16$ мм из сталей с $HВ \leq 200$ и с $m \leq 10$ мм из стали с $HВ \geq 350$ с открытыми или врезными венцами. Точность обработки таких зубчатых колес на станках классов Н и П с использованием червячных фрез классов АА и ААА не выше 6—7-й степени по ГОСТ 1643—81. При использовании прецизионного оборудования и инструмента достигается 4—5-я степень точности колес (см. гл. 3).

Все большее применение находит чистовое зубофрезерование по методу обката твердосплавным инструментом закаленных зубьев твердостью $HRC_s \leq 61$. На-

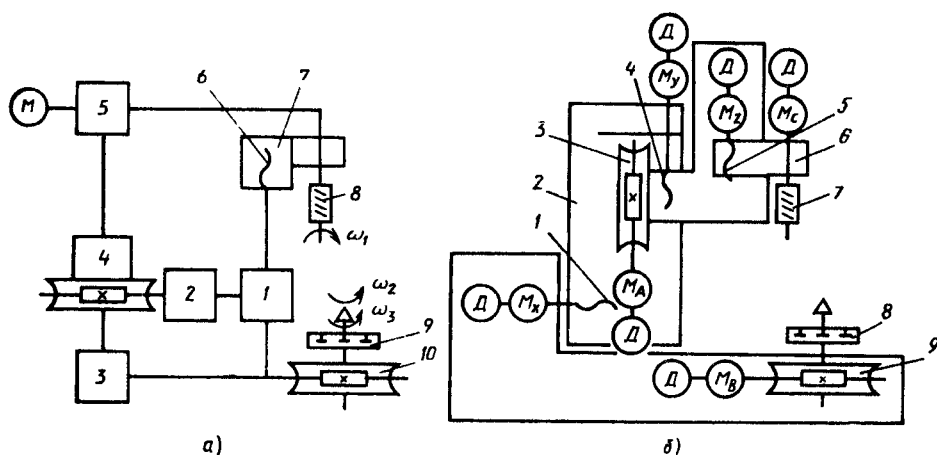


Рис. 4.1. Принципиальная схема зубофрезерного станка:

а — с механическими кинематическими связями; б — с кинематическими связями посредством ЧПУ

коплен промышленный опыт чистового зубофрезерования червячными фрезами из быстрорежущей стали закаленных зубьев при $HRC_3 \leq 46,5$ (см. гл. 5).

При зубофрезеровании червячная фреза образует с обрабатываемой заготовкой винтовое станочное зацепление. Станки с механическими связями в большинстве случаев имеют кинематическую схему, показанную на рис. 4.1, а. Фрезерный шпиндель 8 вращается с постоянной угловой скоростью ω_1 . Частота вращения фрезы $n_0 = 1000 v / (\pi d_{u0})$ настраивается с помощью гитары или коробки скоростей 5; вращение стола 9 с угловой скоростью ω_2 обеспечивает с помощью делительной пары 10 и гитары деления 3 непрерывный обкат инструмента и заготовки. Перемещение фрезерного суппорта 7 винтом 6 вдоль оси заготовки обеспечивает движение осевой подачи D_{S_0} инструмента, подача настраивается с помощью гитары или коробки подачи 1. При обработке косозубых колес в процессе осевого движения подачи колесо со столом 9 получает через дифференциал 4 и делительную пару 10 дополнительный поворот на угол ω_3 , соответствующий углу наклона зубьев β . Кинематическая цепь дифференциала настраивается гитарой дифференциала 2 (при обработке прямозубых колес дифференциал 4 стопорится). Числа зубьев сменных колес подбирают по таблицам [16] по передаточному отношению $i_{\text{диф}}$.

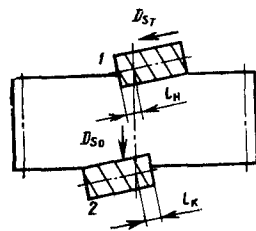
Принципиальная схема зубофрезерного станка с ЧПУ приведена на рис. 4.1, б.

Все формообразующие движения этого станка по осям координат X, Y, Z, A, B, C осуществляются от отдельных регулируемых электродвигателей: M_X (через винт 1) — перемещение инструментальной стойки 2 для изменения межосевого расстояния; M_Y (через винт 4) — перемещение фрезерного суппорта вдоль оси заготовки; M_Z (через винт 5) — перемещение фрезерной каретки 6 вдоль оси инструмента; M_C — вращение инструмента 7; M_B (через делительную передачу 9) — вращение стола 8 с заготовкой. Электродвигатель M_A через червячную передачу 3 выполняет поворот суппорта с фрезой на требуемый угол.

Все электродвигатели снабжены датчиками обратной связи, которые передают в систему ЧПУ данные о действительном положении осей электродвигателей

Рис. 4.2. Схема осевого смещения червячной фрезы:

1 — начальное положение; 2 — конечное положение



для согласования их вращения. Перемещения исполнительных органов состоят из отдельных микроперемещений, сливающихся в единое перемещение. Для согласования вращения приводов по всем координатам в систему ЧПУ вводят значения параметров нарезаемых колес, режимы резания и значения перемещений.

Управление автоматическим циклом производится от постоянных программ, заложенных в память системы ЧПУ. На станке можно нарезать прямозубые и косозубые колеса с попутным и встречным движениями подачи, с радиальным врезанием или без него, за один или несколько рабочих ходов, а также колеса с конусным или бочкообразным зубом и блоки зубчатых колес с разным числом зубьев.

При установке в инструментальный суппорт нескольких червячных фрез различного модуля можно нарезать блок зубчатых колес с различными модулем и числом зубьев. При этом производится автоматическое осевое перемещение фрезы на заданное расстояние и автоматический поворот суппорта с фрезой на заданный угол.

Применение системы ЧПУ для управления зубофрезерованием позволяет строить гибкие производственные модули (ГПМ) с полной автоматической переналадкой, включающей в себя смену инструмента, оснастки, заготовки и перестройку всех внутренних связей по параметрам обработки.

Наибольшее распространение получили зубофрезерные станки с вертикальным расположением оси заготовки. Они предназначены для обработки заготовок насадных и венцовых зубчатых колес, обычно с относительно большим числом зубьев, а также для обработки заготовок валов-шестерен с числом зубьев, которое не меньше допустимого числа зубьев, указанного в руководстве к станку.

Характерной особенностью этих станков является наличие задней стойки с кронштейном, в котором размещается центр или люнет, а в крупногабаритных станках — наличие устройств для разгрузки круговых направляющих стола, а также центрального отверстия в столе, позволяющего обрабатывать длинные заготовки валов-шестерен.

Станки с горизонтальным расположением оси заготовки, предназначенные для обработки заготовок валов-шестерен и насадных колес с малым числом зубьев, оснащают люнетами, а также головками для крепления пальцевых фрез.

Технические характеристики зубофрезерных станков, выпускаемых отечественными заводами, приведены в табл. 4.1, а станков, выпускаемых зарубежными фирмами, — в табл. 4.2.

Современные станки снабжены суппортами, в которых каретка с фрезой непрерывно или периодически перемещается вдоль оси инструмента (рис. 4.2). Осевое смещение фрезы в процессе обработки вследствие изменения расположения точек контакта с зубьями заготовки колеса на режущих кромках инструмента повышает его стойкость и увеличивает производительность обработки.

Используют ручной и два автоматических способа перемещения фрезы: 1) шаговый (периодический); 2) непрерывный (диагональный), при котором движение подачи D_{s_T} вдоль оси фрезы сопровождается движением подачи D_{s_0} вдоль оси заготовки.

Автоматическое осевое перемещение фрезы на небольшое расстояние (порядка долей окружного шага зубьев нарезаемого колеса) после обработки каждой заго-

4.1. Технические характеристики зубофрезерных станков отечественного производства

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр фрезы, мм	Частота вращения фрезы, мин ⁻¹	Мощность главного привода, кВт	Масса, станка, т
		Диаметр	Модуль	Ширина венца				
Вильнюсский станкостроительный завод имени 40-летия Октября	53A08П* ¹	80	2,5	100	71	100—2200	1,5/2* ³	1,9
	5B310П	125	1,5	100	100	100—500	2,2	1,7
	53A10	125	2,5	140	100	40—900	3,4	1,8
	53A20B	200	4	180	125	80—500	7	4,3
	53A20Ф4	200	6	180	125	80—500	7	6,0
Витебский станкостроительный завод им. Коминтерна	53A30П	320	6	220	160	50—400	11/13* ³	6,8
	53A33Ф4	320	6	250	160	80—360	13	9
	53A33П* ²	320	5	220	160	71—450	15	9
	5Д312* ²	320	6	140	160	80—475	6/6,2* ³	5,7
Егорьевский станкостроительный завод «Комсомолец»	53A50	500	8	350	180	40—405	12,5	9,7
	53A80	800	10	350	200	40—405	12,5	10,8
	53A11	1250	14	560	225	28—270	17	17
Производственное объединение «Коломенский завод тяжелого станкостроения»	5A342П	2000	20	760	300	8—100	13	31,8
	5B343П	3200	32	1350	360	10—60	42	81
	5B345П	5000	40	2200	420	8,5—85	42	138
	5B348	8000	40	2200	420	5,5—56	45	158
	5B348/12,5	12500	40	2200	420	5,5—56	45	227
	5B370* ¹	500	20	2500	250	10—100	19	27
	5B373П* ¹	800	30	3500	360	7,4—74	32	43,8
	5B375* ¹	1250	40	3475	400	6—60	42	58,4

*¹ С горизонтальным расположением оси нарезаемого колеса.*² Для крупносерийного и массового производства.*³ Для двух частот вращения.

товки или пакета заготовок значительно уменьшает расход материала фрез. Рациональное число таких перемещений определяют практически для конкретных условий зубофрезерования.

При непрерывном перемещении фрезы изменяется настройка гитары дифференциала, при шаговом перемещении фрезы настройка дифференциала не меняется. При чистовой обработке применяют осевое перемещение фрезы примерно на шаг зацепления.

Одностороннее смещение фрезы (при шаговом и непрерывном перемещении) следует осуществлять так, чтобы затупленные участки выходили из зоны резания. В зависимости от направления зубьев колеса и витков червячной фрезы суппорт с фрезой поворачивают на угол φ . Схемы положения фрезы относительно колеса приведены в табл. 4.3, где β — угол наклона зубьев колеса, γ_{m0} — угол подъема витка червячной фрезы.

Профильная модификация зубьев при зубофрезеровании достигается применением червячных фрез специального контура, а продольная модификация — применением соответствующего устройства, например копировального, а в станках с ЧПУ — одновременным продольным и радиальным движениями подачи.

4.2. Технические характеристики зубофрезерных станков зарубежного производства

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр фрезы, мм	Частота вращения фрезы, мин ⁻¹	Мощность главного привода, кВт	Масса станка, т
		Диаметр	Модуль	Ширина венца				
«Пфаутер» (ФРГ)	PE 150	150	3	150	130	150—600	—	5,5
	PE 300	300	6	250	163	25—400	—	11
	PE 500	500	10	250	192	52—325	—	12
	PE 750	750	12	700	210	40—235	—	13
	PE 1000	1000	14	700	210	30—180	—	13,5
	PE 1503	1500	18	600	300	25—150	—	20,5
	PE 2001	2000	25	1200	368	12—120	—	55
	PE 3001	3000	30	1200	450	10—100	—	73
	P110H*1	110	4,5	710	115	60—360	—	5,3
	P240H*1	300	10	800	160	100—224	—	9
	P400H*1	450	12	2000	192	55—330	—	14,5
	RA100*2	100	4	120	95	224—315	—	4
	RA210*2	220	6	250	163	160—224	—	9,2
	RA320*2	320	8	250	163	125—280	—	9,4
«Либхер» (ФРГ)	LS 152	250	8	200	145	75—375	—	9,8
	LS 250	250	6	200	145	80—480	—	4,9
	LS 502	400	10	300	192	40—320	—	9,5
	LS 752	650	12	500	192	32—256	—	11,2
	LS 1002	1000	12	500	192	29—232	—	11,5
	LS 1202	1200	18	600	245	12—120	—	19
	LS 1802	1800	25	600	300	12—120	—	35
	LS 3002	3000	30	600	300	10—100	—	40
	ET 1202*3	1450	16	250	380	70—350	30	19
	ET 1802*3	1880	25	350	380	10—300	42	31
	ET 3002*3	3170	30	500	450	10—200	70	38
«Хурт» (ФРГ)	WF 280	280	6	250	145	63—500	—	8,5
	WF 450	450	10	300	192	50—400	—	12
«Штехели» (ФРГ)	SH 300	300	8	200	180	58—345	—	9
«Модуль» (ГДР)	ZFWZ 02	315	8	280	160	80—400	—	7
	ZFWZ 05	500	10	355	200	50—400	—	10
	ZFWZ 10	1250	22	630	260	20—250	—	20
	ZFWZ 25	3150	36	1250	450	10—140	—	67
	ZFWZ 50	5000	40	1750	400	8—80	—	1,2
	ZFWZ 60	6300	40	1750	400	8—80	—	127
	ZFWZ 80	8000	40	1750	400	8—80	—	157
«Чима» (Италия)	P3 CEN	150	2,5	137	—	—	—	3
	P4 AUR	260	6	185	—	116—397	—	7,4
	CE 220	220	6	220	135	100—750	—	9
	CE 350	350	8	300	160	195—375	—	11,5
	P5	500	5	285	120	52—350	—	2,8
«Мицубиси» (Япония)	GH 100H	—	—	—	—	—	—	—
	GH 201	200	4	300	120	150—600	—	5,7
	GH 250	250	6	250	130	150—600	—	7,5
	GH 300	315	8	300	150	100—400	—	7,6
	GH 630	630	10	425	192	40—250	—	10

Продолжение табл. 4.2

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр фрезы, мм	Частота вращения фрезы, мин ⁻¹	Мощность главного привода, кВт	Масса станка, т
		Диаметр	Мо-диль	Шири-на венца				
«Глисон» (США)	№ 775	203	6	216	127	100—730	—	9,5
	№ 785	350	8	290	190	100—500	—	11,4
«Черчилль» (Анг-лия)	PH 8	178	6	150	120	70—500	—	3,8
	PH 250	250	6	120	150	90—500	—	6,8
	PH 400	406	8	210	180	52—300	—	—
«ТОС Челаковице» (ЧССР)	OFA 16A	160	4	160	115	112—450	5,5	3,5
	OFA 32A	320	7	250	150	71—450	7,5	6,2
	OFA 71A	710	10	450	195	35—355	15	9,0
	OFA 125	1600	16	560	250	—	—	18,5
«ЖСП» (Франция)	V 450	450	8	350	170	90—500	—	10
	V 650	650	8	350	170	90—500	—	11,5
«Лоренц» (ФРГ)	LF 151	150	4	200	125	132—400	—	6,5
	LF 221	220	5	200	—	90—500	—	7
	LF 351	350	6	400	—	125—500	—	8,5
	LF 1001	1000	15	600	—	15—150	—	23,7
	LF 1251	1500	15	600	—	15—150	—	24,7
«Шисс» (ФРГ)	PF 30/30	3000	30	2000	340	6—68	24	60
	PF 30/40	4000	30	2000	340	6—68	24	62
	PF 30/50	5000	30	2000	340	9—100	24	107
	PF 30/60	6000	30	2000	340	9—100	24	130
	PF 30/70	7000	30	2000	340	9—100	24	—
	PF _w 6,3* ¹	1000	24	2500	340	9—100	—	34
	PF _w 10* ¹	1400	30	4000	340	6—68	—	42
	PF _w 16* ¹	1800	39	6390	400	4,5—45	—	63

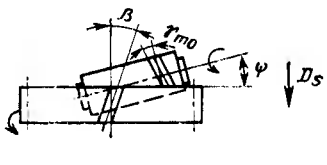
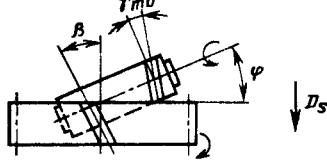
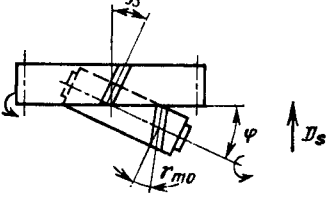
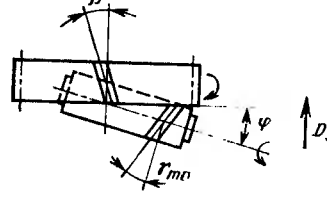
*¹ С горизонтальным расположением оси заготовки.*² Для крупносерийного и массового производства.*³ Для нарезания модульными дисковыми фрезами.

Инструмент. Чистовые червячные фрезы (рис. 4.3) по ГОСТ 9324—80 изготовляют однозаходными трех типов: типа 1 — цельные прецизионные с $m = 1 \dots 10$ мм классов точности AAA и AA; типа 2 — цельные с $m = 1 \dots 10$ мм классов точностей A, B, C и D и класса точности AA для экспортных поставок; с $m = 11 \dots 14$ мм классов точности AA, A, B, C и D; с $m = 16 \dots 20$ мм классов точности AA и A; типа 3 — сборные фрезы с $m = 8 \dots 25$ мм классов точности A, B, C и D.

Фрезы типа 2 с $m = 1 \dots 10$ мм изготовляют нормальной длины (исполнение 1) и увеличенной длины (исполнение 2), а с $m = 11 \dots 20$ мм — нормальной длины.

Фрезы типа 3 с $m = 10 \dots 25$ мм имеют нормальные или уменьшенные размеры (d_a, d, L), с $m = 8 \dots 9$ мм — нормальные размеры. Основные размеры фрез приведены в табл. 4.4.

4.3. Схемы положения червячной фрезы относительно нарезаемого колеса

Зубчатое колесо	Фреза	Направление движения подачи	Схема
Правое	Правая $\varphi = \beta - \gamma_{m0}$ Левая $\varphi = \beta + \gamma_{m0}$	Сверху вниз (встречное фрезерование)	
Левое	Левая $\varphi = \beta - \gamma_{m0}$ Правая $\varphi = \beta + \gamma_{m0}$	То же	
Правое	Правая $\varphi = \beta - \gamma_{m0}$ Левая $\varphi = \beta + \gamma_{m0}$	Снизу вверх (попутное фрезерование)	
Левое	Левая $\varphi = \beta - \gamma_{m0}$ Правая $\varphi = \beta + \gamma_{m0}$	То же	

Примечания: 1. Для более равномерной загрузки зубьев фрез при встречном движении подачи заготовки колеса с $\beta = 6...10^\circ$ рекомендуется обрабатывать разноименными по винтовой линии фрезами (правые колеса левыми фрезами и наоборот).
2. Заготовки колес с $\beta > 10^\circ$ рекомендуется обрабатывать одинаковыми по направлению винтовой линии фрезами (правое колесо правой фрезой и наоборот).

Фрезы типов 2 и 3 допускается изготавливать с заборным конусом, гнездами под торцовые шпонки и увеличенной шириной буртика. Нормальная ширина буртика $l = 4...6$ мм. Фрезы типа 3 изготавливают с прямыми осевыми стружечными канавками.

Выполняют фрезы классов точности ААА, АА и А с модификацией профиля зубьев или без модификации.

Положительный передний угол у червячных фрез повышает их стойкость и качество обработанной поверхности. Так, фрезы с передним углом $\gamma = 12,5^\circ$ из

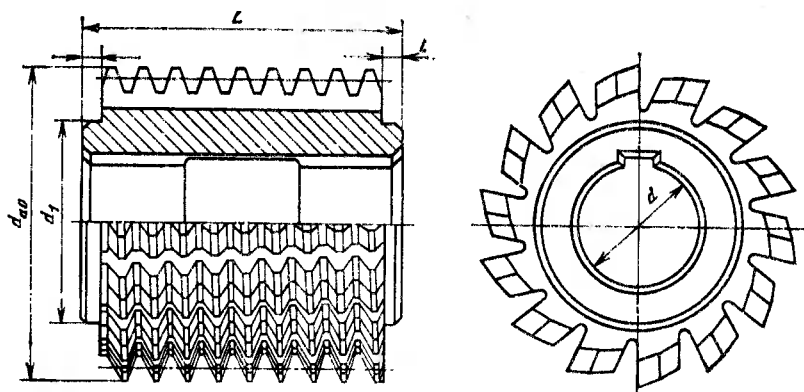


Рис. 4.3. Основные размеры червячной зуборезной фрезы

быстрорежущей стали Р9М4К8 при $v = 62 \dots 64$ м/мин, $s_0 = 2 \dots 3$ мм/об стола и попутном движении подачи в случае обработки заготовки из стали 35Х имеют стойкость в 1,4—2,2 больше стойкости фрез с $\gamma = 0^\circ$ при твердости заготовки НВ 160—180.

У одно-трехзаходных фрез из стали Р18 с прогрессивной схемой резания, у которых каждый второй зуб по винтовой линии режет только вершинной кромкой, а остальные зубья только боковыми кромками, стойкость в 2 раза выше стойкости обычных фрез при твердости заготовки НВ 160—307.

Износостойкое покрытие повышает стойкость червячных фрез по сравнению со стойкостью таких фрез без покрытия, не менее чем в 2 раза за весь период эксплуатации инструмента.

Червячную фрезу устанавливают таким образом, чтобы обеспечить ее нормальное зацепление с нарезаемым колесом и экономично использовать ее режущие свойства.

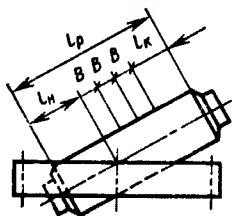
На рис. 4.4 показаны зоны работы червячной фрезы при нарезании зубчатого колеса методом встречного фрезерования, где l_n , l_k — соответственно начальная и конечная установка фрезы относительно нарезаемого колеса; B — смещение фрезы в осевом направлении.

В табл. 4.5 и 4.6 приведены параметры начальной и конечной установок фрезы, рассчитанные по формулам:

$$l_n = \frac{3\pi m K_z}{\cos \beta} + \frac{\pi m}{4}; \quad l_k = \frac{1,1\pi m K_z}{\cos \beta} + \frac{\pi m}{4},$$

где K_z — коэффициент, зависящий от числа нарезаемых зубьев z :

z	20	40	60	100
K_z	0,5	1	1,4	2



В табл. 4.7 приведены значения осевых передвижек, рассчитанных по формуле $B = 1,9\pi m K_z / \cos \beta$, а в табл. 4.8 — поправочные коэффициенты на передвижку.

Рис. 4.4. Зоны использования червячной фрезы:

l_p — рабочая длина; l_n — начальное положение; l_k — конечное положение; B — смещение в осевом направлении

Продолжение табл. 4.4

Модуль m_0 , мм	d_{a0} , мм			d , мм			L , мм			
	Тип фрезы									
	1	2	3*	1	2	3*	1	2		3*
								короткая	длинная	
11	—	160	212	—	50	60	180	180	—	215
12		170	225					200		240
14		190	250			70		224		240
16		212	265		60		—	250		270
18		236	280		80			280		290
20		250	300					300		310
22		—	320					—		330
25		—	340					—		360

* Для фрез 1-го исполнения.

4.5. Начальная установка l_n червячной фрезы [12]

Угол наклона зубьев колеса β , °	Число зубьев колеса z	l_n , мм, при m , мм									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	20	5,5	11,0	16,5	22,0	27,5	33,0	38,5	44,0	49,5	54,9
	40	10,2	20,4	30,7	40,9	51,0	61,2	71,5	81,7	91,9	102,0
	60	14,0	28,0	42,0	55,9	69,9	83,9	97,9	111,9	125,8	139,2
	100	19,8	39,3	58,9	78,6	98,1	117,8	137,4	157,1	176,7	196,3
15	20	5,7	11,3	17,0	22,7	28,4	34,0	39,7	45,4	51,0	56,0
	40	10,5	21,1	31,7	42,3	52,7	63,2	73,9	84,4	95,0	105,4
	60	14,5	29,0	43,4	57,8	72,3	86,8	101,3	115,7	130,1	144
	100	30,3	40,7	60,9	81,3	101,5	121,9	142,2	162,6	182,9	203,1
30	20	6,2	12,5	18,7	24,9	31,1	37,4	43,6	49,8	56,1	62,2
	40	11,7	23,3	35,1	46,7	58,3	69,9	81,7	93,4	105,0	116,6
	60	16,0	32,1	48,1	64,1	80,1	96,2	112,2	128,2	144,2	159,5
	100	22,5	45,1	67,6	90,3	112,7	135,3	157,8	180,4	202,9	225,5
45	20	7,4	14,9	22,3	29,8	37,3	44,7	52,2	59,1	67,1	74,4
	40	14,1	28,2	42,4	56,6	70,5	84,6	98,9	112,9	127,0	141,0
	60	19,5	38,9	58,4	77,8	97,3	116,7	136,2	155,7	175,0	193,7
	100	27,4	54,9	82,3	109,9	137,1	164,7	192,1	219,6	247,0	274,4

4.6. Конечная установка l_k червячной фрезы [12]

Угол наклона зубьев колеса $\beta, ^\circ$	Число зубьев колеса z	l_k , мм, при m , мм									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	20	2,5	5,0	7,6	10,0	12,5	15,2	17,6	20,1	22,7	25,0
	40	4,3	8,5	12,8	17,0	21,5	25,6	29,7	33,9	38,2	42,3
	60	5,6	11,2	16,9	22,4	28,0	33,8	39,4	45,0	50,6	56,2
	100	7,7	15,4	23,1	30,7	38,4	46,2	53,9	61,6	69,3	76,9
15	20	2,6	5,1	7,8	10,2	12,8	15,6	18,0	20,6	23,2	25,6
	40	4,4	8,7	13,2	17,5	22,1	26,3	30,6	34,9	39,3	43,5
	60	5,8	11,5	17,4	23,1	28,8	34,8	40,6	41,4	52,1	59,7
	100	7,9	14,3	23,8	31,7	39,6	47,6	55,6	63,5	71,5	79,3
30	20	2,8	5,5	8,4	11,1	13,8	16,8	19,5	22,2	25,1	27,7
	40	4,8	9,6	14,4	19,2	24,2	28,8	33,4	38,2	43,0	47,6
	60	6,3	12,7	19,1	25,4	31,7	38,3	44,6	51,0	57,3	63,7
	100	8,8	17,5	26,3	35,0	43,7	52,6	61,4	70,0	70,9	87,6
45	20	3,2	6,4	9,8	12,9	16,1	19,6	22,6	25,8	29,2	32,1
	40	5,8	11,4	17,1	22,8	28,8	34,3	39,7	45,3	52,1	56,6
	60	7,6	15,2	22,9	30,4	38,0	45,9	53,4	61,0	68,6	76,3
	100	10,6	21,1	31,7	42,1	52,7	63,4	74,0	84,5	95	105,5

В машиностроении твердосплавные червячные фрезы находят все более широкое применение, главным образом для нарезания шлицевых валов твердостью около HB 300. Применяют сборные фрезы с ромбовидными резцами марки T15K6. Отрицательный передний угол $\gamma = -15^\circ$ и задние углы обеспечиваются положением резцов в пазах корпуса. Один комплект резцов используют 2—4 раза без повторной заточки и перешлифовывают около 7 раз.

Сравнительные испытания твердосплавных фрез и фрез из быстрорежущей стали Р6М5К5 показали, что производительность обработки первых и число заготовок, обработанных одним комплектом этих фрез, в несколько раз больше, чем производительность и число заготовок, обработанных фрезами из быстрорежущей стали.

Режимы резания червячными фрезами обычно назначают исходя из минимальных затрат на зубообработку. При этом за основу принимают значения стойкости и износа фрезы по задней поверхности, приведенные в табл. 4.9.

Для фрез, работающих без осевого перемещения, стойкость T берут для периода между двумя повторными заточками. Стойкость фрез, работающих с автоматическими перемещениями на малое расстояние, например порядка 1 мм, нормативами не устанавливается.

При чистовом нарезании зубчатых колес 6-й степени точности и более точных h_3 не должно превышать 0,05 мм.

Режимы резания рационально определять в такой последовательности: выбирают число рабочих ходов и подачу, определяют скорость резания, проверяют мощность резания и период стойкости фрезы, определяют основное время t_0 .

4.7. Значения осевой передвижки червячной фрезы при черновой и получистовой обработке по сплошному металлу

Угол наклона зубьев β , °	Число зубьев колеса z	Осевая передвижка, мм, при m , мм									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	20	3	6	9	12	14,9	17,9	20,8	23,8	26,8	29,8
	40	6	12	18	23,8	29,8	35,8	41,6	47,6	53,6	59,6
	60	8,3	16,7	25	33,4	41,7	50	58,4	66,7	75	83,4
	100	11,9	23,8	35,7	47	59,6	71,5	83,4	95,4	107,2	119
15	20	3,1	6,2	9,3	12,4	14,4	18,5	21,5	24,4	27,7	30,8
	40	6,2	12,4	18,6	24,8	30,8	37	43	49,2	55,4	61,7
	60	8,6	17,3	25,8	34,6	43,1	51,7	60,5	69	77,6	86,3
	100	12,3	24,6	36,9	49,3	61,7	74	86,8	98,8	110,9	123,4
30	20	3,46	6,9	10,4	13,8	17,2	20,6	24	27,5	30,8	34,4
	40	6,9	13,9	20,8	27,5	34,4	41,3	48	54,9	61,9	68,8
	60	9,6	19,3	28,9	38,6	48,1	57,7	67,4	77	96,6	96,8
	100	13,7	27,5	41,2	56	68,8	82,6	96,3	110,1	123,8	137,6
45	20	4,2	8,2	12,7	16,9	21	25,3	29,4	33,6	37,9	42,1
	40	8,5	16,9	25,5	33,7	42,1	50,6	58,8	67,3	75,8	81,3
	60	11,7	23,6	35,4	47,2	58,9	70,7	72,6	94,3	106,0	117,8
	100	16,8	33,7	50,5	67,5	84,3	101,1	118,0	134,9	151,6	168,6

4.8. Поправочные коэффициенты на осевую передвижку червячной фрезы

Параметры, от которых зависят условия работы	K_s	K_t	K_β	Параметры, от которых зависят условия работы	K_s	K_t	K_β
S , мм/об:							
1	0,8	—	—	1,4 m	—	0,8	—
2	1,0	—	—	0,7 m	—	0,7	—
3	1,1	—	—				
4	1,2	—	—				
5	1,3	—	—				
t , мм:				β , °			
2,2 m	—	1,0	—	0	—	—	1,0
1,8 m	—	0,9	—	15	—	—	1,4—2*
				30	—	—	1,2—1,4*
				45	—	—	1,0—1,2*

* Меньшие значения соответствуют меньшим модулям нарезаемых колес.

Полную обработку следует производить не более чем за 2—3 рабочих хода. Если вследствие недостаточной мощности или жесткости станка приходится производить два черновых хода, то обычно принимают глубину фрезерования $t_1 = 1,4m$ и $t_2 = 0,8m$. Рекомендуемые припуски на чистовую и отделочную зубообработку приведены в табл. 3.14.

4.9. Стойкость T и износ h_3 червячных модульных фрез между двумя рабочими положениями

Модуль фрезы m_n , мм	T^* , мин	h_3^* , мм
<i>Черновая и получистовая обработка</i>		
От 1 до 4	240/540	0,8—0,9
Св. 4 до 6	360/720	0,8—0,9
» 6 » 8	480/960	0,9—1,0
» 8 » 10	720/1440	0,9—1,0
<i>Чистовая обработка</i>		
От 1 до 6	240/480	—/(0,2—0,3)
Св. 6 до 10	360/720	—/(0,3—0,4)

* В числителе — для стали, в знаменателе — для чугуна.

Для повышения производительности принимают возможно большие значения подачи, которые при черновом нарезании ограничены обычно мощностью главного привода станка, а при чистовом — шероховатостью и волнистостью поверхности зубьев.

В табл. 4.10 приведена классификация зубофрезерных станков по группам в зависимости от мощности их главного привода.

4.10. Классификация зубофрезерных станков по группам в зависимости от мощности главного привода

Группа стан-ка	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Наибольший модуль нарезаемого колеса, мм	Модель станка (пример)	Группа стан-ка	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Наибольший модуль нарезаемого колеса, мм	Модель станка (пример)
I	1,5 2,2 2,2	1,5 1,25 2,5	5304В 53А08П 5К301П	III	7,5 7,5	8 10	53А50 53А80
II	3,4 4,0 3,2/4,2*	2,5 4,0 6,0	53А10 5М310П 53А30	IV	11/13* 15/18* 18,5 8/10/12* 13	5 6 8 10 14	53А23 53А33 53А53 53А80 53А11
III	7,5 7,5 7,5	4 4 6	53А13 53А20В 53А30П	V	20 42 45 45	20 32 40 40	5А342П 5В343П 5В345П 5В328

* Для нескольких частот вращения.

В табл. 4.11 приведены значения подачи, рекомендуемые нормативами [12] при черновом нарезании зубчатых колес однозаходными фрезами, а в табл. 4.12 — при чистовом нарезании этими фрезами. Меньшие значения подачи рекомендуются при нарезании колес с числом зубьев меньше 25.

4.11. Подача S_0 при черновом и получистовом нарезании зубчатых колес червячными однозаходными фрезами [12]

Обрабатываемый материал, твердость	m , мм	S_0 , мм/об, для группы станков			
		I	II	III	IV
Сталь 45, HB 170—207	От 1 до 1,5	0,8—1,3	1,5—1,8	1,8—2,0	—
	Св. 1,5 до 2,5	1,3—1,8	2,0—2,9	2,5—2,9	2,5—3,0
	» 2,5 » 4	—	1,8—2,3	2,5—3,2	2,8—3,4
	» 4 » 6	—	1,3—2,0	2,3—2,8	2,8—3,2
	» 6 » 8	—	—	2,0—2,5	2,5—3,0
Чугун серый, HB 170—210	» 8 » 10	—	—	2,0—2,5	2,3—2,8
	От 1 до 1,5	1—1,5	1,5—2,3	2,0—2,3	—
	Св. 1,5 до 2,5	1,3—2,3	2,5—3,0	2,7—3,1	2,8—3,3
	» 2,5 » 4	—	1,8—2,5	2,8—3,3	3,3—3,6
	» 4 » 6	—	1,5—2,0	2,3—3,0	2,9—3,3
	» 6 » 8	—	—	2,3—2,5	2,5—3,3
	» 8 » 10	—	—	2,3—2,8	2,5—3,0

4.12. Подача S_0 при чистовом нарезании зубчатых колес червячными однозаходными фрезами [12]

Обработка	Обрабатываемый материал, его твердость	Параметр шероховатости R_z , мкм	Модуль m , мм	S_0 , мм/об, для группы станков			
				I	II	III	IV
По сплошному металлу заготовки	Сталь 45, HB 170—207	40—20	От 1 до 1,5 Св. 1,5 до 2,5 2,5—4	1,0—1,2 1,2—1,8 1,4—2,0			
		10	От 1 до 1,5 Св. 1,5 до 2,5 2,5—4	0,5—0,8 0,8—1,0 0,9—1,2			
	Чугун серый, HB 170—210	40—20	1—1,5 1,5—2,5 2,5—4	1,2—1,4 1,4—1,8 1,5—2,0			
		10	1—1,5 1,5—2,5 2,5—4	0,5—0,8 0,8—1,0 0,9—1,2			
По прорезанному зубу колеса	Сталь и чугун, HB 170—210	40—20	До 10	2,0—2,6			
		10		0,7—1,0			

Скорость резания v (м/мин) обычно определяют исходя из принятой подачи и необходимой стойкости, механических свойств обрабатываемого материала и других условий работы на основании эмпирических зависимостей:

для HB 160—240

$$v = \frac{C_1}{T^{0,3} S^{0,5} \text{HB}^{1,25} m^{0,1}};$$

для HB 250—300

$$v = \frac{C_2}{T^{0,4} S^{0,5} \text{HB}^{2,5} m^{0,4}}.$$

Эффективную мощность станка N_s (кВт), т. е. мощность, замеренную на шпинделе станка, определяют по формуле $N_s = P_z v / (60 \cdot 10^{-3})$, где P_z — окружная сила резания, Н; v — скорость резания, м/мин.

Окружная сила резания — главная составляющая равнодействующей силы сопротивления металла резанию:

$$P_z = C_p m^{1,4} S^{0,95} t^{1,4} v^{-0,28} K_{10} K_M \cdot 9,8,$$

где C_p — коэффициент, учитывающий влияние постоянных факторов на силу резания (при зубофрезеровании червячной фрезой можно принять $C_p = 15$); K_{10} — коэффициент, учитывающий заходность фрезы (при $z_{10} = 1$ $K_{10} = 1$, при $z_{10} = 2$ $K_{10} = 1,6$, при $z_{10} = 3$ $K_{10} = 2$); $K_M = 1 \dots 0,5$ — коэффициент, учитывающий твердость материала колеса (например, для стали 45 $K_M = 1$).

В табл. 4.13—4.16 приведены рекомендуемые нормативами значения скорости резания и соответствующие им значения эффективной мощности.

По скорости резания определяют частоту вращения инструментального шпинделя $n = 1000v/(\pi d_{a0})$ и проверяют соответствие мощности главного

4.13. Скорость резания v , м/мин, и мощность N , кВт, при черновом и получистовом нарезании зубчатых колес червячными однозаходными фрезами [12]

S_0 , мм/об	m , мм											
	От 1 до 1,5		Св. 1,5 до 2,5		Св. 2,5 до 4		Св. 4 до 8		Св. 8 до 10		Св. 8 до 10	
	v	N	v	N	v	N	v	N	v	N	v	N
0,8	60	0,5	59	0,6	58	0,7	52	0,9	43	0,9	38	1,4
1,0	50	0,5	49	0,65	48,5	0,8	44	0,9	38	1,0	33	1,5
1,3	45	0,6	45	0,7	44	0,9	39	0,9	36,5	1,1	30	1,7
1,5	43,5	0,7	43	0,8	43	0,9	37	1,0	33	1,2	28	1,8
1,8	39	0,8	39	0,9	38	1,0	35	1,1	30	1,35	26,5	1,9
2,0	38	0,9	37	1,0	37	1,1	29	1,5	29	1,5	25	2,0
2,3	—	—	35,6	1,0	35,6	1,1	32	1,3	26	1,5	22	2,1
2,5	—	—	33,5	1,0	33,5	1,1	30	1,4	24,5	1,6	21	2,2
2,8	—	—	31,5	1,1	31,5	1,2	28	1,5	23	1,6	20	2,3
3,0	—	—	30,5	1,2	30,5	1,25	27	1,6	22	1,7	—	—
3,2	—	—	—	—	29	1,3	26	1,7	—	—	—	—
3,4	—	—	—	—	28	1,4	—	—	—	—	—	—

4.14. Скорость резания v при чистовом нарезании зубчатых колес червячными однозаходными фрезами [12]

Обработка	S_0 , мм/об	v , м/мин, при m , мм					
		От 1 до 1,5	Св. 1,5 до 2,5	Св. 2,5 до 4	Св. 4 до 6	Св. 6 до 8	Св. 8 до 10
По сплошному металлу заготовки	0,5	62	53	51			
	0,8	52	50	49			
	0,9	49	48	47			
	1,0	46	45	44			
	1,2	39	38	37			
	1,4	—	34	33			
	1,8	—	27	26			
	2,0	—	—	24			
По прорезанному зубу колеса, $Rz = 40 \dots 20$ мкм	2,0—	—			24—		
	2,6				26		
По прорезанному зубу колеса, $Rz = 10$ мкм	0,7—	—			20—		
	1,0				24		

при $v = 6$ м/мин путь резания не увеличивается. При использовании червячных или дисковых фрез из стали Р9М4К8 L_p увеличивается в 1,6 раза по сравнению с L_p при использовании фрез из стали Р12 и Р6М5. Наибольший путь резания L_p при использовании для изготовления фрез твердых сплавов Т14К8 и ВК6 в 1,5—2,0 раза меньше, чем L_p при использовании быстрорежущей стали.

Основное время (мин) зубофрезерования рассчитывают по формуле

$$t_0 = \frac{b + l_{вр} + l_{пер}}{n_0 S_0 z_{10}} z.$$

Здесь $l_{вр}$ и $l_{пер}$ (рис. 4.5) — соответственно глубина врезания и перебег;

$$l_{вр} = \frac{\sqrt{h(d_{a0} - h)}}{\cos(\beta \pm \lambda_{m0})};$$

$$l_{пер} = 3m \operatorname{tg}(\beta \pm \lambda_{m0}) + (3 \dots 5) \text{ мм},$$

где β — угол наклона зубьев изделия, °.

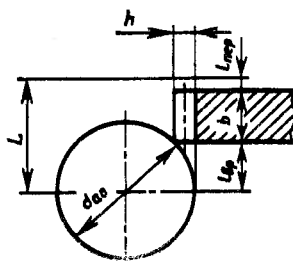


Рис. 4.5. Врезание и перебег фрезы при нарезании зубчатых колес

привода станка установленным режимам $N_p = N_0/\eta$, где η — КПД станка.

При назначении скорости резания, особенно при использовании многозаходных фрез ($z_{10} > 1$) и обработке мало-зубых колес, следует проверить получаемые частоты вращения стола $n_{ст}$ по паспортным данным станка. Например, если в паспорте станка приводится наименьшее число нарезаемых зубьев z_{min} , то $z \geq z_{10} z_{min}$, если приводится ограничение наибольшей частоты вращения стола, то $n_{ст \max} \geq n_0 z_{10}/z$, где n_0 — частота вращения фрезы; z_{10} — число заходов фрезы.

При обработке зубчатых колес большого диаметра (более 800 мм) с суммарной длиной линии зубьев, составляющей десятки или сотни метров, для сравнения работы инструментов из быстрорежущих сталей применяют путь резания L_p — суммарная длина задней поверхности инструмента, на которой она соприкасается с обрабатываемой поверхностью. При постоянной скорости резания изменение t и S_0 не оказывает существенного влияния на L_p . Наибольшее значение L_p для сталей 35ХМА, 34ХНЗА, 40ХН при НВ 200—220 достигается при $v = 6 \dots 7$ м/мин,

4.15. Поправочные коэффициенты на параметры режимов резания для различных условий работы

Параметры, от которых зависят условия работы	K_s	K_v	Параметры, от которых зависят условия работы	K_s	K_v
Материал заготовки:			Число рабочих ходов:		
сталь конструкционная углеродистая с НВ:			1	1,0	1,0
287	1,0	1,0	2	1,0	1,4
229	0,9	0,9	Направление движения подачи:		
240	0,8	0,8	встречное	1,0	1,0
сталь легированная с НВ:			попутное	1,25	1,0
285	0,7	0,6	Класс точности фрезы:		
320	0,6	0,5	A	—	1,05
Угол наклона зубьев колеса β , °:			B, C,	—	1,0
0	1,0	1,0	D	—	0,8
15	0,75—0,9*	1,0	Материал фрезы:		
30	0,65—0,8*	0,9	P18	—	1,0
45	0,50—0,65*	0,8	P6M5	—	1,0
60	0,35—0,45*	0,7	P6M5K5	—	1,2
			P9M5K8	—	1,3

* Меньшие значения соответствуют разноименным направлениям линии зуба колеса и витка фрезы, большие — одноименным.

Заточка червячных фрез. Качество заточки червячных фрез оказывает большое влияние на их стойкость, точность обработки и шероховатость обработанной поверхности, в том числе поверхности впадин зубьев. Фрезы затачивают по передним поверхностям на специальных станках, данные о которых приведены в табл. 4.17. Эти станки имеют механизмы деления и доворота затачиваемого инструмента при продольном перемещении круга.

Допустимая толщина слоя, снимаемого с червячных модульных фрез, ограничена длиной шлифованной части зуба, которая составляет $1/2$ длины зуба для фрез с $m \leq 4$ мм и $1/3$ длины зуба для фрез с $m > 4$ мм.

Заточку червячных фрез рекомендуется контролировать по профилю передней поверхности f_r , разности соседних ок-

4.16. Режимы резания при черновом нарезании крупномодульных колес червячными однозаходными фрезами

Параметр	m , мм					
	8	12	16	22	25	28
S_0 , м /об	3—4,5	2,5—4	2—3,5	2—3	1,5—2	1,5
v , м/мин	22—24	21—23	20—25	20—25	20—25	18—20

Примечания: 1. Меньшие значения подачи и скорости резания нужно принимать для колес с малым числом зубьев.

2. При получистовой обработке значения S_0 и v , указанные в таблице, следует умножать на 1,2, при чистовой — на 1,4.

3. При нарезании двухзаходной фрезой значения S_0 необходимо умножать на 0,70, v — на 0,75.

4. При твердости материала нарезаемых колес НВ ≤ 287 значения S_0 и v соответствуют табличным, при НВ ≤ 187 значения S_0 следует умножать на коэффициент 1,2.

4.17. Технические характеристики станков для заточки червячных фрез

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры затачиваемых фрез, мм			Длина хода на шлифование, мм	Масса станка, т
		Диаметр	Модуль	Глубина канавки		
Витебский завод заточных станков им. XXII съезда КПСС (СССР)	ЗА660А	80	—	11	65	1,08
	ЗВ662ВФ2	250	—	55	280	2,8
	ЗБ663ВФ2	320	—	90	450	3,8
	ЗБ664ВФ2	500	—	115	700	5,9
«Клиндельнберг» (ФРГ)	AGW 160	160	—	35	250	1,75
	AGW 232	230	14	50	280	2,9
	AGW 301	300	—	90	380	3,8
	AGW 421	420	—	110	660	4,5
	AGW 482	48	—	110	550	4,5
«КААП» (ФРГ)	AS 204	250	18	60	320	4,0
	AS 305	300	—	60	420	4,4
	AS 510	500	—	120	700	5,7
«Модуль» (ГДР)	SWFK 250	260	20	400	—	—
«Микрон» (Швей- цария)	A 60/0	80	—	10	65	0,87

ружных шагов f_{u0} или накопленной погрешности окружного шага F_{P0} , направлению стружечных канавок f_x и толщине зуба T_{s0} согласно ГОСТ 9324—80.

Параметры шероховатости передней поверхности фрез после заточки рекомендуется выдерживать в пределах, допустимых для новой фрезы (табл. 4.18).

Точность станков и их наладки. Данные по выбору класса точности станка и червячной фрезы для обработки зубчатых колес по степени точности, а также по точности установки заготовок на станке приведены в гл. 3, по точности установки червячной фрезы — в табл. 4.19.

4.18. Параметр шероховатости R_z передней поверхности червячных фрез (ГОСТ 9324—80) после заточки

Модуль m_n , мм	Класс точности фрезы			
	AA	A	B	C, D
От 1 до 3,5			3,2	
Св. 3,5 до 10	1,6	3,2	3,2	6,3
Св. 10 до 25			6,3	

4.19. Допустимое отклонение установки червячной фрезы на станке

Степень точности нарезаемого колеса ($m \leq 10$ мм) по ГОСТ 1643—81	Радиальное биение, мкм	
	фрезерной оправки	буртиков фрезы
5	5	10
6	10—15	20
7	20—25	30
8	30—35	40
9	40—50	60

4.2. Зубострогание

Нарезание наружных и внутренних зубьев на зубострогальных станках осуществляют методами обката и копирования. Методом обката нарезают зубья наружного зацепления гребенкой — инструментом, по форме напоминающим зубчатую рейку. Эвольвентная форма боковых поверхностей зубьев образуется в результате выполнения прямой режущей кромкой гребенки движения обката при одновременном возвратно-поступательном движении вдоль зуба колеса. Так как число зубьев инструмента, как правило, меньше числа зубьев нарезаемого колеса, то обкат по активной длине гребенки приходится осуществлять многократно.

Обкат и отвод гребенки повторяют до тех пор, пока на заготовке не будут нарезаны все зубья.

Зубья внутреннего зацепления на зубострогальных станках можно нарезать долбяком или специальным резцом по методу обката.

На зубострогальных станках нарезание зубьев можно производить также профильным инструментом методом врезания с периодическим делением. Этот метод в основном применяют при обдирке крупномодульных колес с наружным зубом, а также при нарезании внутренних зубьев.

Станки. У зубострогальных станков средних и больших размеров круглый стол, на котором устанавливают заготовки, перемещается перпендикулярно к своей оси и одновременно совершает вращательное движение, точно согласованное с поступательным (движение обката). У наиболее крупных станков стол только вращается, а поступательное движение, согласованное с движением стола, совершает инструментальная стойка.

Инструмент перемещается вверх и вниз по прямой в плоскости, параллельной оси заготовки. Гребенка режет только в одном направлении, а при обратном ходе держатель инструмента откидывается назад, обеспечивая отвод гребенки от заготовки.

Технические характеристики зарубежных зубострогальных станков приведены в табл. 4.20. На этих станках можно обрабатывать прямозубые и косозубые колеса с открытым и закрытым венцами, шевронные колеса с канавкой между венцами, а также зубчатые рейки.

4.20. Технические характеристики зубострогальных станков фирмы «МАН» (Швейцария)

Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Мощность главного привода, кВт	Масса станка, т
	Диаметр	Модуль	Ширина венца		
SH 75 K	750	10	215	71	5,8
SH 100/140	1450	15	320	—	9,2
SH 180/300 K	3000	20	450	—	23,0
SH 350/500	5000	25	530	—	40,0
SH 250/300	3080	30	670	71	38,0
SH 450/500	5062	30	670	71	50,0
SH 600/735	7350	40	1280	95	116,0
SH 1200	12 000	40	1280	95	161,0

В гл. 3 приведены данные о производительности зубострогания по сравнению с производительностью фрезерования при обработке зубчатых колес с $m > 10...$ 16 мм, а также по удельной стоимости инструмента. При чистовой обработке крупномодульных колес зубостроганием достигается сокращение затрат на инструментальный материал, изготовление и заточку инструмента, уменьшение значений и влияния на точность изделий упругих перемещений в системе станок — инструмент — заготовка.

В параграфах 4.5 и 5.2 приведены данные о непрерывном зубострогании с помощью приспособления к зубофрезерному станку, в том числе чистовом зубострогании колес твердостью HRC₃ 51—61 твердосплавными резцами.

Инструмент. Фирма «МАОГ» (Швейцария) выпускает зубострогальные резцы для своих станков, предназначенных для черновой и чистовой обработки наружных и внутренних зубьев. Универсальные (прямозубые) гребенки служат для черновой и чистовой обработки прямозубых и косозубых цилиндрических колес. Косозубые гребенки, устанавливаемые горизонтально (параллельно торцовой поверхности колеса), предназначены для обработки косозубых колес, в том числе с закрытым венцом, и шевронных колес с узкой канавкой. Для обработки зубьев реек используют гребенки со значительно меньшим числом зубьев, чем у универсальных. Выпускают гребенки со специальным профилем зубьев, например, для черновой и чистовой обработки звездочек. Гребенки с двумя-тремя зубьями различной высоты или со ступенчатым профилем служат для производительной черновой обработки методом врезания крупномодульных колес. Однозубый инструмент применяют при обработке зубчатых колес более крупного модуля, чем модуль зубчатого колеса, обрабатываемого на данном станке гребенкой. Преимущество однозубого инструмента в том, что он может обрабатывать колеса с различным модулем. Такой инструмент применяют при обработке зубчатых колес с очень малым числом зубьев.

Режимы обработки при зубострогании приведены в табл. 4.21—4.23.

Гребенки для станков «МАОГ» затачивают на станке WS-3. Применение опорных гребенок позволяет повторно затачивать крупномодульные режущие гребенки до толщины в несколько миллиметров.

4.21. Скорость резания при нарезании цилиндрических колес зуборезными гребенками

Число нарезаемых зубьев	v, м/мин, при m, мм														
	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
10	19	17,6	16,6	15,9	14,8	14	13,4	12,9	12,5	12,1	11,8	11,5	11,3	11	10,8
25	16,7	15,5	14,7	14	13	12,3	11,8	11,8	11	10,7	10,7	10,1	9,9	9,7	9,5
40	15,2	14,1	13,3	12,7	11,8	11,2	10,7	10,3	10	9,7	9,5	9,2	9	8,8	8,6
70	14,4	13,4	12,7	12,1	11,2	10,7	10,2	9,8	9,5	9,2	9	8,6	8,5	8,3	8,1
100	13,7	12,7	12,1	11,5	10,7	10,2	9,7	9,4	9	8,8	8,4	8,3	8,2	8	7,8
150	13	12,1	11,4	10,9	10,1	9,6	9,2	8,8	8,5	8,3	8	7,9	7,7	7,6	7,4
200	12,4	11,6	11	10,4	9,7	9,2	8,8	8,5	8,2	8	7,7	7,6	7,4	7,3	7,1
250	12,1	11,2	10,6	10,1	9,4	8,9	8,5	8,2	7,9	7,7	7,4	7,3	7,1	7,0	6,8

4.22. Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от материала заготовки

Материал заготовки	HB	K_{HB}
Сталь конструкционная углеродистая	До 200	1,0
	До 260	0,75
Сталь легированная	До 200	0,75
	До 260	0,70

4.23. Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от ширины венца нарезаемого колеса

Ширина венца b , мм	K_b
25	1,30
50	1,14
100	1,0
150	0,95
200	0,87
300	0,80
400	0,75

4.3. Зубодолбление

Зубодолбление колес с внешними зубьями применяют главным образом для обработки закрытых венцов. Это основной способ обработки внутренних зубьев (см. гл. 7); зубодолбление применяют также для обработки шевронных колес без канавки (см. гл. 6). Основное преимущество зубодолбления по сравнению с обработкой червячной фрезой — меньшая огранка эвольвентного профиля малооборотных колес.

При зубодолблении осуществляется станочное зацепление пары цилиндрических зубчатых колес (рис. 4.6) между долбяком 1 и нарезаемым зубчатым колесом 2.

Накоплен промышленный опыт чистового зубодолбления твердосплавными долбяками зубчатых колес из труднообрабатываемых сталей и сплавов твердостью HRC₃ 42—61 (см. гл. 5).

Зубодолбежные станки выпускают в основном с вертикальной осью заготовки; в станках среднего размера (с отводным столом) межосевое расстояние изменяют перемещением инструментальной бабки, в крупногабаритных станках — перемещением стола.

Технические характеристики зубодолбежных станков приведены в табл. 4.24. Технические характеристики станков с горизонтальным расположением оси заготовки, инструментом в которых являются два долбяка и которые предназначены для обработки шевронных зубчатых колес, приведены в гл. 6.

В процессе обработки инструментальный шпиндель (рис. 4.7) с долбяком совершают быстрое возвратно-поступательное движение со скоростью v_1 , частота которого устанавливается с помощью гитары или коробки скоростей 5, приводимой в движение от главного двигателя M . Инструментальный 1 и рабочий 2 шпиндели станка совершают медленное синхронное вращение ω_1 и ω_2 . Относительные частоты их вращения (обкатка) настраиваются с помощью гитары деления 9 на передаточное отношение $i_{\text{дел}} = Kz_0/z$, где K — коэффициент, зависящий от кинематики станка; z_0 — число зубьев долбяка; z — число нарезаемых зубьев.

Абсолютная угловая скорость инструментального шпинделя 1 настраивается с помощью гитары или коробки круговой подачи 6.

При обратном ходе долбяк отводится от колеса в радиальном направлении, чтобы исключить трение режущих кромок инструмента о зубья нарезаемого колеса. Инструментальный шпиндель 1 за каждый ход долбяка получает перемещение v_2 от механизма отвода 4. Длину хода инструментального шпинделя 1, равную сумме ширины зубчатого венца колеса b , глубины врезания $l_{\text{вр}}$ и перебега $l_{\text{пер}}$, и

4.24. Технические характеристики зубодолбежных станков

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр долбяка, мм	Частота движения долбяка, дв. ход/мин	Мощность главного привода, кВт	Масса станка, т
		Диаметр	Модуль	Ширина венца				
Корсунь-Шевченковский станкостроительный завод им. Б. Хмельницкого (СССР)	5111	80	1	20	40	26—1600	1,1	1,5
	5A122	250	6	50	100	195—1200	3	5
	5A122Ф4	200	5	50	100	125—1250	11	5,4
Егорьевский станкостроительный завод «Комсомолец» (СССР)	3A140П	500	8	100	100	55—560	5/6,3/10*2	7,5
	5A130*1	250	10	105	—	40—100	22	16
Клинский станкостроительный завод (СССР)	5M150П	800	12	160	200	33—188	4,8/5,7/7,5*2	9,5
	5M161	1250	12	170	200	33—212	4,8/5,7/7,5*2	10,5
	51A80ПФ2	800	12	190	200	30—327	10/6,3/5*2	11,5
	51A125ПФ2	1250	12	190	200	30—327	10/6,3/5*2	11,7
	51A200ПФ2	2240	12	200	200	5—400	10	18,4
«Либхер» (ФРГ)	WS 201	250	6	50	186	320—2060	—	6
	WS 401	400	8	80	200	200—1800	—	7,6
	WS 501	500	8	140	200	31—500	—	8,3
«Лоренц» (ФРГ)	SN 4	210	4	60	100	236—900	—	3,6
	SN 5	500	5	75	125	30—424	—	4,1
	SN 8	630	8	180	125	47—300	—	5,5
	SN 10	1000	10	180	200	21—175	—	6
	LS 150	150	5	42	125	265—1250	—	5,7
	LS 302	300	6	70	125	150—1000	—	7,5
	LS 422	420	8	100	200	25—800	—	8
	LS 630	630	12	230	200	10—510	—	10
	LS 1000	1000	12	230	200	10—340	—	10,5
	LS 1250	1250	12	230	200	10—340	—	11
«Сейкс» (Англия)	V 1250	250	6	130	100	50—1000	—	—
	V 400	400	6	130	100	50—1000	—	3,9
«Феллоу» (США)	FS 180	180	4	42	—	250—1250	—	6,6
	N 102	254	6	70	—	350—1300	—	4,9
	50—8	1270	12,7	203	—	—	—	11,8

Продолжение табл. 4.24

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр долбяка, мм	Частота движения долбяка, дв. ход/мин	Мощность главного привода, кВт	Масса станка, т
		Диаметр	Модуль	Ширина венца				
«ТОС Челаковице» (ЧССР)	ОНА 12А	125	4	35	100	280—1120	2,2/3*2	3
	ОНА 32А	320	6	70	125	80—1000	5,5/11*2	4,3
	ОНА 50А	500	8	125	125	45—750	5,5/11*2	5,2
«Модуль» (ГДР)	ZSTWZ 250	250	4	90	—	—	—	—
	ZSTWZ 900	900	6	140	—	—	—	—
	ZSTWZ 1000	1000	10	140	—	—	—	—
«Мицубиси» (Япония)	SH 251	250	6	60	—	250—1350	—	5
	SH 400	400	6	85	—	180—1000	—	6,5
	SH 630	600	8	200	—	45—330	—	8,5
	SH 1000	1000	8	200	—	45—330	—	9,5
«Шисс» (ФРГ)	PS 35	3500	20	450	—	—	—	—
«Мичиган Тул» (США)	«Шер-спид»*1							
	1833	76	3,17	76	—	—	11	7
	3053	127	4,23	76	—	—	11	10,4
	3073	177	4,23	76	—	—	18	10,4
	18105	254	8,46	127	—	—	30	15,8
	30136	330	13,36	165	—	—	52	56,7
	30206	508	13,36	165	—	—	73	98
«Демм» (Италия)	DS 180 CNC	180	5	30	—	2000	—	5
	DS 280 CNC	280	6	50	—	1500	—	9,5
	DS 300 CNC	300	6,5	130	—	1300	—	5,5
	DS 500 NC	500	7,5	130	—	800	—	7,25

*1 Инструмент — многолезцовая головка.

*2 Мощность многоскоростного электродвигателя.

пают по отношению к обрабатываемому венцу на расстояние, не превышающее 4—5 модулей. Ограничивает это расстояние крепежная гайка, выступающая за нижнюю торцовую плоскость зубьев долбяка. Изготавливают дисковые косозубые долбяки (рис. 4.10) с правым и левым направлением зубьев. Используют их для нарезания косозубых колес.

Чашечные прямозубые долбяки (рис. 4.11) используют при нарезании прямозубых колес с сильно выступающими вторыми венцами или буртами (более 4—5 модулей). У долбяков этого типа крепежная гайка располагается выше торца зубьев долбяка.

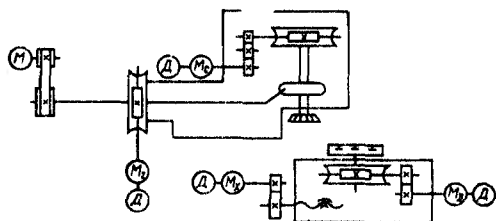


Рис. 4.8. Принципиальная схема зубодолбежного станка с ЧПУ:

M_X, M_C, M_Z, M_D — регулируемые электродвигатели; D — датчики обратной связи; M — электродвигатель

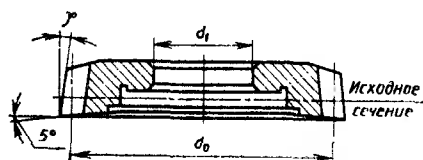


Рис. 4.9. Дисковый прямозубый долбяк

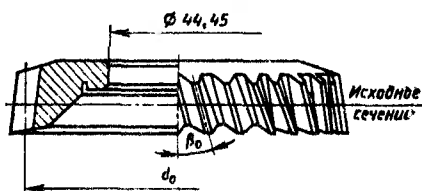


Рис. 4.10. Дисковый косозубый долбяк

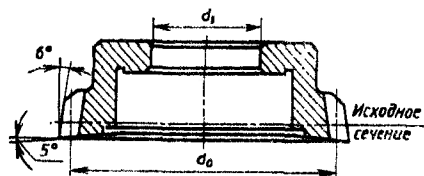


Рис. 4.11. Чашечный прямозубый долбяк

Хвостовые долбяки используют в основном при нарезании зубчатых колес малого диаметра с внутренними зубьями: прямозубые долбяки (рис. 4.12) — для прямозубых колес, косозубые долбяки (рис. 4.13) — для косозубых колес.

Стандартные зуборезные долбяки изготавливают с износостойким покрытием и без него. Износостойкое покрытие обеспечивает повышение стойкости долбяков за весь срок эксплуатации в 2 раза при одинаковой производительности по сравнению со стойкостью аналогичных долбяков без износостойкого покрытия.

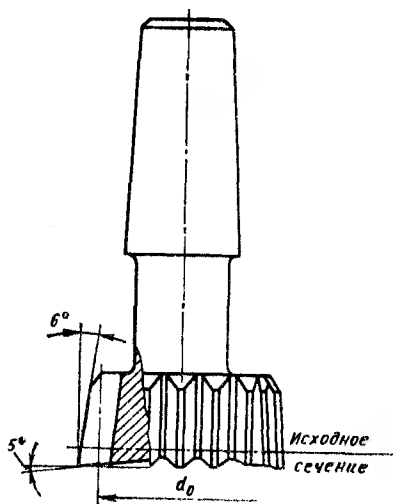


Рис. 4.12. Хвостовой прямозубый долбяк

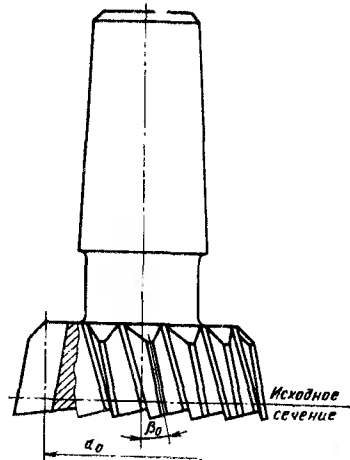


Рис. 4.13. Хвостовой косозубый долбяк

Основные технические характеристики чистовых зуборезных долбяков по ГОСТ 9323—79 приведены в табл. 4.25.

4.25. Основные технические характеристики чистовых зуборезных долбяков по ГОСТ 9323—79 (см. рис. 4.9—4.13)

Тип	Наименование	Номинальный делительный диаметр d_0 , мм	Модуль m_0 , мм	Основные данные		Класс точности долбяка
				Диаметр посадочного отверстия d_1 , мм	Номинальный угол наклона зубьев β_0 , °	
1	Дисковые прямо-зубые	80	1—5	31,75	0	АА, А и В
		100	1—8	44,45		
		125	2—10	44,45		
		160	6—10	88,9		
		200	8—12	101,6		
2	Дисковые косозубые	100	1—7	44,45	15, 23	А и В
3	Чашечные прямо-зубые	50	1—3,5	20	0	АА, А и В
		80	1—3,5	31,75		
		100	1—6,5	44,45		
		125	5—9	44,45		
4	Хвостовые прямо-зубые*1	25	1—3	—	0	А и В
		38	1—4	—		
5	Хвостовые косозубые*2	38	1—4	—	15 и 23	В

*1 Конус Морзе В18.

*2 Конус Морзе В24.

Профиль зубьев долбяков выполняют без модификации и с модификацией.

По согласованию с потребителем профиль зубьев долбяка может быть выполнен по вершинам зубьев с фасками или со скруглением по радиусам, изготавливаются долбяки типов 2 и 5 (ГОСТ 9323—79) с неодинаковыми задними углами по правой и левой сторонам профиля.

Стандартные дисковые косозубые долбяки позволяют обработать колеса с углом наклона линии зуба, равным номинальному углу наклона зуба долбяка, и с направлением зубьев, противоположным направлению линии зуба долбяка. При этом ход винтовых направляющих станка должен совпадать с делительным ходом зуба P_z долбяка. Для дисковых косозубых долбяков $P_z = 1198,00$ мм при $\beta_0 = 15^\circ$ и $P_z = 751,96$ мм при $\beta_0 = 23^\circ$. Для хвостовых косозубых долбяков $P_z = 445,80$ мм при $\beta_0 = 15^\circ$ и $P_z = 281,40$ мм при $\beta_0 = 23^\circ$.

Критерием пригодности стандартного долбяка для нарезания данного колеса является отсутствие подрезания зубьев, срезания кромок у головок зубьев, интерференции с переходными поверхностями зуба и превышения допустимого радиального зазора в передаче. Проверка производится по ГОСТ 16532—70.

Если невозможно использовать стандартные долбяки, применяют долбяки специального исполнения.

Долбяки для косозубых зубчатых колес со стандартизованным модулем m в нормальном сечении зубьев при обработке колес с открытыми венцами или колес с закрытыми венцами при ширине канавки s , превышающей значение, указанное в табл. 3.3, более производительны; долбяки с модулем m_t в торцевой плоскости, предназначенные для обработки шевронных колес, применяют для обработки зубчатых колес с закрытыми венцами с минимальной шириной канавки.

Режимы резания определяются по нормативам [12] в следующем порядке.

Круговую подачу S выбирают по табл. 4.26, в которой приведены подачи для обработки за один рабочий ход. При черновой обработке за два рабочих хода значения подач следует увеличивать на 20 %.

4.26. Круговые подачи S при зубодолблении стальных цилиндрических прямозубых колес [12]

Обработка	Модуль m , мм	S , мм/дв. ход, при мощности привода станка, кВт			
		До 1,5	2,2—3	4,5—6,3	Св. 6,3
Черновая и получистовая под последующую обработку	Св. 3 до 4	0,20—0,50	0,40—0,50	—	—
	» 4 » 6	0,10—0,25	0,25—0,40	0,45—0,60	0,40—0,60
	» 6 » 8	—	—	0,35—0,45	0,40—0,60
	» 8 » 10	—	—	0,35—0,45	0,35—0,55
	» 10 » 12	—	—	0,25—0,50	—
Черновая и получистовая под шевингование	От 1 до 2,5	0,10—0,30	0,15—0,35	—	—
	Св. 2,5 до 4	0,25—0,35	0,35—0,40	—	—
	» 4 » 6	0,10—0,20	0,25—0,35	0,35—0,45	—
	» 6 » 8	—	—	0,30—0,40	0,35—0,50
Черновая и получистовая под шлифование	От 1 до 2,5	0,12—0,30	0,18—0,36	—	—
	Св. 2,5 до 4	0,30—0,40	0,40—0,45	—	—
	» 4 » 6	0,15—0,25	0,30—0,40	0,40—0,50	—
	» 6 » 8	—	—	0,32—0,45	0,40—0,52
	» 8 » 10	—	—	0,30—0,40	0,36—0,50
	» 10 » 12	—	—	0,25—0,45	0,30—0,50
Чистовая по сплошному металлу заготовки	От 1 до 3	0,28—0,35			
Чистовая по предварительно прорезанному зубу колеса	Св. 3 до 12	0,25—0,30			

Примечание. Большие значения подач рекомендуется применять при обработке колес с числом зубьев свыше 25, меньшие — для колес с числом зубьев до 25.

Радиальную подачу $S_{\text{рад}}$ принимают равной 0,1—0,3 круговой подачи:
 $S_{\text{рад}} = (0,1 \dots 0,3) S$.

Скорость резания определяют по табл. 4.27.

4.27. Скорость резания v при зубодолблении [12] стальных зубчатых колес

Обработка	Круговая подача S , мм/дв. ход	v , м/мин. при m , мм					
		От 1 до 2	Св. 2 до 4	Св. 4 до 6	Св. 6 до 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 12
Черновая, полу- стовая и чистовая по сплошному ме- галлу заготовки	0,10	41,5	36	29	—	—	—
	0,15	34	28	23	—	—	—
	0,20	30	25	21	18,5	17	16
	0,25	27	22	18,5	17	16	14
	0,30	24	20	16	15,5	14	13
	0,35	22,5	18	15	14,5	13	12
	0,40	21	17	14,5	14	12	11
	0,45	—	16	13,5	12	11	10
	0,50	—	15,5	13,5	11,5	10	9,5
	0,55	—	—	12,5	10,5	9,5	9
	0,60	—	—	12	10	9	—
Чистовая по пред- варительно обра- ботанному зубу колеса	0,15	44					
	0,20	40					
	0,25	35					
	0,35	31					

В найденные по таблицам значения подачи скорости резания вносят поправки в соответствии с измененными условиями работы согласно 4.28.

4.28. Поправочные коэффициенты на параметры режимов резания для измененных условий работы

Условия работы	Коэффициенты			Условия работы	Коэффициенты		
	на подачу K_S	на ско- рость ре- зания K_v	на мощность K_N		на подачу K_S	на ско- рость ре- зания K_v	на мощность K_N
Твердость мате- риала заготовки НВ:				P18	—	1,1	—
				P6M5K5, P9K5	—	1,2	—
	187	1,0	1,0	Число зубьев ко- леса:	—	—	—
	207	1,0	1,0		—	—	—
	229	0,9	0,9		—	—	—
	241	0,8	0,8		—	—	—
Материал долбя- ка:	285	0,7	0,6		—	—	—
	320	0,7	0,5		—	—	—
				12	—	—	0,95
				20	—	—	1,0
				40	—	—	1,1
				80	—	—	1,2
				120	—	—	1,2
P6M5	—	1,0	—				

Число двойных ходов долбяка в 1 мин определяют по формуле $n = 1000v/2L$, где v — установленная скорость резания, м/мин; L — длина хода долбяка, равная сумме ширины венца b нарезаемого колеса и перебега $l_{\text{пер}}$ долбяка в обе стороны от венца. Значения перебега долбяка приведены ниже:

b , мм, не более	20	50	72	85	120	165
$l_{\text{пер}}$, мм	5	8	12	15	20	25

Мощность, потребляемую на резание, определяют по табл. 4.29 с учетом коэффициента по табл. 4.28 ($N = N_{\text{табл}} K_N$) и сравнивают с мощностью на шпинделе станка с учетом его КПД $\eta = 0,6$ ($N_n = N_d \eta$). Если $N_n > N$, то зубодолбление на данном станке осуществимо.

4.29. Мощность N , потребляемая при зубодолблении стальных зубчатых колес

Обработка	Круговая подача S , мм/дв. ход	N , кВт, при m , мм					
		От 1 до 2	Св. 2 до 4	Св. 4 до 6	Св. 6 до 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 12
Черновая, получистовая и чистовая по сплошному металлу заготовки	0,10	0,2	—	1,3	—	—	—
	0,15	0,3	0,8	1,5	—	—	—
	0,20	0,3	0,8	1,8	2,9	3,5	4,5
	0,25	0,4	1,1	2,0	3,2	3,9	5,0
	0,30	0,4	1,1	2,2	3,5	4,1	5,5
	0,35	0,4	1,2	2,3	3,8	4,5	5,9
	0,40	0,4	1,3	2,5	4,1	4,7	6,2
	0,45	—	1,4	2,7	4,3	4,9	6,4
	0,50	—	1,5	2,8	4,6	5,0	6,7
	0,55	—	—	2,9	4,9	5,2	7,0
	0,60	—	—	3,1	5,2	5,5	—

Основное время зубодолбления определяют по формуле

$$t_0 = \frac{\pi m z}{n S} i + \frac{h_1}{n S_{\text{рад}}},$$

где z — число зубьев нарезаемого колеса; n — число двойных ходов долбяка в 1 мин; S — круговая подача, мм/дв. ход; i — количество рабочих ходов; h_1 — высота нарезаемого зуба, мм; $S_{\text{рад}}$ — радиальная подача, мм/дв. ход.

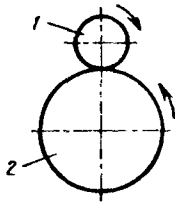
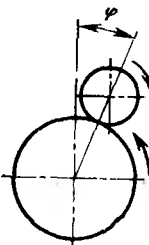
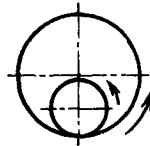
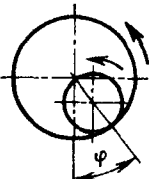
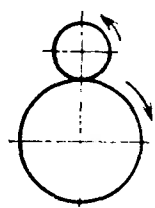

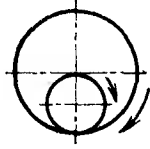
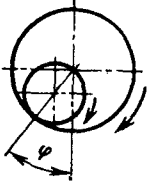
Стальные зубчатые колеса обрабатывают, охлаждая их эмульсиями или маслом. На задних поверхностях долбяков допускается образовывать фаску, мм, не более; на черновых рабочих ходах — 0,7; на чистовых рабочих ходах — 0,2—0,3 мм, под шевингование и шлифование — 0,4—0,5. При обработке прямозубых зубчатых колес стойкость долбяка может быть повышена изменением направления движения круговой подачи после притупления одного профиля на 70—80 % допустимого износа.

Затачивают долбяки по передней поверхности на универсальных заточных станках. Прямозубые долбяки затачивают периферией цилиндрического круга, непрерывно вращая их. При заточке косозубых долбяков с передней поверхностью, перпендикулярной зубьям, круг совершает возвратно-поступательное движение по отношению к долбяку, а долбяк поворот на один зуб при выводе

круга из контакта с передней поверхностью. Косозубые долбяки с плоской передней поверхностью затачивают, как прямозубые долбяки, — по передней поверхности, после чего подтачивают боковые режущие кромки: на острой кромке снимают фаску, а на противоположной — подтачивают канавку. Подтачивают режущие кромки обычно на специальных приспособлениях, при этом круг движется по дуге окружности, близкой к эвольвенте профиля. Точность долбяков после заточки должна соответствовать ГОСТ 9323—79.

Наладка и контроль станков. Затираание задних поверхностей зубьев долбяка при обратном его ходе при нарезании косозубых колес устраняют установкой долбяка относительно заготовки на некоторый угол φ (табл. 4.30), который в большинстве случаев составляет 5—10°.

4.30. Схемы наладки зубодолбления для устранения затираания при отводе долбяка

Тип нарезаемого колеса	Нарезание		Тип нарезаемого колеса	Нарезание	
	чистовое	черновое		чистовое	черновое
Правое внешнего зацепления			Правое внутреннего зацепления		
	1 — долбяк; 2 — нарезаемое колесо				
Левое внешнего зацепления			Левое внутреннего зацепления		

Затираание зубьев долбяка устраняют также увеличением числа рабочих ходов и уменьшением круговой подачи.

Точность геометрических параметров зубодолбежных станков контролируют в соответствии с ГОСТ 658—78Е.

4.4. Зубонарезание дисковыми и пальцевыми модульными фрезами

Дисковые и пальцевые модульные фрезы применяют в основном для чистовой обработки зубьев крупномодульных колес (см. подразд. 3.6), в том числе секторных, шевронных, с внутренним зубом, закрытых венцов (пальцевые фрезы), а также зубчатых реек. Обычно чистовыми дисковыми и пальцевыми фрезами обрабатывают колеса не точнее 9-й степени. Однако дисковые модульные фрезы позволяют обрабатывать колеса с $m \leq 10$ мм по 8-й степени точности.

Станки. Чистовую обработку зубьев производят на универсальных зубофрезерных станках, имеющих механизм единичного деления и головки для пальцевых фрез. Черновое нарезание наиболее эффективно при использовании специальных станков повышенных жесткости и мощности. Фрезерные станки с делительной головкой применяют только при отсутствии зубофрезерных станков. Крупногабаритные вертикальные станки оснащают специальными суппортами с индивидуальным приводом для черновой обработки зубьев с $m \leq 30$ мм твердосплавными дисковыми фрезами.

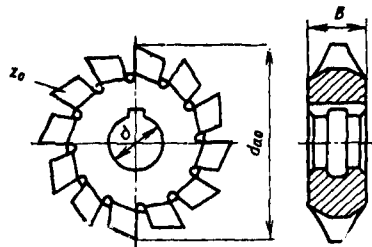
Инструмент. Чистовые модульные дисковые зуборезные фрезы выпускают комплектами из 8 и 15 фрез по ОСТ 2И41-14—87 (рис. 4.14). Комплект из 8 фрез рекомендуется применять для колес с $m < 8$ мм. Номера фрез назначают в зависимости от числа зубьев колеса.

Основные размеры дисковых модульных зуборезных фрез приведены в табл. 4.31.

Фрезу для нарезания косозубого колеса выбирают по приведенному числу зубьев z_v , определяемому по формуле $z_v = z / \cos^3 \beta = K_\beta z$, где β — угол наклона зуба нарезаемого колеса; z — число нарезаемых зубьев; K_β — коэффициент, значения которого приведены ниже.

$\beta, ^\circ$	5	10	15	20	25	30	35	40	45
K_β	1,011	1,045	1,104	1,193	1,323	1,505	1,756	2,119	2,6

Рис. 4.14. Модульная фреза дисковая



4.31. Основные размеры, мм, дисковых модульных фрез по ОСТ 2И41-14—87 (см. рис. 4.14)

m_0	d_{a0}	d	z_0	B
1—1,375	50	19	14	4—5,5
1,5—1,75	55	22	14	6—7
2—2,25	63	22	12	8—8,5
2,5—2,75	70	22	12	9,5—10,5
3—3,75	80	27	12	11,5—14
4—4,5	90	27	12	15—16,5
5—5,5	100	27	12	18—20
6—7	110	32	10	21,5—24
8—9	125	32	10	28—31
10—11	140	40	10	34—37
12—14	160	40	10	41—47
16	180	50	10	53

4.32. Основные размеры, мм, пальцевых модульных фрез по ТУ 2-035—769—80 (см. рис. 4.15)

m_0	d	L
12	45—40	65—70
14	50—45	75—85
16	60—45	80—90
18	70—50	95—100
20	75—55	95—100
22	85—65	110—120
24	90—70	125—130
26	90—75	125—140
30	110—90	140—155

Основные размеры пальцевых модульных (профильных) фрез по ТУ 2-035-769—80 приведены в табл. 4.32 и на рис. 4.15.

Для чернового нарезания зубьев колес со средними и большими модулями наиболее рационально применять острозаточенные дисковые фрезы с переменным направлением зубьев (рис. 4.16, а, табл. 4.33). Фрезы такого типа имеют клиновидные правые и левые ножи с наклоном $2^\circ 30'$ в радиальном и 5° в поперечном направлениях.

4.33. Основные размеры, мм, дисковых острозаточенных фрез

m_n	d_{a0}	d_1	B	H	m_n	d_{a0}	d_1	B	H
8—10	180	170	25	30	20—22	240	224	57	58
12—14	195	183	37	40	24—26	260	240	67	68
16—18	225	201	48	50	28—30	290	268	75	78

Фрезы затачивают по задним поверхностям резцом, чем достигаются задние углы по боковым режущим кромкам 12° . Чередование правых и левых резцов обеспечивает передний угол 10° на боковых и наружных режущих кромках. На боковых режущих кромках выполняют стружкоделительные канавки. По мере стачивания резцы можно выдвигать на шаг рифлений, допускается до пяти-шести повторных заточек резцов.

При использовании таких фрез для чернового нарезания зубьев колес с $m = 10 \dots 30$ мм производительность обработки в 1,5—2,0 раза выше, чем при использовании червячных фрез.

Затылованные черновые пальцевые фрезы практически не отличаются от чистовых, но на зубьях черновых фрез делают стружкоделительные канавки.

Для чернового нарезания рекомендуются острозаточенные черновые пальцевые фрезы (рис. 4.17) конструкции ЦНИИТМАШ. Их затачивают по задней поверхности на универсально-заточных станках.

Во многих случаях для уменьшения трудоемкости изготовления целесообразно черновое фрезерование крупномодульных зубчатых колес производить острозаточенными дисковыми фрезами, а чистовое — модульными дисковыми фрезами или обкаточными резцами (см. подразд. 4.5).

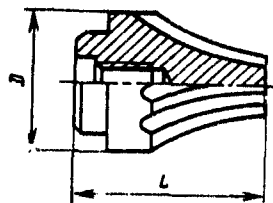


Рис. 4.15. Пальцевая модульная фреза

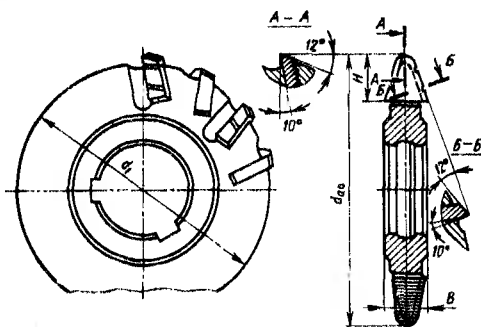


Рис. 4.16. Черновая дисковая острозаточенная сборная фреза

Рис. 4.17. Черновая пальцевая островер-
точная фреза конструкции ЦНИИТМАШ

Возможность использования для чистовой обработки активного участка эвольвентного профиля инструмента, работающего по методу обката, например обкаточных резцов, обеспечивает дополнительное повышение точности обработки, а также снижение шероховатости и волнистости поверхности зубьев.

При использовании твердосплавных дисковых фрез на специальных станках достигается повышение производительности черного нарезания зубьев в 2—3 раза по сравнению с производительностью станков, на которых применяют червячные фрезы из быстрорежущей стали. Такие твердосплавные фрезы применяют в крупносерийном производстве колес с $m \leq 10$ мм, в том числе сдвоенные (рис. 4.18).

Разработаны твердосплавные дисковые фрезы с $m = 12 \dots 24$ мм для работы на фрезерных или модернизированных зубофрезерных станках.

Используют черновые крупномодульные твердосплавные пальцевые фрезы (рис. 4.19), в том числе с неперетачиваемыми пластинами; при твердости зубьев изделия НВ 260 достигается скорость подачи 130 мм/мин.

В твердосплавных фрезах используют сплавы Т15К6, Т5К10, Т14К8.

Режимы обработки. Режимы нарезания среднемодульных колес дисковыми фрезами приведены в табл. 4.34, а поправочные коэффициенты — в табл. 4.35.

Рекомендации по режимам обработки крупномодульных колес дисковыми фрезами и пальцевыми фрезами приведены в справочнике [14].

Основное время обработки зубчатого колеса при нарезании дисковыми и пальцевыми фрезами определяют по формуле

$$t_0 = \frac{b_1 + l_{np} + l_{пер}}{S_0 n} z i.$$

Здесь b_1 — ширина венца нарезаемого колеса, мм; l_{np} — глубина врезания, для дисковых фрез $l_{np} = \sqrt{h(d_{a0} - h)} + (1 \dots 2)$ мм, для пальцевых фрез $l_{np} =$

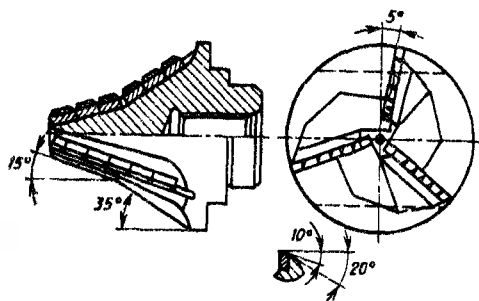
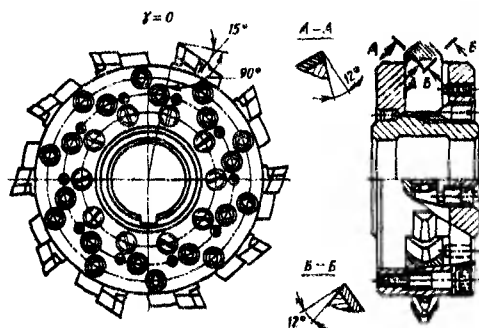
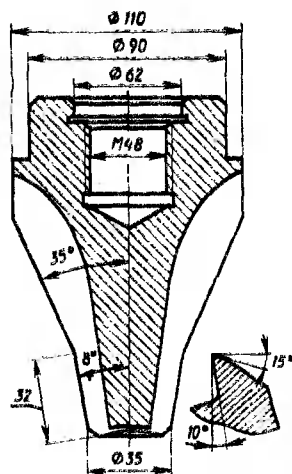


Рис. 4.18. Твердосплавная сдвоенная дис-
ковая зуборезная фреза

Рис. 4.19. Твердосплавная пальцевая зубо-
резная фреза

4.34. Режимы нарезания зубчатых колес дисковыми модульными фрезами

Обрабатываемый материал	S_0 , мм/об, при m , мм									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сталь	1,4	1,5	1,56	1,65	1,68	1,71	1,8	1,9	2,0	2,1
Чугун	2,5	2,85	2,98	3,03	3,1	3,5	3,7	3,9	3,0	3,9

Обрабатываемый материал	S_0 , мм/об фрезы	v , м/мин, при m , мм			
		Св. 1 до 5	Св. 5 до 7	Св. 7 до 9	Св. 9 до 10
Сталь	0,7	32	30	28	25
	1,4	29	27	25	23
	2,0	26	24	22	20
	2,5	23	21	19	17
Чугун	1,2	27	25	23	21
	2,5	24	22	20	18
	3,7	21	19	17	15
	4,5	18	16	14	12

4.35. Поправочные коэффициенты на параметры режимов резания дисковыми фрезами для различных условий работы

Параметры, от которых зависят условия работы	Коэффициенты		Параметры, от которых зависят условия работы	Коэффициенты	
	на подачу K_S	на скорость резания K_v		на подачу K_S	на скорость резания K_v
Твердость материала заготовки НВ, не более:			30	0,8	—
			45	0,65	—
	1,1	1,0	Материал фрезы:		
	1,0	1,0			
	0,9	0,9			
	0,8	0,8			
	0,7	0,6			
	0,6	0,5			
Угол наклона зуба колеса β , °:					
0	1,0	—	Число рабочих ходов при обработке зуба:		
15	0,9	—			
			1	—	1,0
			2	—	1,4

$= 0,5d_{a0} + (1...2)$ мм, где h — высота нарезаемого зуба; $l_{пер}$ — перебор, $l_{пер} = (2...4)$ мм; S_0 — осевая подача, мм/об фрезы; n — частота вращения фрезы, мин⁻¹; i — число рабочих ходов фрезы при нарезании одной впадины зубчатого колеса.

4.5. Специальные методы обработки

Затраты на зуборезный инструмент составляют не менее 50 % себестоимости зубообработки, поэтому их уменьшение в 2 раза (при сохранении основного времени обработки) снижает себестоимость на 25 %, а увеличение затрат на инструмент в 1,5 раза не компенсирует уменьшения основного времени зубообработки в 2 раза. Поэтому находят применение методы зубообработки, обеспечивающие уменьшение пути резания, числа циклов нагружения режущей кромки, а также инструмент, имеющий оптимальные геометрические параметры, но с небольшим числом режущих кромок.

Тенденция повышения твердости зубчатых колес с $m > 10$ мм, в том числе на стадии зубонарезания, вызывает прогрессирующее увеличение себестоимости зубообработки быстрорежущим инструментом, что также приводит к поискам новых методов зубообработки и конструкций инструмента. Так, в ЦНИИТМАШе разработан способ непрерывного зубостроения с помощью специальной суппорты на зубофрезерной станке [17]. При этом способе заготовка непрерывно вращается, а инструмент типа однозубой зуборезной гребенки совершает возвратно-поступательное движение вдоль зуба колеса и движется вдоль оси инструментального шпинделя станка. Во время рабочего хода инструмента его боковые режущие кромки располагаются на поверхности зубьев обрабатываемой рейки, которая находится в зацеплении с обрабатываемой заготовкой колеса. После каждого рабочего хода инструмент отводится от заготовки, возвращается в исходное положение и цикл повторяется.

Преимущества способа в случае чистовой обработки зубьев колес с $m > 16$ мм по сравнению с обработкой червячной фрезой следующие: отсутствие органической погрешности профилирования; отсутствие волнистости вдоль профиля; меньшая огранка и в 2—3 раза большая производительность обработки.

Накоплен опыт чистовой зубообработки колес с $m = 10...40$ мм однозубыми обкаточными резцами с углом наклона режущих кромок $\lambda = 30^\circ$. Обработка производится на зубофрезерных станках при той же настройке станка, что и во время обработки червячными фрезами. Обкаточные резцы — инструмент постоянной установки; профиль зуба изделия формируется одной режущей кромкой инструмента. На рис. 4.20 приведены размеры обкаточного резца с $m = 28$ мм.

Благоприятные условия резания обеспечивают стойкость обкаточных резцов, большую, чем червячных фрез при толщине срезаемого слоя менее 0,8 мм, при этом сокращаются расходы на инструмент и повышается качество обработки.

При изготовлении зубчатых колес автомобилей и тракторов находят применение станки, работа которых основана на круговом протягивании. Станки работают методом единичного деления.

В зубопротяжных станках применяют сборный режущий инструмент, обеспечивающий рациональные режимы резания. Режущие секции инструмента аналогичны секциям для кругового протягивания зубьев прямозубых конических колес и изготавливаются теми же инструментальными заводами. Обеспечивается точность обработки по 8-й степени.

Повышение производительности обработки зубопротягиванием по сравнению с производительностью обработки зубофрезерованием червячной фрезой в 2—

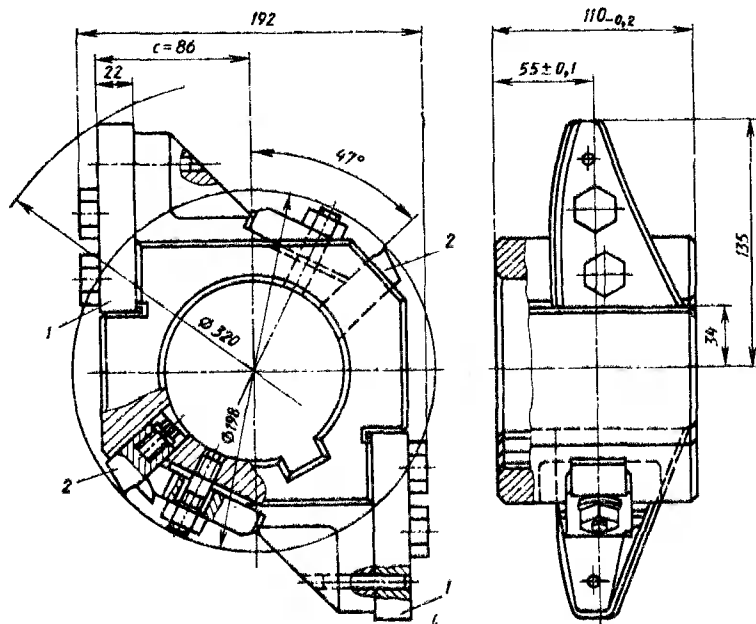


Рис. 4.20. Обкаточный резец:

1 — профилирующая пластина; 2 — пластина для обточки вершин зубьев

3 раза связано с увеличением активной длины режущих кромок при обработке одного зуба.

В массовом производстве для обработки зубчатых колес с закрытыми венцами находит применение долбление зубьев многолезцовыми головками, одновременно нарезающими все зубья колеса. Для каждого колеса используется специальный инструмент, профиль лезцов которого совпадает с формой впадин зубьев.

Глава 5

ОТДЕЛКА ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС С ВНЕШНИМИ ЗУБЬЯМИ

5.1. Отделка термически неупрочненных зубьев

Зубошевингование. Шевингование активных поверхностей зубьев цилиндрических зубчатых колес выполняют путем снятия тонких стружек (толщиной 0,001—0,005 мм) с зубьев колеса при зацеплении их с зубьями инструмента (шевера), имеющего канавки по высоте профиля зуба (рис. 5.1). Во время шевингования вращение сообщается более тяжелому элементу пары шевьер — колесо при беззазорном зацеплении их зубьев или при однопрофильном зацеплении, выполняемом с торможением ведомого элемента. В последнем случае можно осуществлять съем

Рис. 5.1. Схема шевингования зубьев:

1 — заготовка зубчатого колеса; 2 — шевер

металла различной толщины на разных участках зуба (селективное шевингование).

Обработку производят дисковым шевером. В процессе шевингования инструмент и колесо вращаются с угловой скоростью соответственно ω_1 и ω_2 , воспроизводя при этом зацепление винтовой передачи с теоретическим точечным контактом; вследствие наличия слоя металла, удаляемого режущими кромками канавок, на поверхностях зубьев шевера на каждом рабочем ходе (движение подачи D_n) фактическая площадь контакта имеет вид узкого овала, большая ось которого располагается примерно вдоль зуба.

При совместном вращении шевера и колеса вследствие скрещивания их осей происходит скольжение профилей, направленное вдоль образующих зубьев. Это скольжение является движением резания, при котором острые кромки канавок зубьев шевера срезают с поверхностей зубьев колеса тонкие стружки. При этом образуется профиль зубьев колеса, сопряженный с профилем зубьев инструмента.

Шевингование позволяет повысить точность зубчатых колес по нормам плавности их работы и контакта зубьев. Уменьшается также радиальное биение зубчатого венца относительно действительной оси вращения при зубошевинговании, однако кинематическая погрешность относительно этой оси существенно не изменяется.

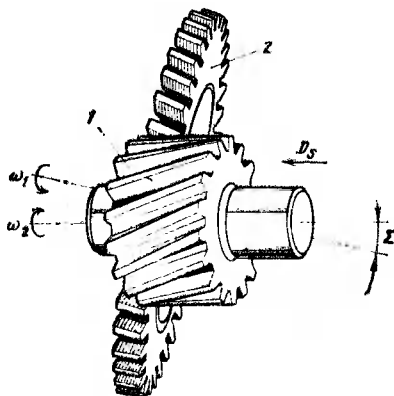
Повышение точности по нормам плавности работы зубчатых колес выражается в уменьшении волнистости поверхности зубьев, уменьшении погрешностей шага зацепления и эвольвентного профиля зубьев. Повышение точности по нормам контакта зубьев выражается в увеличении длины линии контакта по высоте зубьев. Увеличение длины линии контакта по длине зубьев при шевинговании в плотном зацеплении достигается только в случае, когда длина линии мгновенного контакта шевера с колесом составляет не менее 0,4 ширины зубчатого венца. При одностороннем шевинговании возможна продольная модификация зубьев изменением тормозного момента или времени шевингования различных участков продольного профиля зубьев, в частности, исправление продольного профиля зубьев колес с большой шириной зубчатого венца.

Шевингование может быть использовано для модификации зубьев колеса как по линии зуба (продольная модификация), так и по профилю зубьев (профильная модификация). Точность, достигаемая при шевинговании зубьев цилиндрических зубчатых колес дисковым шевером, в значительной степени зависит от погрешностей предшествующего зубонарезания и установки колеса на шевинговальном станке.

При достаточно точной предварительной обработке и правильном выборе инструмента шевингование обеспечивает высокую точность обработки зубчатых колес вплоть до изготовления прецизионных колес (см. подразд. 3.13).

Параметр шероховатости шевингованной поверхности зубьев $Ra = 0,40 \dots 0,10$ мкм.

Шевингованием обрабатывают зубчатые колеса твердостью $HВ \leq 380$.



Точность и производительность обработки, шероховатость обработанной поверхности в значительной степени зависят от межосевого угла шевера и заготовки (угла скрещивания). Для большинства сталей оптимальное значение межосевого угла $\Sigma = 10...15^\circ$, при обработке колес с закрытыми венцами $\Sigma = 3^\circ$. При шевинговании малозубых колес рекомендуются меньшие межосевые углы, при повышенной твердости зубьев $HV \geq 300$ — большие углы.

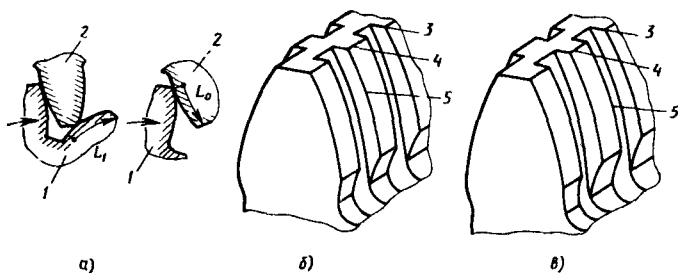
С т а н к и. Технические характеристики зубошевинговальных станков приведены в табл. 5.1.

5.1. Технические характеристики зубошевинговальных станков

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр шевера, мм	Частота вращения ведущего звена, мин ⁻¹		Мощность главного привода, кВт	Масса станка, т
		Диаметр	Модуль	Ширина венца		шевера	изделия		
Витебский станко-строительный завод им. Коминтерна (СССР)	5701	125	1,5	40	85	100—630	—	—	1,56
	5Б702В	320	6	100	240	63—500	—	3,2	5,3
	5Б702ВФ2	320	10	125	250	50—400	—	4,5	5
	5Б703	500	10	150	300	—	50—400	3	4
	5714С4	800	12	200	300	—	39—284	—	8,7
	5717С3	1250	12	200	300	—	25—292	—	8,7
«ТОС Челаковиче» (ЧССР)	OSP 12	125	4	100	185	112—560	—	1,5	2,1
	OS 25	250	6	150	290	71—355	—	2,2	3,5
«Модуль» (ГДР)	ZSch 250×5	250	5	125	250	250	—	—	4,5
	ZSch 500×8	500	8	170	250	250	—	—	6
«Черчилль» (Англия)	GS 8	203	6	254	250	61—222	—	—	2,5
	GS 12	305	6	254	250	61—222	—	—	4,2
	GS 16	406	6	254	250	61—222	—	—	4,2
«Хурт» (ФРГ)	ZSA 220	220	8	150	260	45—385	—	—	5,5
	ZSA 320	320	8	150	260	45—385	—	—	5,6
	ZSA 420	420	8	150	260	45—385	—	—	6,2
	ZSA 551	500	10	250	260	45—385	—	—	6,2
	ZST 7	180	5	50	250	40—400	—	—	3,7
	ZSI 250	250	5	—	120	—	—	—	3,5
	ZSI 320	320	5	—	120	—	—	—	3,5
«Харнока Седзи» (Япония)	SV I	300	6	150	225	70—290	—	3,8	—
	SV II	300	8	150	225	73—310	—	6,7	—
«Конзаки» (Япония)	GSF-400X	400	8	150	—	50—320	—	5,4	—

Рис. 5.2. Схема работы режущих кромок зубьев шевра:

a — путь резания режущих кромок; *б* — правое вращение шевра; *в* — левое вращение шевра



Инструмент. При использовании шевров, изготавливаемых в соответствии с ГОСТ 8570—80Е, рекомендуется следующее:

а) точность шевра нужно выбирать в соответствии с табл. 3.17; б) числа зубьев шевра z_0 и колеса z не должны иметь общих множителей; это можно не соблюдать для колес 7—8-й степени точности по нормам плавности работы; в) при обработке колес с числом зубьев $z < 20$, особенно с положительным смещением исходного контура, следует применять шевры с наибольшим числом зубьев; г) межосевой угол Σ шевра и колеса необходимо выбирать в соответствии с приведенными выше рекомендациями, оптимальное значение этого угла может быть подобрано опытным путем; д) выбранный нормализованный шевр должен обеспечивать выполнение условия $\rho_{p0} < \rho_p$, где ρ_{p0} и ρ_p — соответственно нижняя точка активного профиля зуба колеса в передаче и в станочном зацеплении с шевром при минимальном межосевом расстоянии в обработке a_0 .

Радиальный зазор между головками зубьев шевра и заготовки у поверхности впадин зубьев колеса и отсутствие интерференции с переходной поверхностью зубьев заготовки и шевра обеспечиваются обычно выбором параметров фрезы под шевр [18].

Если при использовании шевра с наибольшим числом зубьев не удовлетворяется условие $\rho_{p0} < \rho_p$, его заменяют специальным шевром. Также возможно перешлифование зубьев шевра на одинаковую глубину по обоим профилям зубьев с сохранением канавок на зубьях глубиной не менее 0,5 мм.

В крупносерийном производстве, где каждый шевр применяют для обработки колеса одного типоразмера, параметры шевра и режим обработки подбирают опытным путем. Применяют специальные шевры с продольной модификацией. Модификация профиля производится для компенсации систематических погрешностей шевингования на последующих технологических операциях (например, деформация при термической обработке) и упругих деформаций зубьев зубчатого колеса под нагрузкой в передаче.

При проектировании специального шевра для обработки зубчатого колеса с конкретными параметрами в условиях массового производства рационально учитывать влияние пути резания данной точки режущей кромки шевра (точки поверхности зуба заготовки) за цикл зацепления зубьев на точность обработки и шероховатость обработанной поверхности.

Из схемы на рис. 5.2, *a* видно, что в срезании стружки участвуют не только радиальные режущие кромки 5 шевра 1 (рис. 5.2, *б*, *в*), но и осевые кромки 4. В большинстве случаев путь резания осевой кромки в несколько раз превосходит путь резания радиальной кромки. Поэтому уголок 3 шевра испытывает наибольший износ. В аналогичных условиях резания находится кромка головки зуба колеса 2, проходящая путь L_1 по поверхности ножа зуба шевра. Характер зависимости L_0 от погрешности профиля f_{fr} зубьев после обработки тысячи заготовок данным

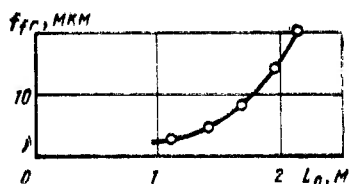
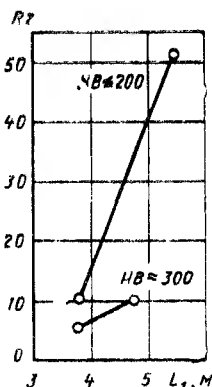


Рис. 5.3. Зависимость погрешности эвольвентного профиля зубьев колеса от пути резания уголка режущей кромки шевера

Рис. 5.4. Зависимость параметра шероховатости поверхности зубьев колеса от пути трения головки зуба



шевером после его заточки показан на рис. 5.3. Характер зависимости L_1 от параметра шероховатости поверхности головок зубьев колеса показан на рис. 5.4.

Зубья шеверов повторно затачивают шлифованием на зубошлифовальных станках. При заточке шлифуют также поверхность вершин зубьев шевера. Число возможных повторных заточек шевера при правильной его эксплуатации 5—10. Точность шевера после повторной заточки должна соответствовать ГОСТ 8570—80Е.

Методы шевингования. Применяют следующие разновидности шевингования при плотном одностороннем зацеплении шевера и колеса: параллельное, диагональное, поперечное, тангенциальное и врезное (табл. 5.2).

5.2. Методы шевингования

Шевингование	Эскиз	Угол между направлением движения подачи и осью колеса
Параллельное*1		$\varphi = 0^\circ$
Диагональное*2		$0^\circ < \varphi < 45^\circ$

Продолжение табл. 5.2

Шевингование	Эскиз	Угол между направлением движения подачи и осью колеса
Поперечное*3		$\epsilon = 90^\circ - \Sigma$
Тангенциальное*4		$\epsilon = 90^\circ$
Врезное		—

*1 $L = b + (1 \dots 3)$.*2 $L = b \frac{\sin \Sigma}{\sin (\epsilon + \Sigma)} + 2$.*3 Без радиальной подачи $L = \sqrt{2,7 a \Delta s} + [b + (4 \dots 6) \sin \Sigma]$;
с радиальной подачей $L = [b + (4 \dots 10)] \sin \Sigma$.*4 Без радиальной подачи $L = \sqrt{2,7 a \Delta s} + [b + (4 \dots 6)] \operatorname{tg} \Sigma$;
с радиальной подачей $L = [b + (4 \dots 10)] \operatorname{tg} \Sigma$.

Примечание. Обозначения: 1 — колесо; 2 — шевер; 3 — направление движения подачи; 4 — проекция межосевого перпендикуляра; b — ширина венца колеса; b_0 — ширина шевера; a — номинальное межосевое расстояние; Δs — припуск на обработку; Σ — межосевой угол; L — длина рабочего хода, мм.

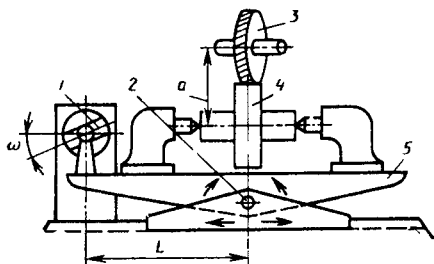
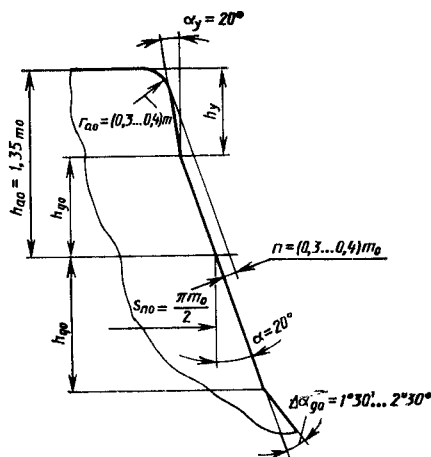


Рис. 5.5. Схема шевингования на станках с качающимся столом:

1 — поворотная линейка; 2 — ось качания стола; 3 — шевер; 4 — обрабатываемая заготовка; 5 — стол станка

Рис. 5.6. Исходный производящий контур фрезы с протуберанцем:

h_{ao} — высота головки зуба фрезы; h_{go} — делительная высота шевингования; s_{n0} — толщина зуба



Одностороннее шевингование производят в однопрофильном зацеплении с шевером при торможении ведомого колеса пары шевер — колесо. Этот метод шевингования позволяет эффективно устранять продольную волнистость зубьев колес с путем изменения тормозного момента или времени обработки различных участков корректировать продольный профиль широких зубчатых колес, например исправлять направление зуба.

Коломенский завод тяжелого станкостроения изготавливает специальные станки КУ-224 и КУ-225, обеспечивающие одностороннее шевингование колес диаметром до 2000 мм. При модернизации крупных шевинговальных станков для одностороннего шевингования необходимо применять тормозное устройство, обеспечивающее на оси шевера момент не менее 100—120 Н·м. Тормозное устройство должно плавню регулироваться. В процессе шевингования необходимо периодически измерять продольный профиль зубьев или проверять контакт обрабатываемой заготовки с измерительным колесом или с сопряженным в передаче колесом. Одностороннее шевингование может также выполняться при постоянном тормозном моменте с большим числом коротких продольных рабочих ходов на участках, на которых имеется местный контакт в паре. В этом случае также необходимо периодически проверять продольный профиль зубьев колеса. Обычно применяют одностороннее шевингование меньшего колеса зубчатой передачи.

Особенность параллельного шевингования при плотном зацеплении шевера и колеса заключается в том, что возможна продольная модификация зубьев колеса с помощью механизмов станка и использованием шевера с немодифицированной поверхностью зубьев. В процессе продольного движения подачи стол или направляющие шевинговальной бабки медленно поворачиваются вокруг оси, перпендикулярной оси колеса (рис. 5.5). В результате этого при контакте зубьев шевера и колеса у торцов последнего межосевое расстояние уменьшается, что приводит к уменьшению толщины зубьев у их концов относительно середины на величину $2\Delta_s$, где Δ_s — глубина продольной модификации линии зуба. Заканчивается шевингование при нормальном рабочем межосевом расстоянии a , проверяемом измерением максимальной толщины зубьев в их средней части.

Нарезают зубья под шевингование обычно червячными фрезами с протуберанцами. Исходный контур червячных фрез с протуберанцами показан на рис. 5.6.

Шевингование позволяет несколько снизить требования к точности червячных фрез, но при этом наиболее эффективно использование зубофрезерных станков высокой жесткости, обеспечивающих точность и стабильность обработки колес, особенно по нормам контакта зубьев и минимальной разности биения и переноса венца колеса.

При использовании стандартных шеверов червячные фрезы должны быть такими, чтобы обеспечивался радиальный зазор между головками зубьев шевера и дном впадин зубьев колеса, а параметры протуберанца на головке зуба фрезы — такими, чтобы выполнялась модификация ножки зуба колеса для свободного выхода головки зуба шевера и обработки шевингованием всего активного профиля зуба. Кроме того, фреза для колес с числом зубьев $z < 20$ должна иметь модифицированный участок у ножки зуба.

В среднесерийном производстве все колеса одного модуля нарезают фрезами двух-трех разновидностей (групповые фрезы), различающимися параметрами исходного контура. Инструментальная промышленность изготавливает червячные фрезы под шевингование по ОСТ2 И41-3—85.

Припуски на шевингование приведены в табл. 3.14. Однако следует учитывать, что уменьшение припуска на шевингование требует повышения точности предварительной зубообработки и, как следствие, приводит к повышению точности шевингования, а завышение припуска, особенно при обработке колес с числом зубьев $z < 20$, может привести к снижению точности шевингования и, в частности, к характерным погрешностям эвольвентного профиля колес.

Режимы обработки. Режимы шевингования приведены в табл. 5.3 и 5.4. Ориентировочная стойкость шеверов может быть определена на основании данных табл. 5.5.

5.3. Подача при зубошевинговании

Модуль колеса m , мм	Твердость зубьев НВ	Подача		Модуль колеса m , мм	Твердость зубьев НВ	Подача	
		продольная S_0 , мм/об колеса	радиальная $S_{\text{рад}}$, мм/прод. ход			продольная S_0 , мм/об колеса	радиальная $S_{\text{рад}}$, мм/прод. ход
3—6	150—320 320—380	0,4—0,6 0,3—0,4	0,04—0,05 0,02—0,03	7—10	150—260 260—360	0,3—0,5 0,2—0,3	0,03—0,04 0,02—0,03

5.4. Окружная скорость шевера

Обрабатываемые материалы	Твердость материала НВ	Окружная скорость v , м/мин	Обрабатываемые материалы	Твердость материала НВ	Окружная скорость v , м/мин
Конструкционные углеродистые стали: 15, 20, 25 30, 35 40, 45, 50	170 196 217 285	150 140 130 80	Конструкционные легированные стали: 20Х, 35Х, 40Х, 18ХГТ, 12Х2Н4А, 12ХН3, 18ХНВА, 45Х, 12ХН4А, 30ХГТ, 6ХНМ, 20ХНМ, 38ХМЮА	229	105

5.5. Ориентировочная стойкость шеверов между двумя повторными заточками

Твердость материала колеса НВ	Окружная скорость шевра v , м/мин		
	До 90	Св. 90 до 150	Св. 150 до 220
180—200	100	50	30
280—300	50	25	15
360—380	20	10	6

Стойкость шевра ограничена предельными значениями погрешности и параметра шероховатости зубьев шевингуемого колеса. Обычно именно в результате периодического измерения этих значений судят о пригодности шевра к дальнейшей эксплуатации. Погрешность профиля колеса и параметр шероховатости поверхности его зубьев зависит от числа заготовок, обработанных данным шевром после заточки. Эти параметры не выходят за пределы допуска после обработки заготовок примерно 1500 колес.

Основное время шевингования определяют по формуле $t_0 = LK_0/v_{sm}$, где L — длина рабочего хода станка (по табл. 5.2); K_0 — общее число рабочих ходов на обработку; v_{sm} — скорость подачи, мм/мин.

Общее число рабочих ходов $K_0 = 1,37\Delta s/s_{рад} + K_x$, где Δs — припуск на толщину зуба, мм; K_x — число одинарных рабочих ходов без радиальной подачи.

Скорость подачи $v_{sm} = S_0 z_0 n/z$. Здесь S_0 — продольная подача, мм/об; z_0 и z — число зубьев соответственно шевра и колеса; n — частота вращения шевра; $n = 1000v_0/(\pi d_{ш})$, где $d_{ш}$ — диаметр шевра.

Шевингование производят с обильной подачей смазочно-охлаждающей жидкости (10—15 л/мин), обеспечивающей вымывание мелкой стружки из канавок зубьев шевра.

Точность и наладка станков. При отсутствии жесткой кинематической связи в станочном зацеплении шевра с колесом точность шевингования определяется условиями контактирования их зубьев и зависит от кинематической точности исходной заготовки зубчатого колеса, от положения зубчатого колеса и шевра относительно их осей вращения, точности наладки станка, а также от точности относительных движений осей шевра и зубчатого колеса, т. е. от точности и жесткости станка.

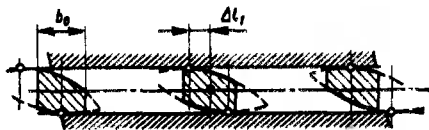


Рис. 5.7. Схема контактирования зубьев шевра и колеса в станочном зацеплении при диагональном шевинговании:

Δl_1 — расхождение точек зацепления шевра и заготовки колеса

Рис. 5.8. Схема для определения поправки угла скрещивания осей шевра и колеса:

$\Delta a = 0,2$ мм; $\Sigma = 20^\circ$; $a = 200$ мм; $\Delta \Sigma = 2,8 \cdot 10^{-4}$ рад

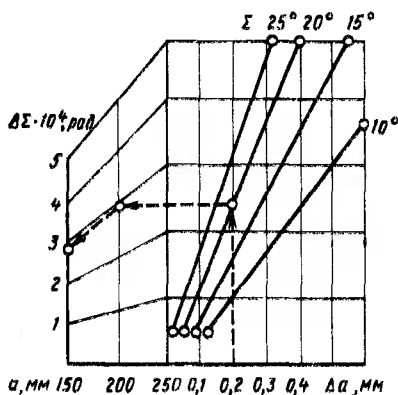
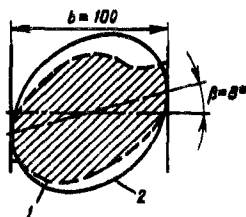


Рис. 5.9. Профиль зубьев колеса, обработанных с продольной модификацией:

1 — наладка станка без учета поправки $\Delta\Sigma$; 2 — наладка станка с учетом поправки $\Delta\Sigma$



Радиальное и торцовое биение шевера при шевинговании в плотном зацеплении не должно превышать при обработке колес 6—7-й степени точности по нормам плавности работы колес 5—10 мкм, а при обработке колес более грубых степеней 10—15 мкм.

Закрепление заготовки на рабочей оправке в центрах или люнетах станка производится в соответствии с указаниями, приведенными в подразд. 3.7.

Точность и жесткость зубошевинговального станка нормируются ГОСТ 13281—77Е.

Точность продольного профиля зубьев колеса в значительной степени зависит от условия контактирования торцовых кромок зубьев шевера с поверхностью зубьев колеса (рис. 5.7); поэтому необходимо, чтобы ширина шевера

$$b_0 > \frac{2 \sqrt{2\Delta \left(\frac{r_{1w}}{\cos^2 \beta_{1w}} + \frac{r_{0w}}{\cos^2 \beta_{0w}} \right)}}{(\operatorname{tg} \beta_{1w} + \operatorname{tg} \beta_{0w}) \sqrt{\sin \alpha_{0w}}},$$

где Δ — наибольшая толщина срезаемого слоя; α_{0w} — фактический угол станочного зацепления.

Предварительная установка межосевого угла производится обычно по лимбу поворота инструментальной головки, допустимая погрешность до 5', но может производиться также по расположению обработанных без продольного движения подачи участков зубьев на противоположных их профилях. Правильная установка соответствует расположению средин обработанных участков в одной торцовой плоскости заготовки колеса и должна выполняться по пятну контакта шевера с полностью обработанной заготовкой колеса, имеющей продольный профиль зубьев без отклонений. Правильная установка межосевого угла особенно важна при обработке заготовок колес с $z < 20$ при больших углах скрещивания и припуске на шевингование.

Межосевой угол шевера и колеса, установленный по пятну контакта шевера и колеса до шевингования, должен быть уменьшен на величину $\Delta\Sigma$ соответственно уменьшению межосевого расстояния в процессе шевингования (рис. 5.8). Невыполнение этого требования вызывает характерное отклонение продольного профиля зубьев (рис. 5.9).

Окончательно межосевой угол устанавливают по результатам измерения линии зубьев первого колеса партии или по результатам проверки пятна контакта с парным или измерительным колесом. На основании этой проверки, а также других проверок принятого комплекса при необходимости выполняют подналадку станка, результаты которой проверяют при измерении параметров второго колеса.

Наладку длины хода шевера относительно колеса следует производить так, чтобы обеспечивался выход межосевой линии за торцы колеса на 1—3 мм.

Зубокалибрование применяют для повышения точности, снижения шероховатости и волнистости поверхности после зубонарезания [5].

Обработку выполняют пластическим деформированием эвольвентных поверхностей зубьев, поэтому материал заготовки должен иметь относительное уд-

линение более 9 % и твердость HB < 380. Следует учитывать, что внутренние напряжения материала могут вызвать объемное деформирование зубчатого колеса при зубокалибровании.

Зубокалибрование наиболее целесообразно применять в условиях массового производства. По сравнению с шевингованием оно позволяет значительно снизить расходы на инструмент благодаря повышению его стойкости (в 10—20 раз), увеличить в 3—5 раз производительность обработки при стабильной точности зубчатых колес за период стойкости инструмента, значительно снизить шероховатость поверхности зубьев ($Ra \leq 0,7$ мкм), уменьшить деформацию зубчатых колес при термообработке. У калиброванных зубчатых колес при эксплуатации отмечается повышение прочности и долговечности.

Основные трудности применения зубокалибрования связаны с выбором таких геометрических параметров и параметров модификации зубьев инструмента, которые соответствуют высокому и стабильному качеству обработки, а также с выбором механических свойств материала заготовки, обеспечением необходимой жесткости системы станок — приспособление — инструмент — заготовка. Перед зубокалиброванием необходимо тщательно удалить заусенцы, образовавшиеся в результате зубонарезания.

Технические характеристики станков для зубокалибрования приведены в табл. 5.6. Наибольшее распространение получила обработка одним зубчатым накатником насадных зубчатых колес с радиальным или тангенциальным движением подачи инструмента относительно заготовки.

5.6. Технические характеристики станков для калибрования зубьев

Изготовитель станка	Модель станка	Размеры обрабатываемых колес, мм			Инструмент	Способ обработки	Производительность, шт/ч
		Диаметр	Модуль	Ширина венца			
«Мичиган-Тул» (США)	3215, 3237, 3251	38—75	0,6—1,75	До 100	Две зубчатые рейки	Поступательная подача реек	До 200
Горьковский автомобильный завод (СССР)	MC-5723	70—180	2—5	До 50	Круглый накатник	С радиальным движением подачи инструмента	До 180
«Хурт» (ФРГ)	ZRA-7	20—120	1—4	До 50	То же	С тангенциальным движением подачи заготовки	До 120
«Гроб» (Швейцария)	ZRM3— —ZRM10 SRM3— —SRM9	До 120 До 120	До 3 До 3,5	До 1200 До 3000	Два ролика То же	Ударный с осевым движением подачи заготовки	50

На рис. 5.10 показана схема зубокалибрования одним накатником с тангенциальным движением подачи заготовки, а также нереверсивным вращением инстру-

мента и заготовки. В зубчатом колесе-накатнике для уменьшения сил калибрования выполняют канавки, смещенные по высоте зубьев. Характерное искажение профилей зуба колеса при неререверсивной обработке компенсируется модификацией профиля зуба инструмента, рассчитанной на стабильный припуск на обработку до 0,02 мм на сторону зуба. Интерференция кромок головок зубьев инструмента с переходной поверхностью зубьев колеса, связанная с деформированием зубьев в процессе обработки, устраняется использованием для зубонарезания фрез с протуберанцами. Для того чтобы избежать наплывов на головках зубьев колеса, предусматривают на них фаски при зубонарезании.

На ГАЗе разработаны и широко применяются зубокалибровальные автоматы, в которых используется один зубчатый накатник с радиальным движением подачи инструмента относительно заготовки. Схема такого калибрования приведена на рис. 5.11.

Для уменьшения деформации головок зубьев колеса в процессе обработки и стабилизации профиля зуба при колебании припуска на его толщину 0,08—0,17 мм диаметр начальной окружности колеса в станочном зацеплении принимают $d_w = 0,98(d_a - m)$, чем достигается симметричность профиля после зубокалибрования. При этом колебания погрешности профиля зубьев колеса, связанные с колебаниями величины припуска, существенно уменьшаются. Интерференцию кромок головок зубьев накатника и поверхности ножек зубьев колеса устраняют использованием для зубофрезерования фрез с увеличенными протуберанцами и увеличением радиуса ρ закругления кромок головок зубьев накатника с 0,2—0,3 до 0,4—0,5 мм. Для предотвращения биения торцов зубчатых колес их базирование осуществляют только по центральному отверстию с натягом 0,005 мм.

При обработке заготовок зубчатых колес инструментом без продольной модификации на боковых сторонах зубьев колеса у торцов наблюдается постоянное отклонение направления зубьев в сторону уменьшения их толщины. Отклонение составляет 0,02—0,03 мм на длине до 4 мм. В большинстве случаев это способствует устранению кромочного контакта по длине зубьев. Если такое отклонение не допускается, то на зубьях инструмента выполняют продольную модификацию.

Для стабилизации направления при обработке косозубых колес целесообразно ширину зубчатого венца накатника делать больше ширины зубчатого венца колеса не менее чем на 10 мм.

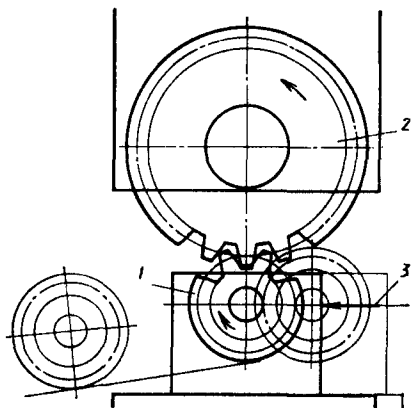


Рис. 5.10. Схема зубокалибрования одним накатником с тангенциальным движением подачи заготовки:

1 — заготовка; 2 — накатник; 3 — направление движения подачи заготовки

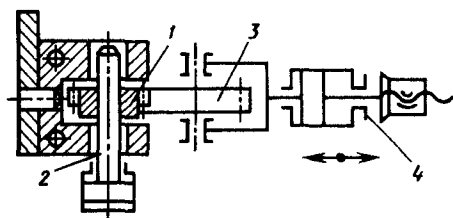


Рис. 5.11. Схема зубокалибрования одним накатником с радиальным движением подачи инструмента:

1 — заготовка; 2 — оправка заготовки с гидроцилиндром; 3 — накатник; 4 — механизм подачи накатника

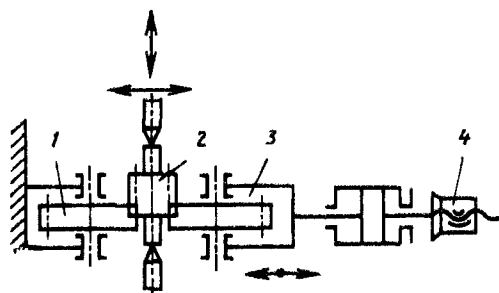


Рис. 5.12. Схема зубокалибровки двумя накатниками с осевым движением подачи инструмента:

1 — накатник с неподвижной осью; 2 — заготовк; 3 — накатник с подвижной осью; 4 — упор

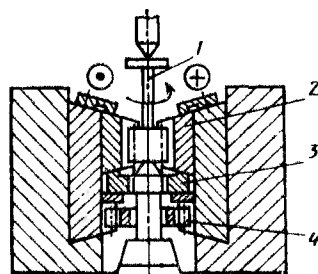


Рис. 5.13. Схема калибровки эвольвентных шлицев:

1 — заготовка; 2 — калибрующая рейка; 3 — рейка синхронизации вращения заготовки; 4 — рейка синхронизации движения ползунов

Зубокалибрование валов-шестерен и насадных зубчатых колес с посадочным отверстием диаметром, меньшим 12 модулей, производят двумя зубчатыми накатниками при перемещении заготовки в направлении радиального движения подачи или направлении осевого движения подачи при постоянном расстоянии между осями накатников (рис. 5.12).

Накатка (калибрование) зубчатыми рейками применяется при угле исходного контура зубчатого колеса $\alpha \geq 25^\circ$, например, для накатывания эвольвентных шлицев с $\alpha = 30^\circ$. На ГАЗе применяется станок МА-597 для накатки рейками эвольвентных шлицев с числом зубьев $z = 30$, $m = 1,0$, $\alpha = 30^\circ$, материал — сталь 35 при HB 156—207 (рис. 5.13). В отличие от реек фирмы «Мичиган Тул», имеющих плавную корректировку высоты зубьев рейки, инструментальная рейка станка МА-597 собирается из шести секций; высота зубьев в каждой секции постоянна. Первые четыре секции с числом зубьев 0,5z, в каждой секции осуществляют черновую накатку шлицев. Высота зубьев возрастает от секции к секции. Пятая секция с числом зубьев 1,5z, формирует шлицы на полную высоту. Шестая секция с числом зубьев z, имеет высоту зубьев на 0,04 мм меньшую, чем пятая, и является калибрующей. Комплект реек состоит из четырех реек, изготовленных из стали твердостью HRC₅ 55—59. Накатанные шлицевые валы имеют колебание размера по роликам на одной детали 0,025 мм, в пределах партии — 0,035 мм. Погрешность направления шлицев составляет 0,025 мм.

Получил распространение способ ударного калибрования зубчатых колес дисковыми роликами (рис. 5.14), вращающимися в противоположных направлениях оправках инструментальной головки. Заготовка совершает осевое движение относительно накатной головки. Ролики свободно вращаются вокруг своей оси, совершая планетарное движение относительно оси оправки.

Оправки вращаются с частотой 900—3500 мин⁻¹. Осевая подача составляет

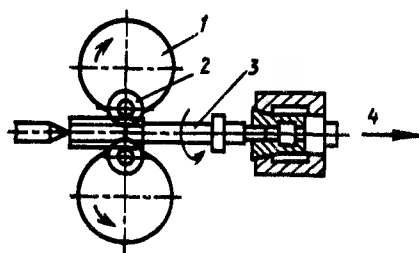


Рис. 5.14. Схема ударного калибрования зубьев роликами:

1 — инструментальная головка; 2 — ролик; 3 — заготовка; 4 — направление подачи заготовки

0,5—1,5 мм/об заготовки. Обрабатываются заготовки зубчатых колес с четным и нечетным числом зубьев. Инструмент — ролики — прост в изготовлении. При каждом обороте шпинделя ролики входят в кратковременный контакт с заготовкой. Инструмент и заготовка кинематически связаны между собой. Каждому обороту инструмента соответствует поворот колеса на один шаг. Одновременно колесо перемещается вдоль своей оси.

5.2. Отделка термически упрочненных зубьев

Зубошлифование применяют для обработки зубчатых колес с твердостью поверхности зубьев до HRC₃ 66. В ряде случаев зубошлифование может привести к появлению прижогов и, как следствие, ухудшению механических свойств поверхностного слоя зубьев. Поэтому при выборе разновидности зубошлифования и назначении требований к предшествующим и последующим операциям обработки зубьев необходимо проверить, может ли выбранное оборудование обеспечить требуемую точность колеса.

Инструментом является шлифовальный круг, в котором абразивные зерна связаны между собой керамической или органической (синтетической) связками. В кругах, предназначенных для зубошлифования, используют искусственные абразивные материалы — электрокорунд белый и хромотитанистый, а также кубический нитрид бора (эльбор).

Шлифовальные круги классифицируют по зернистости, связке, степени твердости и структуре.

Зернистость шлифовального материала является одним из основных показателей шлифовального круга. В зависимости от размера шлифовальные материалы делятся на шлифзерно, шлифпорошки, микрошлифпорошки и тонкие микрошлифпорошки, кроме того, они различаются зернистостью (от 4 до 200 и от М5 до М63).

Степень твердости шлифовального круга характеризуется прочностью удержания зерна в теле круга. Чем легче абразивное зерно выкрашивается из связки, тем мягче круг. Степень твердости круга обозначают буквами с индексом, например М2, М3, СМ1, СМ2 и т. д.

Структура шлифовального круга характеризует объемное содержание абразивного зерна в круге, выраженное в процентах. Различают закрытую, среднюю и открытую структуры, обозначаемые номерами 1—12.

Первичный выбор шлифовального круга имеет большое значение для получения поверхностного слоя зуба высокого качества. Шлифовальные круги общего назначения изготавливают трех классов точности АА, А и Б, различающиеся предельными отклонениями размеров круга.

Для зубошлифования рекомендуется использовать круги из белого электрокорунда (24А) и хромотитанистого электрокорунда (93А) классов АА и А. Зернистость шлифовальных кругов выбирают, исходя из требований, предъявляемых к качеству поверхности зубьев шлифуемого колеса. При повышенных требованиях к шероховатости применяют круги с меньшим номером зернистости, при шлифовании колес силовых передач применяют круги зернистостью до номера 40. В остальных случаях номер зернистости выбирают, исходя из требований чертежа колеса.

Твердость круга оказывает влияние как на его работоспособность, так и на качество обрабатываемой поверхности. Для шлифования колес со средним модулем (2—6 мм) рекомендуется применять круги твердостью СМ1—СМ2, а при об-

работке червячным кругом с мелким модулем (0,2—0,8 мм) — твердостью С1, СМ2, с увеличением зернистости круга его твердость нужно снижать.

В табл. 5.7 приведены параметры шлифовальных кругов, рекомендуемых для зубошлифования цилиндрических колес.

5.7. Параметры шлифовальных кругов, рекомендуемых для зубошлифования

Тип круга по ГОСТ 2424—83	Модуль шлифуемого колеса, мм	Параметры круга*		
		Материал	Зернистость	Твердость
Червячный из круга прямого профиля ПП	0,2—0,4 0,5—0,8 1,0—1,75 2—4 5—6 7—8	24А, 93А	3—8 6—12 10—16 12—20 16—25 20—32	С1, СМ2 СМ2 СМ2, СМ1 СМ1, М3 СМ1, М3 М3
С двусторонним коническим профилем 2П	1—3 3—5 5—12	24А	16—25 25—32 32—40	СМ2, СМ1 СМ1 М3, М2
С коническим профилем 3П	1—16	24А	25	СМ1
Тарельчатый Т	2—4 4—8 8—12	24А	12—16 16—25 25—40	СМ2 СМ1 М3, М2

* Структура № 8, связка К7.

Методы зубошлифования, станки. Зубья закаленных цилиндрических колес шлифуют методом обката червячным шлифовальным кругом с непрерывным делением, а также коническим двусторонним кругом, двумя тарельчатыми кругами и плоской стороной конического одностороннего круга с периодическим делением. Методом копирования зубья шлифуют профильным кругом, деление периодическое.

На рис. 5.15 показана схема шлифования зубьев червячным кругом.

Осевое сечение круга представляет собой исходную зубчатую рейку. При этом способе обработки для зубчатых колес одного модуля необходимо применять круг соответствующего модуля.

Технические характеристики зубошлифовальных станков с червячным кругом приведены в табл. 5.8.

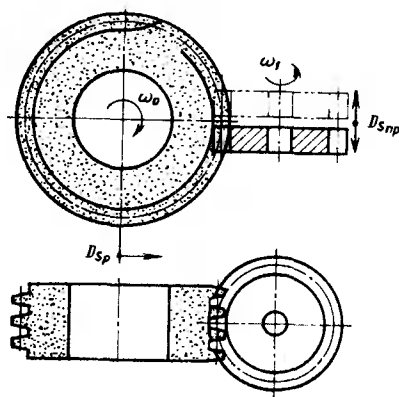


Рис. 5.15. Схема зубошлифования червячным кругом

5.8. Технические характеристики зубошлифовальных станков с червячным кругом

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр шлифовального круга, мм	Мощность главного привода, кВт	Масса станка, т
		Диаметр	Модуль	Ширина венца			
Егорьевский станкостроительный завод «Комсомолец» (СССР)	5Д831	125	1,5	80	400	4,0	4,3
	5Д833	320	6	170	400	7,5	7,1
	5Д833Д* ¹	320	6	180	400	7,5	7,1
	5В836* ¹	800	8	320	450	7,5	10,5
«Рейсхауер» (Швейцария)	NZA/OZA	300	5	170	350	4,8	5,1
	AZA/AZO	300	6	170	350	4,8	5,8
	ZB	700	8	280	400	—	9,7
	RZ 301S* ²	330	6	180	400	—	4,2
«Окамото» (Япония)	SHG-360	360	5	200	350	3,7	8,5
«Чепель» (ВНР)	FK-326-10	320	6	150	450	—	6,5
«ТОС Челаковице» (ЧССР)	ОВР-25	250	5	170	350	7,5	6,5

*¹ С дифференциалом.*² С электронным управлением.

На станках с червячным кругом обработку выполняют, непрерывно вращая инструмент и заготовку. Перед чистовыми рабочими ходами автоматически производится осевое перемещение круга. Многозубые колеса можно шлифовать многозаходными червячными кругами. Обеспечена профильная и продольная модификация зубьев колеса. Очистка охлаждающей жидкости с помощью центробежного сепаратора позволяет удалять из нее до 98 % металлических и абразивных частиц, составляющих шлифовальный шлам. Для защиты окружающей станок среды от масляного тумана рабочее пространство закрывают кожухом, соединенным с устройством очистки воздуха от масла. Точность обработки достигает 3—4-й степени по ГОСТ 1643—81. Параметр шероховатости обработанной поверхности $R_a = 0,63$ мкм.

Стойкость червячных шлифовальных кругов, определяющая точность зубчатых колес по нормам плавности их работы, ограничена, в частности, модулем; в настоящее время этим методом обрабатывают зубчатые колеса с $m \leq 8$ мм. Алмазные и эльборовые червячные круги применяют для повышения размерной стойкости и уменьшения опасности возникновения прижогов на шлифуемых зубьях.

Оrientировочные режимы шлифования червячными кругами приведены в табл. 5.9.

5.9. Режимы зубошлифования червячным кругом

Диаметр колеса, мм	Радиальная подача S_r , мм/раб. ход		Вертикальная подача S_v , мм/об	
	черновая	чистовая	черновая	чистовая
50—200	0,05—0,08	0,01—0,02	1,5—3,0	0,2—0,3
200—500	0,04—0,06	0,01—0,02	1,5—2,5	0,2—0,4
500—800	0,03—0,05	0,01—0,02	0,5—1,0	0,3—0,5

На станках, где в качестве инструмента используется профильный круг (табл. 5.10), за один рабочий ход обрабатывается вся впадина между зубьями (рис. 5.16) (иногда одна сторона впадины), правка круга производится несколько раз за цикл обработки одного колеса. Производительность станка высокая, но точность обработки относительно низкая (6-я степень точности по ГОСТ 1643—81). При этом механические свойства поверхностного слоя зубьев в значительной степени зависят от колебаний условий обработки. В связи с тем, что форма и положение рабочей поверхности круга зависят от параметров шлифуемого зубчатого колеса, станки с профильным кругом применяют только в крупносерийном производстве, станки большинства моделей предназначены для обработки только прямозубых колес.

5.10. Технические характеристики зубошлифовальных станков с профильным кругом

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр шлифовального круга, мм	Мощность главного привода, кВт	Масса станка, т
		Диаметр	Модуль	Ширина венца			
Московский завод шлифовальных станков (СССР)	5A868	800	12	200	400	15	13
	5A868Д	600	9	150	300	7,5	13
«Либхер» (ФРГ)	SE 400	400	8	120	350	—	5,5
«Мичиган Тул» (США)	GG 16×18FA	400	6,5	—	—	—	—
	MMGG 24×24FA	610	—	—	—	—	—
	GGG 16×18FA	400	—	—	—	—	—
	GGEL 42×36FA	1070	—	—	—	—	—
	GGI 16×3A*	400	—	—	—	—	—

* Для колес внутреннего зацепления.

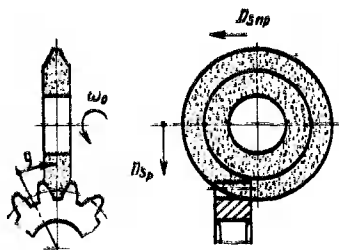


Рис. 5.16. Схема зубошлифования профильным кругом

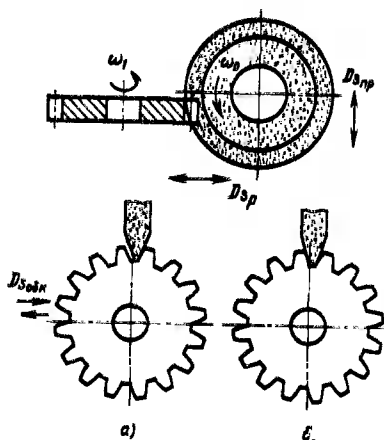


Рис. 5.17. Схема шлифования профилей зубьев коническим кругом:

а — раздельного; б — одновременного

Так как при шлифовании профильным кругом шлифуемые зубья контактируют с кругом по всему контуру впадины зубьев и происходит снятие большого количества металла, вероятность появления прижогов на обрабатываемых зубьях намного больше, чем при шлифовании другими методами. Поэтому режимы шлифования профильным кругом подбирают особенно тщательно.

Применение кругов с прерывистой рабочей поверхностью уменьшает отрицательное влияние выделяемой теплоты на качество поверхностного слоя зубьев.

Ориентировочные режимы зубошлифования профильным кругом приведены в табл. 5.11.

5.11. Режимы зубошлифования профильным кругом

Рабочий ход	Радиальная подача S_p , мм/раб. ход	Продольная подача $S_{пр}$, м/мин	Число рабочих ходов
Черновой	0,10—0,18	6—7	До снятия основного припуска
Получистовой	0,025—0,035	4—5	3—4
Чистовой	0,01—0,015	2—4	1—3

Примечание. Меньшие значения радиальной и продольной подач принимают для меньших модулей, а также при более высоких требованиях к точности и шероховатости поверхности шлифуемых зубьев.

На станках, где в качестве инструмента используется конический двусторонний круг и шлифование выполняется методом обката с периодическим делением (табл. 5.12), шлифовальный круг совершает быстрое возвратно-поступательное движение вдоль зуба заготовки по всей ее длине (рис. 5.17), а заготовка — вращательное и поступательное движения обката по зубьям воображаемой рейки, один из зубьев которой представляет собой шлифовальный круг.

Существуют два способа шлифования коническим кругом:

1) шлифовальный круг (рис. 5.17, а) в первой половине обкаточного движения шлифует только одну сторону профиля зуба, а во второй половине — другую; затем происходит деление на следующий зуб;

5.12. Технические характеристики зубошлифовальных станков с коническим двусторонним кругом

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр шлифовального круга, мм	Масса станка, т
		Диаметр	Модуль	Ширина венца		
Московский завод шлифовальных станков (СССР)	5М841*	320	8	190	350	8
	5М841Ф11*	320	8	190	350	8
	5843*	800	12	220	400	11,2
«Нейльс» (ГДР)	ZSTZ 315C3	315	10	160	350	4,8
	ZSTZ 06	630	14	265	350	5,3
	ZSTZ 06/EG CNC	630	14	265	350	5,3
	ZSTZ 10	1000	25	425	400	11
	ZSTZ 16	1600	25	425	400	25
	ZSTZ 25	2500	25	710	400	30
«Рейсхауер» (Швейцария)	RKZ 400	400	10	200	350	6,3
«Хефлер» (ФРГ)	H200	400	12	250	350	—
	H500	500	14	225	350	8,8
	H630	630	14	225	350	10,4
	H800	800	14	225	350	10,8
	H1000	1000	14	225	350	11,8
	H1250	1250	25	530	350	25
	H1600—H3500	1600—3500	32	1160	500	70—85

* Мощность главного привода 1,5 кВт.

2) шлифовальный круг (рис. 5.17, б) обрабатывает обе стороны профиля во время обката в одну сторону, после чего происходит деление на следующий зуб и во время обката в другую сторону шлифуются обе стороны профиля второго зуба.

Правку шлифовального круга производят алмазным зерном по профилю зуба исходной рейки прямолинейно или с модификацией. Продольная модификация шлифуемого зуба обеспечивается благодаря согласованности перемещения круга по шаблону радиально к заготовке и его движения вдоль зуба заготовки.

Особенности станков для шлифования цилиндрических колес коническим кругом — большая универсальность, простота обслуживания, простота профилирования шлифовального круга и возможность обработки зубчатых колес с большими диаметром и модулем.

Производительность станков с коническим кругом ниже, чем станков с профильным кругом, но точность обработки выше. Режимы шлифования колес средних модулей и диаметров коническим кругом приведены в табл. 5.13.

В работах [1] и [25] приведены оптимальные режимы шлифования зубчатых колес из сталей 12Х2Н4А и 18ХНВА, используемых в высоконагруженных силовых редукторах.

5.13. Режимы зубошлифования на станках с коническим кругом

Модуль m , мм	Подача обката $S_{обк}$, мм/дв. ход (ползуна), при обработке колес с числом зубьев							Радиальная подача S_t , мм/раб. ход, при обдирочно-шлифовании
	10	20	30	40	50	70	св. 70	
1,5	0,15	0,25	0,40	0,60	0,75	1,00	1,25	0,05—0,10
2	0,20	0,30	0,50	0,75	0,95	1,20	1,45	
4	0,25	0,45	0,75	0,95	1,15	1,75	1,80	
6	0,30	0,65	0,95	1,15	1,35	1,70	2,10	
8	0,45	0,75	1,10	1,35	1,60	1,95	2,35	0,05—0,12
10	0,55	0,90	1,25	1,55	1,90	2,20	2,60	
12	0,70	1,20	1,60	2,00	2,30	2,55	3,40	0,05—0,15
16	0,80	1,40	1,85	2,30	2,65	3,00	3,80	
20	0,90	1,55	2,10	2,55	2,95	3,30	4,20	

Примечание. Радиальная подача при чистовой обработке 0,01—0,02 мм/раб. ход.

5.14. Технические характеристики зубошлифовальных станков с тарельчатыми кругами

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр шлифовальных кругов, мм	Масса станка, т
		Диаметр	Модуль	Ширина венца		
Московский завод шлифовальных станков (СССР)	5A851*1	360	12	220	280	7
	5A853*1	800	12	290	280	7,5
«Мааг» (Швейцария)	SD-36-x	360	12	200	280	6,4
	SD-65	650	15	330	280	8,0
	SD-62/82	820	15	330	280	7,2
	HSP-80	820	15	490	280	10,5
	HSS-90	900	20	900	280	19,5
	JHSS-90*2	950	10	150	250	7,5
	SHS-180/240	2400	16	500	480	25,2
	SHS-460B	4750	36	1500	480	73,0

*1 Мощность главного привода 0,75 кВт.

*2 Для колес внутреннего зацепления.

На станках, в которых инструментом являются два тарельчатых круга, работающих методом обката с периодическим делением (табл. 5.14), шлифование выполняют кромками кругов, что повышает их режущую способность и качество обрабатываемой поверхности. В процессе обработки шлифовальные круги совершают только вращательное движение ω_0 (рис. 5.18, а), а заготовка — обратно-

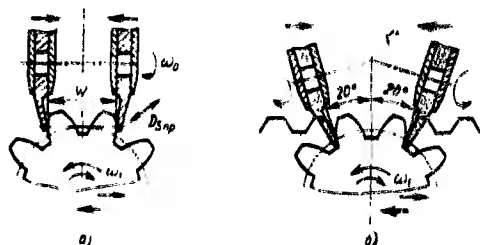


Рис. 5.18. Схема зубошлифования тарельчатыми кругами

алмазы периодически касаются режущих кромок шлифовальных кругов при износе, превышающем 1—2 мкм, круги перемещаются в положение, которое они занимали до изнашивания.

Шлифовальные круги могут занимать различные положения относительно обрабатываемой заготовки колеса: параллельно друг другу на расстоянии, равном длине общей нормали W обрабатываемого колеса (рис. 5.18, а); под углом 20° , т. е. параллельно образующей исходной зубчатой рейке (рис. 5.18, б); под углом не равным 20° .

Шлифование осуществляется без применения смазочно-охлаждающей жидкости. Профильная и продольная модификации зубчатых колес обеспечиваются благодаря согласованности движения обката и перемещения шлифовальных кругов.

Режимы шлифования, обеспечивающие высокое качество поверхности зубьев на станках с тарельчатыми кругами, приведены в табл. 5.15.

5.15. Режимы зубошлифования при работе тарельчатыми кругами

Модуль m , мм	$n_{обк}$, мин ⁻¹ , при обработке колес диаметром, мм						
	до 30	30—50	60—100	100—150	150—200	200—300	св. 300
До 3	300	240	240	220	220	220	200
4	—	240	200	220	220	200	180
5	—	—	200	200	180	180	160
6	—	—	200	180	160	180	130
8	—	—	160	130	130	130	130
Св. 8	—	—	160	130	120	120	100
Модуль m , мм	$S_{обк}$, мм/дв.ход, при обработке колес с числом звеньев						
	10	20	30	40	50	70	св. 70
До 4	0,4	0,7	0,9	1,15	1,35	1,6	1,8
6	0,5	0,85	1,15	1,35	1,6	1,8	2,4
8	0,55	0,95	1,3	1,6	1,85	2,1	2,8
10	0,65	1,1	1,45	1,8	2,1	2,3	3,1

Примечание. Тангенциальное движение подачи производится в зависимости от модуля шлифуемого колеса; для обдирочного шлифования $S=0,04...0,10$ мм/рзб.ход, для чистового шлифования $S=0,01...0,02$ мм/рзб.ход. При продольном движении подачи во время обдирочного шлифования $S=3,7...4,7$ мм/рзб.ход; во время чистового шлифования $S=1,1...1,3$ мм/рзб.ход. Для больших значений модуля берутся большие значения подачи.

Зернистость и твердость шлифовального круга назначают по графику, приведенному на рис. 5.19. При $n_{обк} > 200 \text{ мин}^{-1}$ зернистость кругов назначают по верхней кривой зоны 1 и зоны 2; при $n_{обк} < 135 \text{ мин}^{-1}$ — по нижней кривой зоны 1 и зоны 2. Зона 1 относится к параллельному, зона 2 — к угловому расположению режущих кромок кругов.

На зубошлифовальных станках для обработки измерительных колес, долбяков и дисковых шевров шлифование выполняют плоской стороной конического круга (табл. 5.16) за две отдельные операции. На этих станках продольное движение подачи отсутствует, поэтому даже при кругах большого диаметра ширина венца колеса не должна превышать 75 мм (см. табл. 5.16).

5.16. Технические характеристики зубошлифовальных станков для измерительных колес, долбяков и дисковых шевров

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр шлифовального круга, мм	Мощность главного привода, кВт	Масса станка, т
		Диаметр	Модуль	Ширина венца			
Московский завод шлифовальных станков (СССР)	5891С	125	6	30	250	0,6	2,6
	5А893С	320	12	56	500	0,75	3,5
«Хурт» (ФРГ)	SRS-400	400	14	75	762	1,2	5
	SRS-460	460	16	75	762	1,2	5
«Сампутенсили» (Италия)	SU-RSB/14	400	15	60	760	—	4,6

Шлифуемое колесо 2 совершает движение обката ω_1 с помощью эвольвентного кулака 3, соприкасающегося с неподвижным упором 4 (рис. 5.20). После обработки одной стороны всех зубьев оправку с заготовкой устанавливают в шпиндель противоположным концом и производят шлифование второй стороны профиля всех зубьев. Шлифовальный круг 1 совершает только вращательное движение резания ω_0 .

Бочкообразная модификация зубьев может быть достигнута специальной правкой рабочей поверхности круга: вместо плоской образуется вогнутая конусная поверхность. Механизм правки поворачивается относительно оси круга на угол φ , который может быть определен по формуле

$$\varphi = \arcsin \frac{4d_n \Lambda_n \cos^2 \beta_{ш}}{b^2}$$

Здесь d_n — диаметр шлифовального круга; $\Lambda_n = \Delta W/2$ — величина бочкообразности зубьев на сторону, где ΔW — утонение зубьев по нормали у торцов зубчатого венца относительно его середины; b — ширина венца колеса. При этом наладка станка должна быть скорректирована соответственно профильному углу шлифования, равному $\alpha'_{ш} = d_{ш} \pm \varphi$.

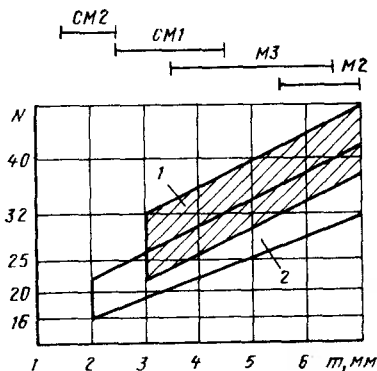


Рис. 5.19. График выбора зернистости и твердости тарельчатого шлифовального круга:

CM2, CM1, M3, M2 — параметр твердости круга;
N — номер зернистости; m — модуль шлифуемого колеса

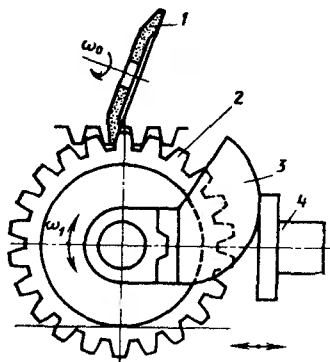


Рис. 5.20. Схема зубошлифования плоским кругом:

1 — шлифовальный круг; 2 — заготовка; 3 — эвольвентный кулак; 4 — упор

Режимы обработки плоским кругом приведены в табл. 5.17.

5.17. Режимы зубошлифования при работе плоским кругом

Модуль m , мм	Тангенциальная подача S_t , мм/раб. ход		Подача обката $S_{обк}$, мм/дв. ход, при числе зубьев					
	при обдирочном шлифовании	при чистовом шлифовании	10	20	30	40	50	70
До 4	0,02—0,03	0,01—0,02	40	70	90	115	135	160
Св. 4—8	0,03—0,035		55	95	130	160	185	210
Св. 8	0,03—0,05		65	110	145	180	210	230

Основное время при зубошлифовании различными методами определяется по формулам, приведенным в табл. 5.18.

Особенности обработки переходных поверхностей и поверхностей впадин зубьев под зубошлифование. Шлифование этих поверхностей приводит к снижению выносливости зубьев при изгибе, а также точности обработки. Поэтому при зубофрезеровании закаливаемых колес под шлифование рекомендуется применять специальные фрезы, обеспечивающие окончательную обработку переходных поверхностей и поверхностей впадин зубьев, т. е. фрезы с протуберанцами или усиками. Форма исходного контура такой фрезы приведена на рис. 5.6. Параметры исходного контура выбирают так, чтобы увеличить выносливость зубьев при изгибе при отсутствии срезания активной части эвольвентного профиля зубьев Δs и $\Delta > n$ заготовки (рис. 5.23). Последнее требование для колес с числом зубьев $z < 20$ практически невыполнимо.

При обработке колес с числом зубьев $z < 20$ и коэффициентом смещения $x < 0,5$ используют фрезы с уменьшенным профильным углом, их применение ограничено условиями резания протуберанцев.

5.18. Формулы для определения основного времени t_0 при зубошлифовании

Зубошлифование	t_0 , мин
Червячным кругом	$(zL/nz_0) (i_1/S_{в.обд} + i_2/S_{в.ч})$
Профильным кругом	$2zL (i_1/S_{пр.обд} + i_2/S_{пр.ч}) + t_x (t_1 + t_2)$
Коническим кругом одностороннее	$(2zL/n_1) (i_1/S_{обк.обд} + i_2/S_{обк.ч}) + zt_x (i_1 + i_2)$
Коническим кругом двустороннее	$(zL/n_1) (i_1/S_{обк.обд} + i_2/S_{обк.ч}) + zt_x (i_1 + i_2)$
Двумя тарельчатыми кругами	$(2zL/n_{обк}) (i_1/S_{пр.обд} + i_2/S_{пр.ч}) + zt_x (i_1 + i_2)$
Плоским кругом	$4zL (i_1/S_{обк.обд} + i_2/S_{обк.ч}) + 2zt_x (i_1 + i_2)$

Обозначения: z — число шлифуемых зубьев; L — длина рабочего хода инструмента или заготовки по табл. 5.19; i_1 — число рабочих ходов при обдирочном шлифовании; i_2 — то же, при чистовом шлифовании; S_v — вертикальная подача для станков с червячным кругом, мм/об; $S_{пр}$ — продольная подача для станков с профильным кругом (мм/мин) и с тарельчатыми кругами (мм/дв. ход); $S_{обк}$ — подача обката для станков с коническим кругом (мм/дв. ход) и с плоским кругом (мм/дв. ход); t_x — время вспомогательного хода; n — частота вращения червячного круга, мин⁻¹; n_1 — частота движения ползуна, дв. ход/мин; $n_{обк}$ — число ходов обката в 1 мин; z_0 — число заходов червячного круга.

5.19. Длина рабочего хода инструмента или заготовки при зубошлифовании

Зубошлифование	L , мм, для зубьев	
	прямых	наклонных
Червячным кругом	$b + (2 \dots 3 \text{ мм})$	$b + 2\pi m \sin \beta$
Профильным кругом	$b + 2l_{bx}$	$b + 2l_{bx} + \sqrt{hD_{a0}} - h$
Коническим кругом	$L_{обк}$	$L_{обк} + b \operatorname{tg} \beta_{ш}$
Двумя тарельчатыми кругами	при $\alpha_{ш} = 15 \dots 20^\circ$ $b + 2l_{bx}$; при $\alpha_{ш} = 0^\circ$ $b + 1,3l_{bx}$	$b + (L_{обк} + \pi m) \cos \alpha \sin \beta$
Плоским кругом	$L_{обк}/2 + l_{bt}$	$mL_{обк}/2 + l_{bt} + b \operatorname{tg} \beta$

Примечание. $L_{обк}$ — по табл. 5.20; l_{bx} — по графику на рис. 5.21; l_{bt} — по графику на рис. 5.22.

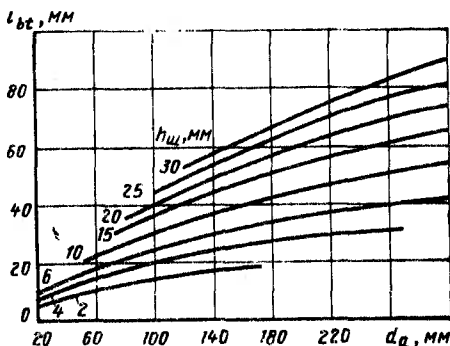
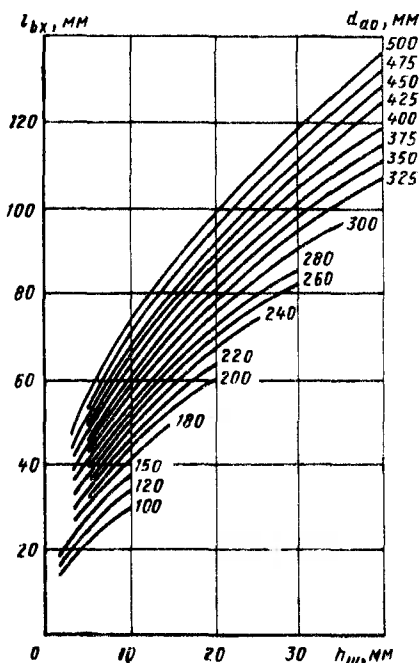


Рис. 5.22. Запас рабочего хода шлифовальных кругов в направлении, перпендикулярном оси заготовки:

l_{bt} — запас рабочего хода круга; $h_{ш}$ — глубина врезания круга в заготовку; d_a — диаметр выступов зубьев колеса

← Рис. 5.21. Запас рабочего хода шлифовальных кругов вдоль оси заготовки:

l_{bx} — запас рабочего хода круга; $h_{ш}$ — глубина врезания круга в заготовку; d_{ao} — диаметр круга

Инструментальная промышленность изготавливает фрезы с протуберанцем централизованно, в том числе по отраслевому стандарту, однако часть таких фрез изготавливают машиностроительные заводы.

Необходимый подрез ножки зуба Δ определяется точностью механической обработки колеса до термической обработки, значениями и стабильностью деформаций при термической обработке (см. подразд. 3.2) и рациональным базированием колеса при окончательной обработке посадочных поверхностей и зубьев (см. подразд. 3.4, 3.9).

При необходимости шлифования поверхности дна впадин и переходных поверхностей зуба форма шлифуемой впадины определяется формой периферии шлифовального круга.

Организация и наладка зубошлифования. Рекомендуемые припуски на зубошлифование приведены в табл. 3.14. Для обеспечения способности зубчатых колес к восприятию нагрузки и повышения производительности их обработки необходимо принимать меры к уменьшению деформаций при термообработке и отклонений расположения поверхностей, используемых при зубошлифовании, относительно зубчатого венца заготовки. Большое значение для уменьшения толщины снимаемого металла на данном колесе при зубошлифовании обоих профилей зубьев на одной операции имеет правильный выбор углового положения заготовки относительно круга. Обычно угловое положение заготовки

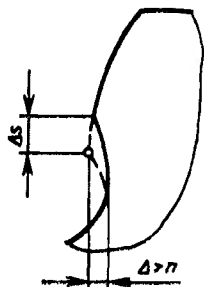


Рис. 5.23. Схема срезания активного участка эвольвентного профиля зубьев заготовки фрезой с протуберанцем

5.20. Длина хода обкатки $L_{обк}$, мм, для колес с $m = 1$ мм*

Коэффициент смещения x	$L_{обк}$ при числе зубьев обрабатываемого колеса							
	10	20	30	40	50	70	100	150

Обработка тарельчатыми и плоскими кругами; $\alpha_{ш} = 15^\circ$, $m \leq 7$ мм

0	9,60	11,05	12,20	13,20	14,20	16,00	18,75	21,10
+0,5	10,80	12,65	13,95	15,10	16,20	18,10	21,00	25,35
+1,0	11,90	13,95	15,40	16,65	17,95	20,00	23,10	27,65
+1,5	13,05	15,25	16,80	18,25	19,70	21,85	25,10	30,85
+2,0	14,10	16,40	18,10	19,65	21,25	23,55	27,00	32,05
-0,5	—	—	9,00	10,95	11,95	13,65	16,25	20,45
-1,0	—	—	—	—	11,70	12,60	13,80	18,00

Обработка тарельчатыми и плоскими кругами; $\alpha_{ш} = 15^\circ$, $m > 7$ мм

0	6,55	8,00	9,15	10,14	11,15	12,95	15,65	20,05
+0,5	7,65	9,60	10,90	12,05	13,15	15,05	17,95	22,30
+1,0	8,85	10,90	12,35	13,60	14,90	16,95	20,05	24,60
+1,5	10,00	12,20	13,75	15,20	16,65	18,80	22,05	27,80
+2,0	11,05	13,30	15,05	16,60	18,25	20,50	23,95	29,00
-0,5	—	—	5,95	7,55	8,90	10,60	13,20	17,40
-1,0	—	—	—	7,90	8,65	9,56	10,73	14,95

Обработка тарельчатыми и плоскими кругами; $\alpha_{ш} = 20^\circ$, $m \leq 6$ мм

0	9,00	9,60	9,80	10,05	10,25	10,40	10,55	10,65
+0,5	10,20	11,20	11,60	11,95	12,30	12,60	12,95	13,15
+1,0	11,40	12,60	13,15	13,70	14,10	14,45	15,00	15,40
+1,5	12,55	13,95	14,60	15,30	15,90	16,40	17,15	17,60
+2,0	13,40	15,10	15,90	16,75	17,55	18,15	19,05	19,80
-0,5	—	—	13,40	13,20	13,00	12,85	12,60	12,45
-1,0	—	—	—	—	16,45	16,20	15,80	15,55

Обработка тарельчатыми и плоскими кругами с $m > 6$ мм
и коническими кругами; $\alpha_{ш} = 20^\circ$

0	5,85	6,45	6,70	6,90	7,10	7,25	7,40	7,50
+0,5	7,10	8,10	8,45	8,80	9,15	9,45	9,80	10,00
+1,0	8,25	9,45	10,00	10,55	10,95	11,30	11,90	12,25
+1,5	9,45	10,80	11,45	12,15	12,75	13,25	14,00	14,55
+2,0	10,25	11,95	12,75	13,60	14,40	15,00	15,90	16,65
-0,5	—	—	10,25	10,15	9,85	9,60	9,45	9,35
-1,0	—	—	—	—	13,05	13,05	12,05	12,40

* Для других значений модулей табличные значения $L_{обк}$ умножают на значение модуля шлифуемого колеса.

товки выбирают по зубьям, наиболее приближенным к шлифовальному кругу. Применяют также методы установки заготовки [25], при которых максимально выступающие зубья определяются автоматически с помощью электронных приборов.

Черновые рабочие ходы при зубошлифовании обычно выполняют до полной зачистки всех зубьев заготовки.

Рациональное применение СОЖ позволяет существенно повысить механические свойства поверхностного слоя зубьев. Наиболее широко используют сульфированные минеральные масла с различными присадками.

Для повышения эффективности смазочного действия и повышения в зоне резания температуры плавления смазочной пленки в состав СОЖ вводят серу в количестве 1,5—2 % общего объема.

Необходимо постоянно контролировать качество СОЖ, очищать ее естественным отстаиванием и пропусканием через магнитные или центробежные сепараторы. Содержание в СОЖ примесей в количестве 0,05—0,10 % уменьшает стойкость шлифовального круга на 15—20 %, а также способствует появлению рисок на шлифуемой поверхности.

Эффективность действия СОЖ зависит также от способа ее подачи в зону резания. При зубошлифовании СОЖ подают обычно под давлением 0,03—0,05 МПа свободно падающей струей. При этом значительная ее часть отбрасывается от круга создаваемым им воздушным потоком. При подаче СОЖ струей под давлением 1,2—1,5 МПа эффективность смазочного и охлаждающего ее действия повышается в результате проникновения СОЖ в зону непосредственного контакта шлифовального круга с заготовкой.

Неуравновешенность шлифовальных кругов вызывает их вибрацию во время работы и, как следствие, — ухудшение качества шлифуемой поверхности (появление на ней прижогов), повышенный износ кругов и увеличение расхода правящих алмазов.

Основные причины, вызывающие неуравновешенность шлифовальных кругов, следующие: отклонение их формы, неравномерная плотность абразивной массы, неравномерное изнашивание в процессе шлифования, а также неравномерное насыщение круга охлаждающей жидкостью. Шлифовальные круги балансируют статически и динамически. У кругов для зубошлифования должен быть 1-й класс неуравновешенности по ГОСТ 3060—86.

Чистовая обработка закаленных зубьев лезвийным инструментом. Чистовая лезвийная обработка закаленных зубьев твердосплавным инструментом находит все большее применение в производстве зубчатых колес. Ее производительность выше производительности зубошлифования. Эта обработка повышает качество поверхностного слоя зубьев, расширяет области применения закаленных колес крупных размеров (см. подразд. 3.6). Достигается 7—9-я степень точности и параметр шероховатости обработанной поверхности $Ra < 1,25$ мкм.

Методы обработки, станки, инструмент. Наиболее широко лезвийный твердосплавный инструмент применяют на зубофрезерных станках.

Червячные твердосплавные фрезы для чистовой обработки закаленных зубьев твердостью до HRC₆₃ изготавливает Московский инструментальный завод (табл. 5.21). Точность этих фрез достаточна для изготовления зубчатых колес 8-й степени точности на станках, имеющих достаточные жесткость и частоту вращения инструмента.

5.21. Основные размеры твердосплавных червячных фрез
($z_0=12$, $z_{01}=1$, $\alpha_0=20^\circ$)

Модуль m_0 , мм	Диаметр вершин зубьев d_{a0} , мм	Расчетный диаметр d_{m0} , мм	Угол наклона режущей кромки λ , °	Угол подъема витка γ_{m0}
3,5 4	130	121,95 120,80	—32	1°39' 1°54'
5 5,5 6 6,25 6,5 7	160	148,50 147,35 146,20 145,65 145,05 143,90	—33	1°56' 2°08' 2°21' 2°28' 2°34' 2°47'
8	170	151,60	—34	3°02'

Выбор инструментальных материалов. Для оснащения лезвийного твердосплавного инструмента для обработки зубчатых колес твердостью HRC₅₁—61 наиболее эффективны сплавы ВК10-ОМ, ВК10-М, ВК6-ОМ (ГОСТ 3882—74).

Червячными фрезами из быстрорежущих сталей P18, P9M4K8 и др. (ГОСТ 19265—73) повышенной производительности можно обрабатывать зубчатые колеса с твердостью зубьев HRC₄₂—43,5 [2, 14].

Обработка выполняется в пределах 6—8-й степени точности.

Область применения твердосплавных червячных фрез — зубообработка колес твердостью HRC₅₁—63 с $m \leq 8$ мм в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Отечественный промышленный опыт использования червячных твердосплавных фрез позволяет рекомендовать режимы резания, приведенные в табл. 5.22. Они приняты из условия достижения наибольшей длины обработанных зубьев до износа по задней грани $h_z = 0,10 \dots 0,25$ мм (для HRC₅₇—63 такой износ соответствует длине обработанных зубьев примерно 10 м без передвижки фрезы). Обработка производится без использования СОЖ.

5.22. Режимы обработки твердосплавными червячными фрезами

Обработка	Подача S_0 , мм/об, при модуле колеса, мм		Скорость резания v , м/мин, при твердости материала HRC ₅₀	
	от 3 до 5	св. 5 до 8	46—53	53—53
Черновая	1,5—2,5	3,0—5,0	60—70	30—40
Чистовая	0,6—1,2	1,0—1,5	70—80	40—50

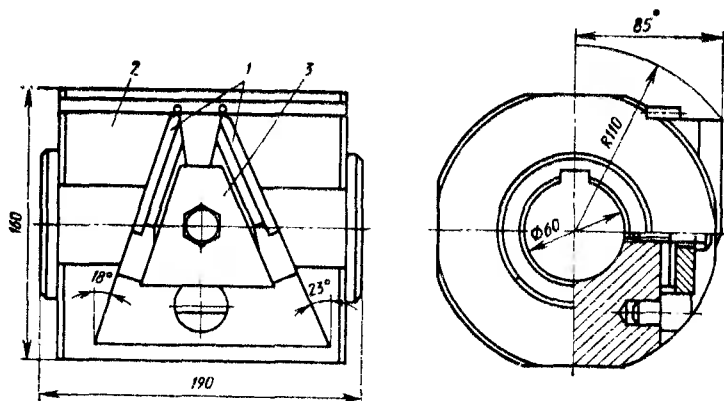


Рис. 5.24. Обкаточная двухрезцовая головка для отделочной обработки закаленных зубьев колеса с $m=10$ мм:

1 — твердосплавные резцы; 2 — корпус; 3 — прижимная планка

Припуск на чистовую обработку закаленных зубьев твердосплавным лезвийным инструментом определяется, как и припуск на зубошлифование, погрешности заготовки зубчатого колеса — см. табл. 3.14.

Толщина срезаемого при черновой обработке слоя для зубчатых колес твердостью HRC₅ 46—53 не более 0,4 мм, а для колес твердостью HRC₅ 57—63 — не более 0,2 мм. При чистовой обработке толщина срезаемого слоя составляет 0,1 мм. Последний рабочий ход желательно делать без движения подачи на глубину.

Заточка твердосплавных фрез с углом наклона режущей кромки $\lambda = 30^\circ$ может производиться на станках для заточки червячных фрез (см. табл. 4.17) или на приспособленных для этой цели шлифовальных станках другого назначения, например шлицешлифовальных. При заточке используют чашечные или тарельчатые алмазные круги на органической связке.

В отечественном машиностроении для чистовой обработки закаленных зубьев находит применение сборная двухрезцовая обкаточная головка. У обкаточной головки конструкции ЦНИИТМАШа (рис. 5.24) профиль резцов прямолинейный или выполнен по дуге окружности. Угол наклона режущей кромки $\lambda \approx -30^\circ$. Точный профиль резца определяется сечением червяка, находящегося в контакте с заготовкой в станочном зацеплении [17].

Режимы резания, указанные в табл. 5.22, применяют также и при использовании обкаточной резцовой головки. Стойкость такой головки примерно равна стойкости червячных фрез и составляет около 1,5 ч, что соответствует 10—15 м длины обработанных зубьев при припуске 0,5 мм на толщину зуба.

Обработка на станках повышенной жесткости и виброустойчивости при необходимой частоте вращения выполняется в пределах 8—9-й степени точности. В зависимости от подачи параметр шероховатости обработанной поверхности $Ra = 0,4 \dots 1,6$ мкм.

Резцы затачивают на заточном станке алмазным кругом, вынув их из корпуса головки.

Удельная стоимость инструмента конструкции ЦНИИТМАШ в несколько раз меньше удельной стоимости твердосплавных червячных фрез. Инструмент

наиболее эффективен при обработке зубчатых колес с $m \geq 6$ мм в среднесерийном производстве.

Применяют чистовое зубодолбление закаленных зубьев твердосплавным инструментом, в том числе колес с внутренними зубьями. Промышленный опыт эксплуатации долбяков описан в работе [17].

Московский инструментальный завод изготавливает твердосплавные долбяки с номинальным делительным диаметром 130 мм ($m_0 = 3,25$, $z_0 = 40$).

Зубонарезание под чистовую лезвийную обработку должно обеспечивать окончательное профилирование переходных поверхностей боковых сторон зуба и поверхностей впадин. Для этого применяют червячные фрезы с протуберанцами, по конструкции аналогичные фрезам, используемым при нарезании колес под зубошлифование.

5.3. Зубохонингование

До недавнего времени в крупносерийном и массовом производстве для снижения шероховатости и образования наклепанного верхнего слоя на рабочей поверхности зубьев, а также для удаления заусенцев и забоин применяли малоэффективные процессы окончательной обработки зубьев цилиндрических колес — обкатку с закаленными мастер-колесами, а также притирку чугунными зубчатыми притирами, что достаточно широко описано в технической литературе.

С появлением более совершенного процесса — зубохонингования — процессы обкатки и притирки применяют очень редко.

Зубохонингование осуществляется на станках без жесткой кинематической связи инструмента и заготовки и заключается в совместной обкатке заготовки 2 зубчатого колеса (рис. 5.25) и инструмента 1, выполненного из пластической массы в смеси с абразивным порошком в виде зубчатого колеса того же модуля, что и обрабатываемое колесо. При обкатке заготовка 2 и инструмент 1 совершают относительное осевое перемещение при небольшом и равномерном радиальном или окружном нагружении. Оси заготовки и инструмента устанавливают под некоторым межосевым углом Σ (углом скрещивания). На некоторых станках инструмент совершает колебательное движение вдоль оси.

Зубохонингованием достигаются: устранение заусенцев и повреждений поверхности зубьев, возникшие при нарезании зубчатых венцов, при термической обработке колес и их транспортировании; уменьшение шероховатости поверхности зубьев шевингованных и шлифованных колес, снижение уровня шума, повышение контактной прочности колес; увеличение производительности зубообработки благодаря повышению режимов предварительной обработки с последующим зубохонингованием.

При зубохонинговании возможно только уменьшение погрешностей, возникающих при предварительной обработке.

В настоящее время зубохонингование применяют для обработки цилиндрических зубчатых колес с $m = 2 \dots 6$ мм, диаметром $d = 30 \dots 500$ мм и шириной венца до 150 мм. При зубохонинговании зубчатых колес можно рекомендовать снимаемый припуск до 0,02 — 0,03 мм на сторону зуба. Время обработки заготовки колеса средних размеров со-

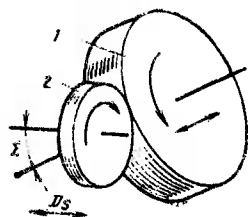


Рис. 5.25. Схема зубохонингования:

1 — хон; 2 — заготовка

ставляет 27—60 с. Процесс можно рекомендовать для внедрения в серийном и массовом производстве зубчатых колес 5—10-й степеней точности.

Зубохонинговальные станки. Основные характеристики зубохонинговальных станков для обработки цилиндрических зубчатых колес приведены в табл. 5.24. На станках фирмы «Фесслер» (Швейцария) применяется абразивный зубчатый инструмент внутреннего зацепления.

5.24. Технические характеристики зубохонинговальных станков

Изготовитель станка	Станок	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр хона, мм	Частота вращения ведущего звена, мин ⁻¹		Мощность главного привода, кВт	Масса станка, т
		Диаметр	Модуль	Ширина венца		хона	изделия		
Витебский станко-строительный завод им. Коминтерна (СССР)	5Б913 5А915	320	8	120	250	160—1000	—	—	3,4
		500	12	150	250	—	160—500	3,2	4,5
«Мичиган Тул» (США)	999-А	305	6	127	254	28—280	—	—	8
«Фесслер» (Швейцария)	D-250-С	250	—	500	280	20—500	—	3	2,5

Зубчатые хоны. Хон представляет собой инструмент, выполненный в виде зубчатого колеса из пластической массы с абразивным порошком.

В СССР освоен серийный выпуск зубчатых хонов, которые изготавливаются путем отливки по мастер-колесу. Литьевая композиция состоит из шлифовальных материалов: электрокорунда белого 25А, 24А или 23А зернистостью 25 с наполнителем — электрокорундом белым тех же марок зернистостью 6 и связок на жесткой и эластичной полимерных основах. В зависимости от требований к обработке зубчатых колес используют следующие связки для изготовления зубчатого венца хона: на жесткой основе — эпоксидно-ацетурную (ЭАД), акриловую (А); на эластичной основе — акрилополиуретановую (АП) и гидроксипуретановую (ЛЭА). Эпоксидная связка состоит из смеси эпоксидной смолы ЭД-20, пластификатора ДЭГ-1 и отвердителя полиэтиленполиамины.

Хоны, изготовленные литьем, на основе эпоксидной смолы, наиболее износостойки и прочны. Число заготовок колес, обрабатываемых одним хонем, составляет более 3000 шт. На втором месте по износостойкости хоны, изготовленные горячим прессованием из каучука СКН-26, но их прочность ниже первых. Число обработанных ими заготовок колес не превышает 2000 шт.

Режимы работы. Радиальная или окружная нагрузка определяется различными условиями использования станка и назначением обработки, а также прочностью хонов. Исследованием процесса установлено, что при радиальном нагружении (в распор) вследствие симметричного распределения сил на зубья хона действуют большие нагрузки. А это обеспечивает интенсивный съем металла, более

эффективное уменьшение радиального биения, отклонений в направлении линии зуба, сокращение общего времени обработки и более эффективное удаление с поверхности зубьев различных повреждений — забоин, царапин, прижогов, заусенцев и т. д.

При зубошлифовании опасное нарушение структуры поверхности зубьев в связи с прижогами распространяется на глубину 0,03—0,05 мм. После термической обработки у зубчатых колес наблюдаются забоины размером 0,2—0,4 мм. Исправление таких дефектов за 30—60 с возможно только при хонинговании с большими нагрузками — радиальной 500—600 Н и окружной 15—30 Н.

При установившихся условиях зубохонингования целесообразны окружные скорости 5—10 м/с. При обработке высокоточных колес для уменьшения класса шероховатости поверхности целесообразно применять более высокие скорости (10—15 м/с). Таким образом, можно рекомендовать режимы зубохонингования для колес с $m \leq 12$ мм, приведенные в табл. 5.25.

5.25. Рекомендуемые режимы зубохонингования цилиндрических колес

Параметр	Степень точности по ГОСТ 1643—81		Параметр	Степень точности по ГОСТ 1643—81	
	5—6-я	7—8-я		5—6-я	7—8-я
Окружная скорость, м/с	10—15	5—10	Продольная подача, мм/мин	300—600	300—600
Нагрузка: радиальная	200—250	400—500	Число двойных рабочих ходов на одно колесо	10	2
окружная	10—15	20—30			

Смазочно-охлаждающая жидкость. Наиболее эффективной смазочно-охлаждающей жидкостью при зубохонинговании является керосин. Разработаны и исследованы СОЖ, по эффективности не уступающие керосину и менее агрессивные. Лучшие результаты достигнуты при использовании СОЖ № 7, в которой основой является очищенная фракция из сернистой нефти с температурой вспышки 270—350 °С, гидрированная или адсорбированной очистки с температурой вспышки в открытом тигле не ниже 125 °С. В нее входит специально подобранная композиция присадок следующего состава, %:

Фракции из сернистой нефти	93,0—94,0
Дипроксин	2±0,1
Хлорпарафин (хлора 40%)	1±0,1
Кислота аленовая	2±0,15
Дифениламин	0,25±0,05
Спирты высокомолекулярные из неомыляемых при производстве синтетических жирных кислот	1±0,1
Ионол	0,1±0,01

При исследовании установлено, что поверхностно-активные вещества, содержащие серу, хлор и другие компоненты, при оптимальной концентрации способствуют образованию прочных пленок СОЖ, которые осуществляют охлаждение и смазывание.

5.4. Подбор комплектов зубчатых колес

Для понижения шума, возникающего при работе зубчатой передачи, и повышения ее нагрузочной способности зубчатые колеса подбирают в парные комплекты. Подбор колес производится одновременно по двум признакам: 1) уровню и характеру шума; 2) пятну контакта рабочих поверхностей сопрягаемых зубьев. По уровню шума зубчатую пару обычно подбирают на заводах на слух или с помощью специальных приборов; уровень шума пары колес проверяют на специальных контрольно-шумовых станках и сравнивают его с уровнем шума, издаваемого образцовой парой. Технические характеристики контрольно-шумовых станков приведены в табл. 5.26.

5.26. Технические характеристики контрольно-шумовых станков

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры контролируемых колес, мм		Масса колеса, кг	Частота вращения ведущего шкива, мин ⁻¹
		Диаметр	Длина		
Клинский станкостроительный завод	57A93	320	—	—	30—3000
	57A95	500	—	—	30—3000
«Нейшнл Броч» (США)	GSC	250	275	—	500—1600
	GSCL	450	350	—	750—2300
«Хурт» (ФРГ)	ZP 320RB	320	400	25	250—3000

Примечание. Масса станка 57A93 1,63 т, станка 57A95 — 2,1 т.

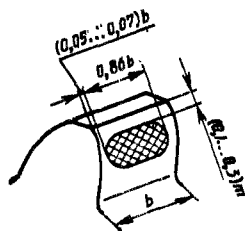
Снижение уровня шума зубчатых передач может быть достигнуто повышением точности обработки зубчатых колес, улучшением сборки передачи и приданием зубьям более совершенных форм путем профильной или продольной их модификации и другими методами, применяемыми для компенсации погрешностей изготовления и деформаций зубьев под нагрузкой.

Экспериментальные данные об эффективности действия отдельных мероприятий по снижению шума коробок скоростей и подач станков свидетельствуют о следующем. Модификация поверхности зуба и подбор пары зубьев по шуму снижают уровень шума на 4—5 дБ, притирка зубьев, зубохонингование и зубошвингование — на 3—4 дБ, обкатка колес — на 2—3 дБ.

По форме пятна контакта зубчатые пары подбирают для правильного зацепления зубчатых колес, чем достигаются плавность их работы и долговечность. Путем продольной и профильной модификации при обработке зубьев добиваются пятна контакта, имеющего эллипсообразную форму (рис. 5.26), с отрывом пятна от концов зубьев и их вершин.

Подбор по уровню шума и размерам пятна контакта осуществляют в следующем порядке. На контрольно-шумовой или контрольно-обкатной станок или обкаточное приспособление устанавливают подбираемую зубчатую пару. Зубья ведущего колеса окрашивают лазурью или свинцовым суриком и паре сообщают

Рис. 5.26. Оптимальная форма пятна контакта зубьев цилиндрических колес



несколько оборотов при включенном тормозном устройстве на ведомом шпинделе. В результате этого зубья ведомого колеса окрашиваются в месте их контакта с зубьями ведущего колеса и образуется пятно контакта. Если полученная форма пятна контакта или уровень и характер шума не удовлетворяют требуемым, это колесо заменяют другим.

И так до тех пор, пока не будет подобрана пара, удовлетворяющая предъявляемым к ней требованиям. После этого пару маркируют одним знаком или связывают вместе и направляют на сборку или на следующую операцию по технологическому процессу.

В условиях крупносерийного и массового производства виброакустические методы остаются одним из современных и перспективных методов контроля качества изготовления машин и механизмов. Эти методы позволяют снизить уровень шума машин и механизмов до требуемого санитарными нормами, провести оперативный контроль в ходе эксплуатации машин, повысить ресурс машин.

Физической основой виброакустических методов контроля является связь вибрационного и акустического полей с динамическими процессами, происходящими при работе механизма, погрешностями изготовления деталей и его сборки. В СССР разработаны и используются анализаторы спектра, позволяющие производить синхронное измерение гармонических составляющих частот зубчатых колес.

5.5. Новые и специальные методы отделки зубчатых колес

Создание методов отделочной обработки зубьев направлено на повышение качества зубчатых колес и передач, а также производительности обработки.

Из новых методов зубообработки получили распространение зубошлифование профильными и червячными кругами из эльбора, зубохонингование охватывающим хонем, а также зуботочение закаленных зубчатых колес твердосплавным инструментом. В табл. 5.27 приведены основные технические характеристики станков, на которых выполняется обработка этими методами.

Обработка профильным эльборовым кругом (рис. 5.27) наиболее экономична в условиях крупносерийного и массового производства, так как для каждого конкретного колеса требуется шлифовальный круг определенного профиля.

Шлифовальные эльборовые круги представляют собой стальной корпус с точно отшлифованным базовым профилем, на который гальваническим способом нанесено однослойное эльборовое покрытие с никелевой или иной связкой.

Шлифование эльборовым кругом не требует прерывания обработки для правки круга, гарантирует постоянные высокую точность профиля зуба зубчатого колеса и структуру его поверхности. Использование кругов малого диаметра (до 25 мм) дает возможность шлифовать колеса с внутренними зубьями и такой конфигурации, которые раньше шлифовать было невозможно.

Крепление стального корпуса круга на шпиндель станка с минимальными зазорами по отверстию и прижатием к торцу шпинделя обеспечивает высокую точность положения рабочей поверхности круга относительно оси его вращения.

Все более широкое применение находит правка абразивного обкаточного инструмента объемным алмазным инструментом или эльборовым инструментом, вы-

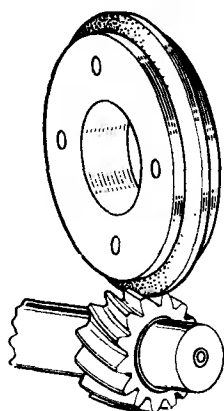


Рис. 5.27. Схема шлифования зубчатого колеса профильным эльборовым кругом

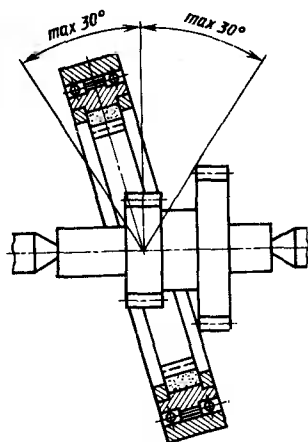


Рис. 5.28. Схема хонингования зубчатого колеса хонем с внутренними зубьями

5.27. Технические характеристики станков для новых методов обработки зубчатых колес

Изготовитель станка	Модель станка	Метод обработки	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм		Наибольший ход суппорта, мм	Инструмент		
			Диаметр	Модуль		Тип	Диаметр, мм	Частота вращения, мин ⁻¹
«Пфаутер-КАПП» (ФРГ)	PE 750G	Шлифование	750	—	700	Профильный шлифовальный эльборовый круг	—	—
	PE 1000G		1000	—	700		—	—
	PE 1503G		1500	—	600		—	—
	PE 2001/3000G		3000	—	1200		—	—
	PE 3001G		3000	—	1200		—	—
	PE 3001/4000G		4000	—	1200		—	—
«КАПП» (ФРГ)	VAG 482 CNC	Шлифование	500	12	520	Профильный эльборовый круг	25—150	600—24 000
	VAS 482 CNC		480	12	550		25—200	1250—25 000
«Пфаутер» (ФРГ)	PE 150	Зуботочение	150	3	150	Твердосплавная головка	—	—
«Либхер» (ФРГ)	LCS 152	Шлифование	150	5	—	Червячный шлифовальный эльборовый круг	140	10 000
«Фесслер» (Швейцария)	D-250-C	Зубохонингование	250	—	500	Охватывающий хон	300	20—500

полненным в виде зубчатого колеса с параметрами, соответствующими параметрам обрабатываемого колеса.

Так, фирма «Рейсхауер» (Швейцария) выпускает зубошлифовальный станок RZP, инструментом в котором является абразивный глобоидный червяк, правка которого производится зубчатым колесом с алмазным покрытием.

Таким образом выполняется правка зубчатых хонв зубохонинговальных станков, выпускаемых фирмой «Фесслер» (Швейцария).

Метод зубохонингования фирмы «Фесслер» (Швейцария) основан на применении зубчатого хона с внутренними зубьями (рис. 5.28), который прессуется по точному фрезерованному колесу и периодически правится на этом же зубохонинговальном станке алмазным правящим колесом. Достигается устранение забоин и уменьшение шероховатости поверхности зубьев. Толщина срезаемого слоя до 0,03—0,05 мм на толщину зуба, время зубохонингования и правка хона алмазным колесом около 1 мин.

Станок D-250 позволяет обрабатывать одновенцовые и многovenцовые зубчатые колеса диаметром до 250 мм при ширине зубчатого венца до 500 мм.

Работы ВНИИАЛМАЗа и ГАЗа показали, что зубчатые хоны, изготовленные гальваническим нанесением алмазного порошка АСВ 80/63 на точное металлическое основание, обеспечивают обработку до 10^4 колес с $m = 3,5$, $z = 25$ при толщине срезаемого слоя 0,02—0,03 мм на толщину зуба и устранении забоин глубиной 0,1 мм.

ЦНИИТМАШ и ГАЗ разработали и применяют метод зубоотделочной обработки плоским эльборовым кругом при нулевом угле станочного зацепления без кинематической связи заготовки и инструмента при обработке и делении. Обрабатываются прямозубые колеса $b \leq 35$ мм, обеспечиваются: отсутствие искажения эвольвентного профиля зубьев колеса благодаря отсутствию кромочного контакта инструмента и заготовки; модификация продольного профиля зубьев колеса с погрешностью 5 мкм; возможность обработки эвольвентных колес произвольного исходного контура универсальным инструментом; минимальное влияние износа инструмента на точность колеса. Время обработки одного зуба около 0,1 мин.

Глава 6

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС С ШЕВРОННЫМИ ЗУБЬЯМИ

По форме зубчатого венца шевронные колеса разделяют на открытые и закрытые. К первой группе относятся колеса с разнесенными венцами (рис. 6.1) и с широкой дорожкой между полушевронами (рис. 6.2, а). Осевое врезание фрезы следует производить от наружного торца колеса или заменять его радиальным врезанием. Нужно также рационально выбирать осевое положение фрезы относительно межосевой линии, для того чтобы повысить ее стойкость и обеспечить нарезание зубьев без отклонения профиля.

Закрытые венцы бывают двух типов: 1) с узкой канавкой (s — см. табл. 3.3), тогда обработка зубьев возможна долблением, строганием или пальцевой фрезой

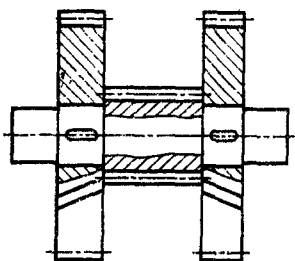


Рис. 6.1. Шевронное колесо с разнесенными венцами

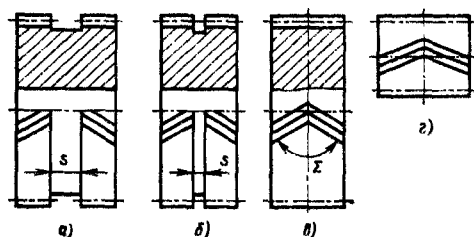


Рис. 6.2. Типы зубчатых венцов шевронных колес:

а — открытый; б — закрытый с узкой канавкой; в — сплошной; г — сплошной скругленный

(рис. 6.2, б); 2) со сплошным (неразрывным) шевроном, тогда обработка возможна долблением, или строганием (остроугольный шеврон, рис. 6.2, в), или пальцевой фрезой (скругленный шеврон, рис. 6.2, г).

Применяют цилиндрические зубчатые колеса со спиральным зубом, в частности те, назначение которых то же, что и шевронных. Зубообработку таких колес выполняют на станках типа зубофрезерных зуборезными головками, подобными применяемым для нарезания круговых зубьев конических колес.

Технологические процессы обработки. Технологический процесс обработки шевронных колес, технологические базы, технические требования к заготовке, припуски на отделку после термической обработки, а также варианты обработки заготовок описаны в подразд. 3.5. Порядок и точность зубообработки шевронных колес, межоперационные припуски на зубообработку, а также методы и точность установки колес на зубообрабатывающих станках описаны в подразд. 3.6, 3.7.

Отделку посадочных баз шевронных колес после термической обработки выполняют так же, как цилиндрических колес с косыми зубьями.

Отделку закаленных зубьев шевронных колес с канавкой, узкой для обычного зубошлифования, можно осуществлять фрезерованием твердосплавным обкаточным инструментом, непрерывным зубостроганием (см. параграф 5.2, 5.5), а также шлифованием профильным эльборовым кругом небольшого диаметра.

Обработка зубьев. Нарезание сплошных остроугольных шевронных зубьев (рис. 6.2, в) выполняют на зубодолбежных станках специальной конструкции одновременно двумя долбляками.

Технические характеристики станков приведены в табл. 6.1.

При обработке сплошных (неразрывных) остроугольных шевронных зубьев применяют косозубые долбляки с конусной передней поверхностью (рис. 6.3) или косозубые гребенки (рис. 6.4).

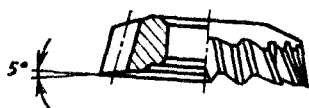


Рис. 6.3. Косозубый долбляк с конусной передней поверхностью

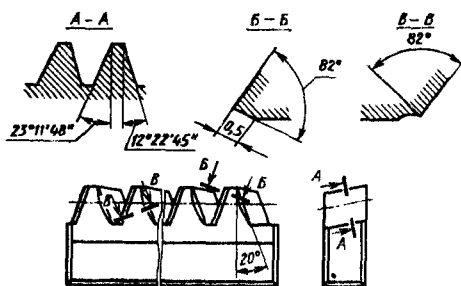


Рис. 6.4. Косозубая гребенка

6.1. Технические данные зубодолбежных станков для нарезания шевронных колес

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр долбяка, мм	Мощность главного привода, кВт	Масса станка, т
		Диаметр	Модуль шевронного колеса	Ширина шевронного колеса			
«Сейкс» (Англия)	10B	3000	20	610	—	12	35,8
	12B	6700	54	1530	—	26	100
	12D	6700	51	1500	—	35	108
«Лоренц» (Англия)	SHN 6/600	600	6	300	100	6	—
	SHN 12/1650	1650	12	400	150	7,5	—
	SHN 12	2000	12	—	168	7,5	—
	P 2500	2500	19	—	—	—	—

Скорость резания при строгании сплошных остроугольных шевронных зубьев на 20—30 % ниже значений, приведенных в табл. 4.2. Режимы долбления этих зубьев приведены в справочнике [14].

Нарезание сплошных скругленных шевронных зубьев выполняют модульными фрезами на специальных зубофрезерных станках с горизонтальной осью заготовки или на универсальных зубофрезерных станках, имеющих механизмы

6.2. Технические характеристики зубофрезерных станков для нарезания шевронных колес пальцевой фрезой

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Частота вращения фрезы, мин ⁻¹	Мощность главного привода, кВт	Масса станка, т
		Диаметр	Модуль	Ширина шевронного колеса			
Производственное объединение «Коломенский завод тяжелого станкостроения» (СССР)	KY-79	1600	75	5000	18—315	—	77
«Лоренц» (ФРГ)	K40/600	600	40	1000	—	15,5	9
	K50/1320	1320	60	1500	19—170	9	22,5
	K75/1500	1500	75	3000	15—140	13,5	36
«Шисс» (ФРГ)	PFW 14	1400	40	2750	—	—	16
	PFW 18	1800	50	4350	—	—	32
	PFW 22	2200	50	5900	—	—	50
	PFW 10S	1000	24	2750	—	—	12,5
	PFW 16S	1600	24	4350	—	—	25
«Сейра» (Япония)	PH 1500	1500	30	3000	—	40—160	35
	PH 1300	1300	30	2500	—	40—160	35

единичного деления и реверса доворота колеса в процессе продольного хода суппорта, а также сменную головку для установки пальцевых модульных фрез. Технические характеристики станков для нарезания шевронных колес пальцевой фрезой приведены в табл. 6.2.

Шевронные колеса с узкой канавкой обрабатывают также на долбежных и строгальных станках или на зубофрезерных станках пальцевой фрезой, как указано выше. При ширине канавки, большей указанной в табл. 3.3, можно применять косозубые долбяки с передней поверхностью, перпендикулярной к зубьям.

Шевронные колеса с открытым венцом или с разнесенными венцами обрабатывают любым из указанных в гл. 4 методом (предпочтительнее червячными фрезами).

При раздельном нарезании зубьев правого и левого полушеврона, особенно при относительно высокой их точности (6—7-й степени), важно обеспечить наименьшее рассогласование по максимальному отклонению накопленной погрешности шага зубьев обоих полушевров. Это достигается обработкой их зубьев на одном станке при одинаковом радиальном и угловом расположении заготовки колеса относительно делительной пары стола (рабочего шпинделя), и желательно использовать червячные фрезы одного направления.

Машинное время обработки зубьев шевронных колес на универсальных станках определяют как сумму времени обработки двух косозубых колес. При обработке зубьев на специальных зубодолбежных или зубострогальных станках машинное время равно времени обработки одного венца. При обработке пальцевыми фрезами расчет ведут по общей ширине венца.

Глава 7

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС С ВНУТРЕННИМИ ЗУБЬЯМИ

Колеса с внутренними зубьями классифицируют следующим образом: по конструкции — с односторонним валом (рис. 7.1, а) и насадные со ступицей (рис. 7.1, б); по числу венцов — одновенцовые (рис. 7.1, в) и многovenцовые (рис. 7.1, г) (у многovenцовых один или несколько венцов могут быть с внешними зубьями); по форме зуба — прямозубые и косозубые.

Конструктивные особенности колес с внутренними зубьями накладывают ограничения на методы их обработки. Колеса с закрытыми венцами в основном обра-

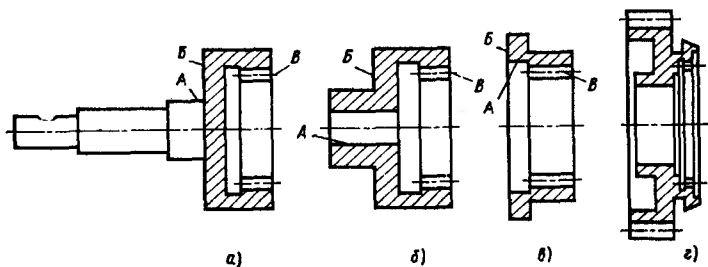


Рис. 7.1. Основные типы колес с внутренними зубьями

батывают на зубодолбежных станках, при этом минимальная ширина канавки для выхода долбяка должна соответствовать указанной в табл. 3.3.

Методы обработки колес с внутренними зубьями приведены в табл. 7.1.

Технологический процесс изготовления колес с внутренними зубьями такой же, как колес с внешними зубьями (см. гл. 3). Отличительной особенностью является обработка внутренней поверхности венца. Ниже изложены особенности технологического процесса, присущие обработке колес с внутренними зубьями.

Технологические базы при изготовлении колес с внутренними зубьями. При изготовлении многовенцовых колес (как правило, только один венец имеет внутренние зубья, точность которого обычно не выше точности венцов с внешними зубьями) технологические базы устанавливают исходя из параметров обработки основных венцов с внешними зубьями.

При изготовлении венцов с внутренними зубьями, выполненных за одно целое с валом (рис. 7.1, а), обработка заготовки обычно производится в центрах. При малом диаметре полости зубчатого венца во время обработки заготовка должна базироваться по ближайшей шейке *А* и по базовому торцу *Б*. При большом диаметре вала устанавливать заготовку приходится с помощью люнета. При изготовлении колес (за одно целое с валом), имеющих внутренние зубья из цементуемых или закаливаемых сталей, при отделке посадочных базовых поверхностей заготовку центрируют по зубчатому венцу *В* и вал поддерживают центром. Для этого применяют специальные патроны, аналогичные приведенным на рис. 3.20, но с кулачками, перемещаемыми от оси.

При крупносерийном производстве малых венцов с валом относительно невысокой точности (обычно валы с концевой зубчатой муфтой) их изготавливают составными: отдельно обрабатывают открытые венцы, которые затем приваривают к фланцу вала. В этом случае обработку зубьев выполняют протягиванием. После сварки составных частей заготовки производят только отделку посадочных поверхностей вала, для чего заготовку устанавливают по зубчатому венцу или поверхности, концентрично расположенной по отношению к венцу, а конец вала поддерживают центром.

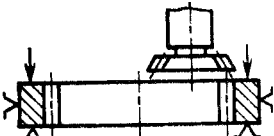
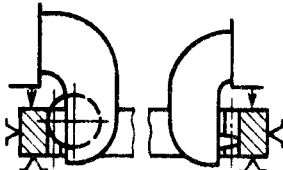
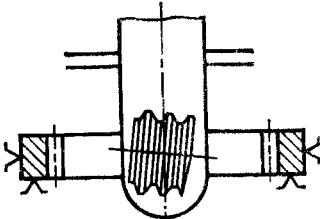
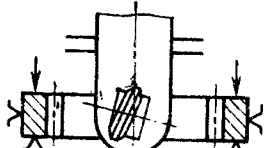
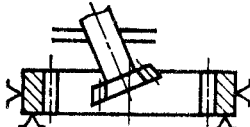
При зубообработке колес с полуоткрытым или закрытым венцом с внутренними зубьями и выступающей ступицей (рис. 7.1, б) в качестве технологических баз используют посадочное отверстие *А* и торец венца *Б*. При изготовлении таких колес из цементуемых или закаливаемых сталей отделку посадочных поверхностей после закалки осуществляют, центрируя заготовку колеса на станке по зубчатому венцу *В* с опорой на торец, противоположный базовому на зуборезной операции. Для этого оба торца венца обрабатывают с минимально возможным отклонением от параллельности.

При изготовлении открытых венцов с внутренними зубьями (рис. 7.1, в) основными технологическими базами при зубообработке являются посадочный пояс *А* и торец *Б*. Отделку посадочных поверхностей после термической обработки осуществляют, центрируя заготовку по зубчатому венцу *В* с опорой на торец венца, который выполняют параллельным базовому торцу *Б*.

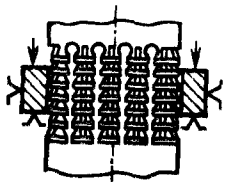
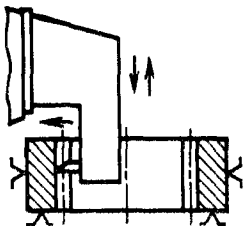
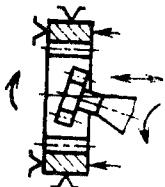
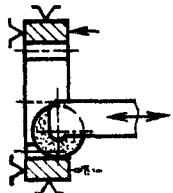
Точность обработки заготовок колес с внутренними зубьями должна соответствовать рекомендациям подразд. 3.4 и 3.5. Припуски на отделку рабочих поверхностей колеса после термической обработки при изготовлении венцов с внутренними зубьями из цементуемых и закаливаемых сталей должны быть в пределах, указанных в табл. 3.7.

При изготовлении колес, зубчатые венцы которых выполнены за одно целое с валом, обычно после чистовой обработки поверхности венца производят чисто-

7.1. Методы обработки колес с внутренними зубьями

Метод обработки	Эскиз	Станки, инструмент
Долбление		Зубодолбежные универсальные станки, зуборезные долбяки всех типов
Фрезерование	 <p data-bbox="359 678 706 789">а) — дисковая модульная фреза; б) — пальцевая модульная фреза</p>	Зубофрезерные станки с накладной головкой
Фрезерование		Зубофрезерные станки с накладной головкой, червячная фреза
Обработка обкаточным инструментом		Зубофрезерные станки, одно-витковая фреза-улитка
Зуботочение		Станки для зуботочения, многозаходная обкаточная головка

Продолжение табл. 7.1

Метод обработки	Эскиз	Станки, инструмент
Протягивание		Зубопротяжной станок, протяжка
Строгание		Зубострогальный станок, зуборезная гребенка для обработки внутренних зубьев
Шевингование		Зубошевинговальный станок, шевер
Шлифование		Зубошлифовальный станок, тарельчатый шлифовальный круг, профильный шлифовальный круг

вую обработку посадочных поверхностей вала и базового торца венца, для чего заготовку устанавливают относительно поверхности вершин зубчатого венца и поддерживают центром.

Обработка заготовок колес с внутренними зубьями и открытыми венцами выполняется в соответствии с рекомендациями параграфа 3.5. При обработке заготовок учитывают специфику назначения технологических баз для зубообработки, указанную выше. Метод нарезания внутренних зубьев (см. табл. 7.1) выбирают с учетом производительности и себестоимости обработки (см. подразд. 3.6). При единичном и мелкосерийном производстве прямозубых колес с $H\text{B} \leq 280$

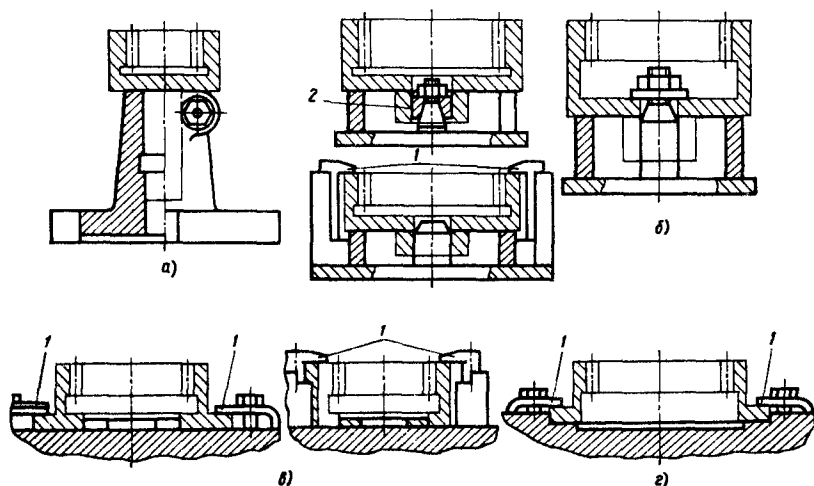


Рис. 7.2. Схемы установки заготовок колес с внутренними зубьями на зубообрабатывающих станках:

а — колесо с валом; *б* — колесо со ступицей; *в* — венцовое колесо с базированием по внутреннему пояску; *г* — венцовое колесо с базированием по фланцу; *1* — зажимы планочные; *2* — цанговый зажим

рационально использовать зубодолбление. При обработке косых зубьев рационально использование обкаточного инструмента.

Точность нарезания зубчатого венца на промежуточных операциях зубообработки принимают такой же, как для колес с внешними зубьями (см. подразд. 3.6).

Припуски на промежуточную зубообработку венцов внутреннего зацепления рекомендуется принимать по табл. 3.14, точность зубообрабатывающих станков и зуборезного инструмента для обработки внутренних зубьев должна соответствовать указанной в табл. 3.13.

На зубообрабатывающих станках заготовки колес с внутренними зубьями устанавливают соответственно рис. 7.2. Установочные приспособления аналогичны указанным в подразд. 3.7. Закрепляют заготовку только за нижнюю часть или за выступающие бурты (свободное пространство зубчатого венца). Крупные колеса диаметром более 800 мм в мелкосерийном производстве устанавливают на станок без центрирования в приспособлении, точность центрирования определяют путем проверки радиального биения базовых поверхностей. Точность установочных приспособлений и непосредственной установки заготовок колес на зубообрабатывающих станках должна соответствовать рекомендациям подразд. 3.7. Отделку базовых посадочных поверхностей колес с внутренними зубьями после термической обработки выполняют так, как указано для колес с внешними зубьями в подразд. 3.9.

Обработка зубьев. Внутренние зубья нарезают зубодолблением на станках всех моделей (см. табл. 4.24), фрезерованием специально спрофилированными дисковыми и пальцевыми фрезами на зубофрезерных станках, оснащенных специальными головками (см. табл. 7.2), а отделку выполняют шлифованием профильными кругами. Кроме того, для обработки внутренних зубьев применяют методы, которые характерны только для этого вида колес, например обработку зуботочением на зубофрезерных станках обкаточными резцами, обработку червячными фреза-

**7.2. Основные технические характеристики накладных головок
к зубофрезерным станкам для нарезания колес внутреннего зацепления**

Модель станка	Наибольший диаметр устанавливаемых колес, мм	Наименьший диаметр нарезаемых внутренних зубьев, мм		Наибольшие размеры нарезаемых колес, мм						Частота вращения инструмента, мин ⁻¹	
				Ширина венца		Модуль					
		ПФ	ДФ, ФУ	ПФ	ДФ, ФУ	ПФ	ДФ	ФУ	ПФ	ДФ, ФУ	
5А342П	2000	700	750	350	300	25	16	8	48—600	8—100	
5В343П	3200	1000	1300	400	—	45	20	16	40—240	10—60	
5В345П	5000	1000	1300	350	300	45	20	26	40—240	10—60	
5В348	8000	1000	1300	400	300	45	20	26	40—240	10—60	

Обозначения: ПФ—пальцевая фреза; ДФ—дисковая фреза; ФУ—фреза-улитка.

ми с укороченными профилирующими кромками (рис. 7.3), протягивание цилиндрическими протяжками, зубострогание специальными резцами, а также зубошлифование и шевингование специально спроектированными шеверами.

Основным методом нарезания внутренних зубьев колес является зубодолбление на универсальных станках. От нарезания внешних зубьев оно в основном отличается совпадением направления вращения колеса и долбяка, а также направлением отвода инструмента при обратном движении шпинделя. При обработке косых зубьев направления зубьев долбяка и заготовки колеса совпадают.

При нарезании внутренних зубьев долбяком проверяются по ГОСТ 19274—73 условия отсутствия интерференции в передаче $\rho_{12} \geq \rho_{p2}$.

Зубья открытых и полуоткрытых венцов колес обычно нарезают дисковыми долбяками; при обработке зубьев закрытых венцов колес применяют чашечные и хвостовые долбяки (см. подразд. 4.3).

Трение между задней поверхностью зуба долбяка и поверхностью зуба колеса при обратном движении долбяка устраняют увеличением угла станочного зацепления (применением долбяка с большими z_0 и x_0), «косым отводом» долбяка (см. табл. 4.30), увеличением числа рабочих ходов зубодолбления, увеличением расстояния, на которое отводится долбяк при обратном ходе Δa_0 .

Режимы обработки внутренних зубьев указаны в табл. 4.26—4.28. Машинное время обработки определяют так же, как при обработке внешних зубьев.

Нарезание внутренних зубьев модульными фрезами применяют при обработке крупномодульных колес большого диаметра на универсальных зубофрезерных станках, имеющих механизм единичного деления и сменную фрезерную головку, устанавливаемую на каретке фрезерного суппорта.

Наладку станка производят так же, как при обработке колес с внешними зубьями (см. подразд. 4.4). Для нарезания внутренних зубьев применяют специальные модульные фрезы (дисковые и пальцевые) с выпуклым профилем, воспроизводящие профиль впадин обрабатываемого колеса.

Рекомендуется принимать режимы резания по табл. 4.34 и 4.35, но уменьшая подачу на 20—40 % в зависимости от жесткости фрезерной головки.

Обработка внутренних зубьев обкаточным инструментом на специальных или универсальных зубофрезерных станках находит все более широкое применение. Профиль зубьев обкаточного инструмента зависит от модуля m , числа зубьев z , коэффициента смещения x и угла наклона зубьев β колеса.

7.3. Технические характеристики станков для зуботочения внутренних зубьев

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры нарезаемых колес, мм			Масса станка, т
		Диаметр внутренних зубьев	Модуль	Ширина венца	
«Пфаутер» (ФРГ)	P 750 WS	440	8	125	—
	P 1503 WS	1500	12	200	—
«Либхер» (ФРГ)	L 400 JS	400	6	300	9,5
	L 652 JS	660	8	500	11,2
	L 902 JS	710	10	500	11,5

ренных зубьев относительно других поверхностей заготовки (зубчатые и шлицевые втулки), обработка зубьев может производиться протягиванием на горизонтально-протяжных станках. Зубчатая протяжка имеет центрирующую заходную часть, базирующую заготовку в процессе обработки. Число рабочих ходов и протяжек в комплекте определяется модулем и материалом колеса.

Серия зубострогальных станков фирмы «МААГ» (Швейцария) (см. табл. 4.20) приспособлена для обработки внутренних зубьев круглыми долбяками или специальными резцами. Применяются приспособления для обработки прямых внутренних зубьев круглым долбяком, косых внутренних зубьев «точечным» методом и зубьев одним фасонным резцом.

Для шевингования внутренних зубьев при изготовлении колес относительно большого диаметра выпускают модификации основных моделей зубошевинговальных станков или приспособления к ним, обеспечивающие консольное крепление заготовки и шевера.

При шевинговании внутренних зубьев проверяются условия отсутствия интерференции в передаче $\rho_{12} \geq \rho_{p2}$ и достаточного зазора во впадинах зубьев колеса $c_0 \geq (0,1 \dots 0,2)m$. При наличии интерференции применяют специальные шевры.

Режимы шевингования указаны в табл. 5.3 и 5.4.

Внутренние зубья открытых венцов колес шлифуют на специальных зубошлифовальных станках методом копирования (как правило, прямозубые колеса), инструмент — профильный круг. Использование универсальных станков возможно только при наличии сменной шлифовальной головки с выносным шпинделем (см. табл. 5.10); диаметр шлифовального круга должен быть не более 0,5—0,7 внутреннего диаметра шлифуемых зубьев.

Для шлифования внутренних зубьев методом обката фирма «МААГ» выпускает станок JHSS-90. Принцип работы станка тот же, что станков для шлифования колес с внешними зубьями, выпускаемых этой фирмой, но он имеет только один тарель-

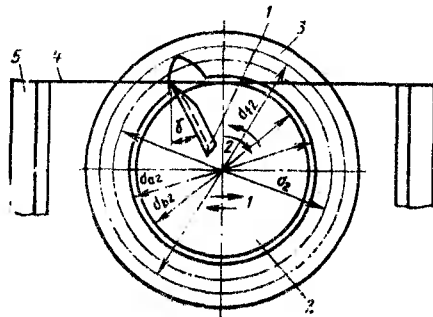


Рис. 7.6. Схема профилирования внутренних зубьев на зубошлифовальном станке фирмы «МААГ» (Швейцария):

1 — шлифовальный круг; 2 — обкаточный барабан; 3 — обрабатываемый венец; 4 — ленты; 5 — стойки

чатый шлифовальный круг (рис. 7.6). Поэтому обработку заготовок колес с внутренними зубьями выполняют за два отдельных установа заготовки. Особенностью наладки таких станков является установка оси шлифовального шпинделя под углом γ . При $\gamma = \alpha_{\text{ш}} - \alpha$, где $\alpha_{\text{ш}} = \text{arctg} 2\rho_{\text{ш}}/d_b$, исключается срезание головок зуба в крайних положениях колеса во время обката. При крайнем положении круга на расстоянии $\rho_{\text{ш}}$ от осевой плоскости колеса длина хода обката $L = \rho_{\text{ш}} - \rho_a$, где $\rho_a = 0,5 \sqrt{d_a^2 - d_b^2}$.

В остальном шлифование внутренних зубьев, включая режимы обработки, производится так же, как внешних зубьев (см. подразд. 5.2).

Отличительной чертой изготовления шестерен, зацепляющихся с колесами с внутренними зубьями, является профилирование их переходных поверхностей. Координата нижней точки активного профиля зубьев шестерни по зацеплению с внутренними зубьями сопряженного колеса передачи определяется по формуле $\rho_{p1} = 0,5 \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} - a_w \sin \alpha_{wt}$.

Применяют также обработку внутренних зубьев многолезцовыми головками (см. подразд. 4.5).

Глава 8

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ РЕЕК

Технологическая характеристика реек. В промышленности наибольшее распространение получили зубчатые рейки из термоулучшенных сталей 8—9-й степени точности (ГОСТ 10242—81) с $m \leq 30$ мм и длиной до нескольких метров, а также закаливаемые и цементуемые рейки 5—6-й степени точности с $m = 2 \dots 5$ мм длиной до 1000 мм.

Технологическими базовыми поверхностями реек являются плоскость, параллельная делительной образующей и противоположная плоскости головок зубьев, и плоскость, перпендикулярная делительной образующей рейки.

Технологический процесс изготовления. Предварительную обработку базовых поверхностей выполняют обычно на фрезерных станках, а окончательную — на плоскошлифовальных. Незакаливаемые рейки 8—9-й степени точности обрабатывают в следующей последовательности: обработка базовых и противоположных поверхностей; зубообработка; фрезерование торцов; предварительное сверление отверстий под штифты и болты; цековка отверстий под штифты и болты; удаление заусенцев после сверления; обработка фасок на зубьях, шлифование базовых и противоположных плоскостей, зачистка заусенцев на зубьях и, в случае необходимости, правка рейки.

Последовательность технологического процесса изготовления закаливаемых реек 5—6-й степени точности следующая: черновая обработка заготовок; слесарная обработка; термическая обработка; обработка базовых поверхностей под шлифование, а остальных — окончательная; нарезание зубьев под шлифование; фрезерование неполных зубьев; слесарная обработка; цементация; обработка отверстий; снятие цементованного слоя согласно чертежу; слесарная обработка; закалка; обдирочное шлифование базовых поверхностей; термическая стабилизация; полуступенчатое шлифование базовых поверхностей; полуступенчатое шлифование зубьев.

ев; термическая стабилизация; чистовое шлифование базовых поверхностей; чистовое шлифование зубьев.

Зубонарезание производят на специальных или модернизированных зубодолбежных станках, припуск на зубошлифование 0,2—0,5 мм на сторону. Получистовое шлифование зубьев с припуском 0,05—0,10 мм на сторону выполняют на специальных зубошлифовальных станках с обильной подачей СОЖ. Параметр шероховатости поверхности $Ra = 1,25$ мкм, подача 0,03—0,04 мм на сторону на двойной ход при черновых рабочих ходах, 0,015—0,020 мм при получистовых рабочих ходах, 0,005—0,10 мм при чистовых рабочих ходах (1—2 чистовых рабочих хода). Чистовое шлифование базовых поверхностей производят на плоскошлифовальных станках высокой точности, достигается отклонение от плоскостности и взаимного положения базовых поверхностей не более 0,01 мм на длине заготовки и параметр шероховатости $Ra \leq 0,63$ мкм. Перед шлифованием выполняют тщательную статическую балансировку и правку круга. Применяют СОЖ с синтетическими добавками, уменьшающими прижоги и коробление заготовки.

Чистовое шлифование зубьев осуществляют на специальных станках класса В и А (см. табл. 3.13). Заготовку крепят без пережимов, отклонение от прилегания заготовки к столу не более 0,01 мм. Шлифование производят с обильной подачей СОЖ, режимы шлифования те же, что при получистовом зубошлифовании.

Обработка зубьев реек. Зубья реек нарезают на станках, у которых рабочий стол с заготовкой совершает прямолинейное поступательное перемещение. Технические характеристики станков для обработки зубьев реек приведены в табл. 8.1.

8.1. Технические характеристики станков для обработки зубчатых реек

Изготовитель станка	Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых реек, мм			Тип инструмента
		Длина	Модуль	Ширина	
Производственное объединение «Коломенский завод тяжелого станкостроения» (СССР)	5412	1500	16	200	Дисковая фреза
	5413	2500	24	350	
Корсунь-Шевченковский стан.-костроительный завод им. Б. Хмельницкого (СССР)	КН-28Р	600	3	120	Долбяк зуборезный
Московский завод шлифовальных станков (СССР)	МШ-245	800	8	300	Шлифовальный круг
«Сейкс» (Англия)	10В/1	915	6,5	63,5	Долбяк зуборезный
«Кольб» (ФРГ)	ZS/Z	1000	8	450	Шлифовальный круг

В качестве инструмента при нарезании реек используют стандартные зуборезные долбяки, а также дисковые фрезы. Для нарезания косозубых реек зубодолбежные станки оснащают винтовыми направляющими, поставляемыми по особому заказу.

Зубофрезерование реек производят как отдельными дисковыми фрезами, так и набором фрез, установленных с шагом, соответствующим шагу нарезаемых зубьев рейки.

Зубья рейки шлифуют на специальных станках коническим шлифовальным кругом.

Закругление торцов зубьев и снятие на них фасок выполняют на модифицированных для этой цели станках.

Глава 9

ДОПУСКИ И КОНТРОЛЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

9.1. Нормирование точности цилиндрических зубчатых колес и передач

Допуски для эвольвентных зубчатых колес и передач с модулем $m \geq 1$ мм указаны в ГОСТ 1643—81. Он распространяется на зубчатые колеса с исходным контуром по ГОСТ 13755—81, в котором даны отклонения и допуски для десяти степеней точности: 3—12-й.

Понятие «точное колесо» подразумевает высокую точность изготовления тех элементов, которые являются наиболее важными для данных условий эксплуатации колеса. Исходя из необходимости иметь передачи с определенными эксплуатационными признаками в отношении точности, в стандарте установлены три вида независимых норм: кинематической точности; плавности работы; контакта зубьев зубчатых колес в передаче. Эти виды норм можно для зубчатых колес и передач назначать исходя из разных степеней точности (комбинировать), что позволяет выделить требования к точности, учитывая характерный признак данных условий эксплуатации и способ обработки (рис. 9.1).

На комбинирование норм введены определенные ограничения. Нормы плавности работы колеса могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее степени кинематической точности; нормы контакта зубьев могут быть назначены по любым степеням, более точным, чем нормы плавности работы зубчатых колес и передач, а также по степени не более чем на одну грубее, чем по нормам плавности колес и передач.

Боковые зазоры в зубчатой передаче определяются в основном толщиной зубьев колеса и отклонением межосевого расстояния в корпусе. Для разных условий эксплуатации требуются различные боковые зазоры независимо от точности зацепления. Исходя из этого, в ГОСТ 1643—81 предусмотрено шесть видов сопряжений (шесть рядов точности), определяющих наименьший (гарантированный) боковой зазор между зубьями. Принятые в стандарте сопряжения обеспечивают то, что при любом угловом положении колес боковой зазор между зубьями будет не меньше гарантированного значения. В стандарте приняты следующие виды сопряжений для передач (наименования видов сопряжений в стандарте не приведены): Н — с нулевым гарантированным зазором; Е — с особо малым; D — с малым; С — с уменьшенным; В — с нормальным; А — с увеличенным

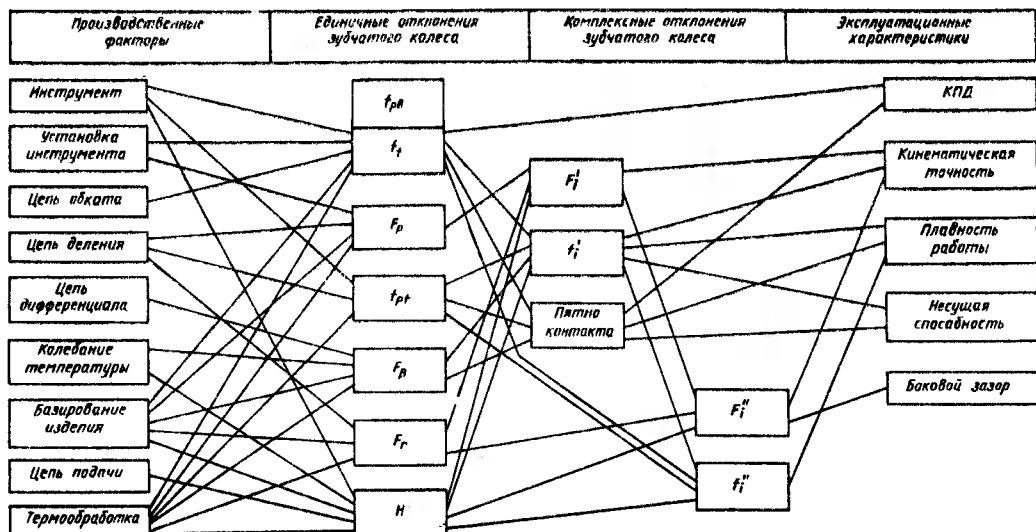


Рис. 9.1. Взаимосвязь производственных факторов и параметров точности зубчатых колес и их влияние на эксплуатационные характеристики передач; H — положение исходного контура

боковым зазором. В большинстве случаев применяют передачи с нормальным боковым зазором B .

В ГОСТ 1643—81 установлены также восемь видов допуска на дополнительное смещение исходного контура T_H и заменяющие его параметры, которые определяют допуск на боковой зазор T_j .

Видам сопряжений соответствуют виды допуска на боковой зазор и класс отклонений межосевого расстояния:

Вид сопряжений	H	E	D	C	B	A	—	—	—
Вид допуска бокового зазора	h	e	d	c	b	a	z	y	x
Класс отклонений межосевого расстояния	II	II	III	IV	V	VI	—	—	—

Допускается изменять соответствие между видом сопряжения, видом допуска бокового зазора и классом отклонения межосевого расстояния.

Требования к точности колес и передачи и к боковому зазору обозначаются одной или тремя цифрами (при комбинировании норм разных степеней точности), например, 7 — С ГОСТ 1643—81 или 8 — 7 — 6 и одной или двумя буквами (при изменении допуска бокового зазора), например, B или Ba. В конце обозначения указывается ГОСТ 1643—81.

Показатели точности и значения отклонений различаются для прямозубых и широких косозубых колес (в том числе и шевронных). К прямозубым колесам отнесены также и узкие косозубые колеса, имеющие коэффициент ширины венца, меньший граничного значения номинального коэффициента осевого перекрытия e_r , для 3—8-й степеней точности:

Степени точности по нормам						
контакта	3	4	5	6	7	8
Граничные значения, e_f , не						
менее	1,25	1,25	1,5	2	2,5	3,0

Узкие косозубые колеса работают без осевого перекрытия (независимо от точности их изготовления) и обеспечивают передачу движения обкатыванием профилей в торцовом сечении. При ширине колеса (или полушестерона) более граничного значения движение от одного колеса к другому может происходить перекатыванием винтовых линий зубьев и точка контакта перемещается вдоль оси колеса, а также в торцовой плоскости. Торцовые профили колес могут быть несопряженными (передачи Новикова), что недопустимо для прямозубых колес. Поэтому в широких косозубых колесах погрешности шага зацепления и профиля не влияют на плавность зацепления, а отражаются лишь на высоте пятна контакта. На плавность работы оказывает влияние волнистость винтовой линии. Отклонение осевого шага вызывают уменьшение длины пятна контакта и не влияют на кинематическую точность.

Для контроля точности зубчатых колес и передач в разных условиях производства стандартом предусмотрен ряд комплексов контроля, содержащих комплексные и поэлементные показатели для каждой из трех норм точности и вида сопряжения (табл. 9.1). Необходимость большого числа вариантов контроля, из которых выбирают один для каждой нормы, объясняется тем, что следует считаться: с установившейся практикой контроля, точностью передач, размерами колес, объемом и условиями производства, а также наличием измерительных средств. В табл. 9.1 приведены все возможные варианты сочетания контролируемых параметров для широких, узких косозубых и прямозубых колес в зависимости от степеней точности их изготовления и диаметров зубчатых колес.

9.1. Комплексы контроля, предусмотренные в ГОСТ 1643—81 для цилиндрических зубчатых передач и колес

Комплексы	Нормируемые параметры	Обозначение	Степень точности колес и передач	Наибольшие размеры колеса, ^{а1} мм
<i>Нормы кинематической точности</i>				
I	Наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса	F'_{lr}	3—8	$d=6300$
II	Накопленная погрешность шага зубчатого колеса	F_{pr}	3—6	$d=4584$ $l=7200$
	Накопленная погрешность k шагов зубчатого колеса	F_{pkr}		
III	Накопленная погрешность шага зубчатого колеса	F_{pr}	7—8	$d=4584$
IV	Погрешность обката Радиальное биение зубчатого венца	F_{cr} F_{rr}	3—8	$d=6300$

Продолжение табл. 9.1

Комплексы	Нормируемые параметры	Обозначение	Степень точности колес и передач	Наибольшие размеры колеса, *1 мм
V	Колебание длины общей нормали Радиальное биение зубчатого венца	F_{ewr} F_{rr}	3—8	$d=1600$
VI	Колебание длины общей нормали Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса	F_{ewr} F''_{ir}	5—8	$d=1600$
VII	Погрешность обката Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса	F_{er} F''_{ir}	5—8	$d=1600$
VIII	Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса	F''_{ir}	9—12	$d=1600$
IX	Радиальное биение зубчатого венца	F_{rr}	7*2—12	$d=6300$
X	Наибольшая кинематическая погрешность передачи	F'_{i0r}	3—8	$d=6300$
<i>Нормы плавности работы*</i> ³				
I	Местная кинематическая погрешность зубчатого колеса	f'_{ir}	3—8	$d=6300$
II	Циклическая погрешность зубцовой частоты зубчатого колеса	f_{zr}	3—8	$d=6300$
III	Отклонение шага зацепления Погрешность профиля	f_{pbr} f_{fr}	3—8	$d=6300$
IV	Отклонение шага зацепления Отклонение шага	f_{pbr} f_{ptr}	3—8	$d=6300$
V	Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе	f''_{ir}	5—12	$d=1600$
VI	Местная кинематическая погрешность передачи	f'_{i0r}	3—8	$d=6300$
VII	Циклическая погрешность зубцовой частоты в передаче	f_{zz0r}	3—8	$d=6300$
VIII	Отклонение шага зацепления	f_{pbr}	9—12	$d=6300$
IX	Отклонение шага	f_{ptr}	9—12	$d=6300$
X	Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе	f''_{ir}	9—12	$d=6300$
XI	Циклическая погрешность зубчатого колеса	f_{zkr}	3—8	$d=6300$

Продолжение табл. 9.1

Комплексы	Нормируемые параметры	Обозначение	Степень точности колес и передач	Наибольшие размеры колеса, *1 мм
XII	Отклонение шага	f_{ptr}	7—8	$d=6300$
XIII	Циклическая погрешность зубцовой частоты в передаче	f_{zkr}	3—8	$d=6300$

Нормы контакта зубьев**

I	Отклонение направления зуба	$F_{\beta r}$	3—12	$b=1250$
II	Суммарная погрешность контактной линии	F_{kr}	3—12	$b=1250$
III	Отклонение осевых шагов по нормали Суммарная погрешность контактной линии	$F_{p\alpha nr}$ F_{kr}	3—9	$b=1250$
IV	Отклонение осевых шагов по нормали Отклонение шага зацепления	$F_{p\alpha nr}$ f_{pbr}	3—9	$b=1250$
V	Отклонение от параллельности осей	f_{xr}, f_{yr}	3—12	$b=1250$
VI	Суммарное пятно контакта	—	3—11	$b=1250$
VII	Мгновенное пятно контакта	—	3—11	$b=1250$

Нормы бокового зазора

I	Смещение исходного контура	E_{Hr} T_H	3—12	$d=6300$
II	Отклонение межосевого расстояния	f_{ar}	3—12	$a_w=4000$
III	Отклонение средней длины общей нормали	E_{Wmr} T_{Wm}	3—12	$d=1600$
IV	Отклонение длины общей нормали	E_{Wr} T_W	3—12	$d=1600$
V	Отклонение толщины зуба	E_{csr} T_c	3—12	$d=6300$

*1 d — делительный диаметр колес; b — ширина зубчатого венца или полушестерона; a_w — межосевое расстояние; l — длина дуги.

*2 7 и 8-я степени только при делительных диаметрах зубчатых колес свыше 1600 мм.

*3 Комплексы I—VIII для передач и колес с e_β , меньшими указанных в табл. 4 ГОСТ 1643—81; IX—XI — с любым e_β и XII—XIII — с e_β , большим или равным указанному в табл. 4 ГОСТ 1643—81.

*4 Комплексы I, II — для колес и передач с e_β , меньшим указанного в табл. 4 ГОСТ 1643—81, а для 9—12-й степеней — при любом e_β ; III—V — с e_β , большим или равным указанному в табл. 4 ГОСТ 1643—81, а для 9-й степени — при любом e_β ; V — для передач с нерегулируемым расположением осей.

Каждый установленный комплекс показателей точности, применяемый при приемке колес и передач, является равноправным. Однако комплексы неравноценны, и наиболее полную оценку эксплуатационных свойств и проверку каждой из трех норм осуществляет контроль первых из показателей, который является комплексным.

В ГОСТ 1643—81 дано указание, что требования к точности установлены для зубчатых колес, находящихся на рабочих осях.

На чертеже требования к точности колес допускается устанавливать относительно нерабочей оси (например, оси отверстия под вал), которая может не совпадать с рабочей осью.

Погрешности, вносимые при использовании в качестве измерительной базы поверхностей, имеющих отклонения формы и расположения относительно рабочей оси, должны быть учтены при установлении точности передачи или компенсированы введением уменьшенного производственного допуска (см. табл. 9.5).

Приведенные в стандарте ГОСТ 1643—81 степени точности зубчатых колес распространяются на передачи, применяемые во всех отраслях машиностроения. Ниже приведены степени точности колес, применяемых для машин в различных отраслях машиностроения.

Степени точности колес, применяемые в различных изделиях, приведены ниже:

Измерительные колеса	3—5
Редукторы турбин и турбомашин	3—6
Металлорежущие станки	3—7
Авиационные двигатели	4—7
Железнодорожный состав:	
пассажирский	5—7
товарный	6—8
Автомобили:	
легковые	5—8
грузовые	7—9
Тракторы	6—8
Редукторы общего назначения	6—8
Прокатные станы	6—9
Шахтные лебедки	8—10
Крановые механизмы	7—12
Сельскохозяйственные машины	8—12

9.2. Система и виды контроля цилиндрических зубчатых колес

При изготовлении зубчатых колес обычно применяют контроль трех видов: профилактический, производственный и приемочный (рис. 9.2).

Профилактический контроль проводят до начала зубообработки по всей системе: станок — инструмент — приспособление — заготовка.

Производственный контроль — это контроль производственного процесса и его результатов; он проводится на стадии изготовления продукции, т. е. зубообработки, и предусматривает воздействие на составляющие технологического процесса при обнаружении каких-либо отклонений в первом обрабатываемом изделии.

Приемочный контроль выполняют по окончании изготовления партии изделий, либо каждого изделия или же выборочно, через установленный интервал.

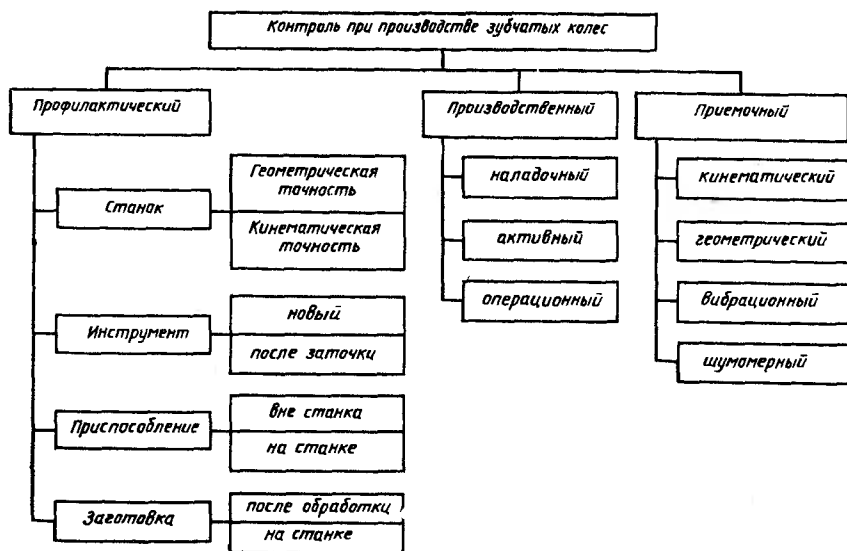


Рис. 9.2. Структурная схема контроля при производстве зубчатых колес

9.3. Приемочный контроль зубчатых колес в зависимости от назначения передачи

Комплексы показателей, проверяемых при приемочном контроле (см. табл. 9.1) устанавливают изготовители зубчатых колес в зависимости от применяемой технологии и принятой общей системы контроля [22]. При выборе комплексов контроля необходимо руководствоваться следующими соображениями.

1. Предпочтение следует отдавать функциональным показателям (F'_{ir} , f'_{ir} , пятно контакта), так как они ограничивают суммарную погрешность колеса и передачи, а не отклонениям отдельных элементов, которые, взаимодействуя, могут как увеличиваться, так и компенсироваться.

2. Наиболее полную оценку точности передачи можно получить при контроле ее кинематической погрешности с гармоническим анализом и суммарного пятна контакта. Во многих случаях целесообразно контролировать спектр вибрации или спектр шума по специально установленным нормам.

3. Полную оценку точности колеса можно получить при контроле в зацеплении с измерительным колесом по следующим показателям: кинематической погрешности колеса, циклической погрешности колеса, пятну контакта и боковому зазору.

4. Желательно использовать методы контроля, обеспечивающие непрерывное измерение контролируемого параметра по всему колесу. Например, измерение кинематической погрешности колеса предпочтительнее измерения накопленной погрешности шага, или измерение колебания измерительного межосевого расстояния за оборот колеса предпочтительнее измерения радиального биения зубчатого венца, или измерение погрешности обката предпочтительнее измерения колебания длины общей нормали.

5. При окончательном контроле зубчатого колеса для оценки его как элемента будущей передачи измерения необходимо выполнять от рабочей (монтажной) базы

колеса. Использование другой измерительной базы вносит дополнительные погрешности, связанные с отклонением расположения измерительной базы относительно рабочей или монтажной, что требует сокращения стандартного допуска. При производственном контроле за базу измерения целесообразно принимать ту, которая использовалась при обработке.

6. Более удобно пользоваться методами контроля, результаты которых не требуют пересчета, а могут непосредственно сравниваться с допустимыми стандартом отклонениями. Например, измерение накопленной погрешности шага с помощью прибора с угловым устройством точнее, чем определение накопленной погрешности по равномерности шага или контроль смещения исходного контура предпочтительнее контроля размера по роликам.

7. При налаженном производстве приемочный контроль может быть ограничен контролем колес по межосевому расстоянию при двухпрофильном зацеплении с измерительным колесом.

Основные технические требования к приборам для измерения цилиндрических зубчатых колес приведены в ГОСТ 5368—81. Рекомендации по применению взаимозаменяемых комплексов контроля для определенных степеней точности различных колес приведены в табл. 9.2.

9.2. Комплексы приемочного контроля цилиндрических зубчатых колес, применяемых в различных отраслях машиностроения

Нормы	Прямозубые и узкие косозубые колеса					Широкие косозубые колеса		
	измери- тельные, де- лительные	авиационные, авто- мобильные, станоч- ные, тяговые	тракторные, крано- вые, сельскохозяй- ственных машин			турбин- ные	редук- торные	прокатные подъемные
Степень точности								
3—5	4—6	6—8	6—9	9—11	3—5	6—8	8—10	
Кинемати- ческой точ- ности	F'_{ir}	F'_{ir}, F_{cr} (F_{pr})	F''_{ir} (F_{vwr}, F''_{ir})	F''_{ir}, F_{cr} (F_{vwr}, F''_{ir})	F_{rr}	F_{rr} и F_{cr} , (F_{pr})	F_{rr} и F_{cr} , (F_{pr})	F_{rr} и F_{cr}
Плавности работы	f'_{ir} , (f_{br} и f_{pr})	f_{pbr} и f_{jr}	l''_{ir}	f''_{ir} , (f_{pbr} и f_{ptr})	l_{ptr}	f_{zkr}	f_{zkr} (f_{ptr})	f_{ptr}
Контакта зубьев	$F_{\beta r}$	$F_{\beta r}$	Пятно контакта	Пятно контакта	Пятно контакта	F_{pxnr} , пятно контакта (F_{pxnr} и f_{pbr})	F_{pxnr} , f_{pbr} (пятно контакта)	Пятно контакта
Бокового зазора	E_{Hr} (E_{Mr})	E_{Hr} (E_{Wmr})	$E_{a''r}$ (E_{Wmr})	($E_{a''r}$) (E_{Wmr})	E_{Wmr}	E_{Hr}	E_{Hr} (E_{Wmr})	(E_{Wr}) (E_{Wmr})

Примечания: 1. В скобках указаны вторые варианты.
2. Обозначения — см. табл. 9.1.

9.4. Профилактический и производственный контроль

В налаженном производстве применяют профилактические методы контроля всех составляющих технологической системы — приспособление — инструмент — заготовка. Объекты профилактического контроля и его периодичность указаны в табл. 9.3. Средства измерения цилиндрических зубчатых колес, выпускаемые отечественными заводами и используемые в различных комплексах контроля, приведены в табл. 9.4.

В ГОСТ 5368—81, ГОСТ 9459—87, ГОСТ 11357—81, ГОСТ 10387—81 указаны типы, основные параметры и нормы точности зубоизмерительных приборов.

Контроль кинематической точности зубчатого колеса. Кинематическая точность зубчатого колеса может быть полностью определена в результате измерения кинематической погрешности или ее основной части — накопленной погрешности шага.

Кинематическая погрешность возникает в зубчатом колесе [20] в результате радиальных ошибок обработки — непостоянства радиального положения оси заготовки и инструмента, тангенциальных ошибок — погрешности обката зубообрабатывающего станка [8] и погрешностей производящей поверхности инструмента [4]. Это дает возможность выявлять кинематическую точность колеса раздельным контролем геометрической составляющей, нормируемой в стандарте радиальным биением зубчатого венца F_{rr} или колебанием измерительного межосевого расстояния за один оборот зубчатого колеса при комплексной двухпрофильной проверке F''_{ir} и тангенциальной составляющей, определяемой погрешностью обката F_{owr} [8] или же колебанием длины общей нормали в колесе F_{owr} [20] и местной кинематической погрешности f'_{ir} .

Поскольку контролем этих двух составляющих выявляется полная кинематическая точность колеса, стандарт предусматривает компенсацию одной погрешности за счет другой. Например, тщательная установка колеса на станке позволяет не полностью использовать допустимое отклонение геометрической составляющей и вместо этого допустить некоторое превышение погрешности, вызываемой станком. Суммарное влияние обеих погрешностей в этом случае не должно превышать допустимого значения или суммы отклонений, предусмотренных стандартом на эти параметры для колес данной степени точности, т. е.

$$F_{rr} + F_{owr} \leq F_r + F_{owr}$$

или

$$F''_{ir} - f'_{ir} + F_{owr} \leq F''_{ir} - f'_{ir} + F_{owr},$$

где в левой части неравенств стоят измеренные значения отклонений, а в правой — допустимые по стандарту.

Измерение кинематической погрешности. Приборы для измерения кинематической погрешности обычно различаются способом создания образцового движения.

Электронный прибор для измерения кинематической погрешности состоит из функциональных блоков (рис. 9.3). Кроме зубчатой пары,

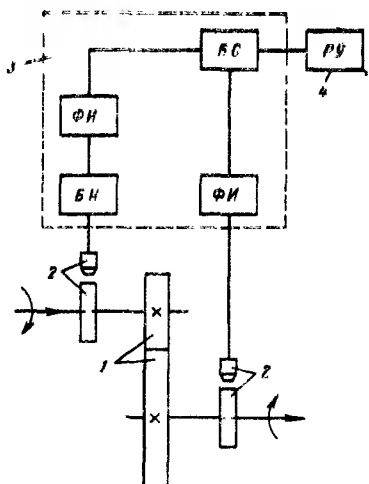


Рис. 9.3. Принципиальная схема прибора для измерения кинематической погрешности

9.3. Измеряемые параметры и периодичность профилактического контроля точности производства зубчатых колес при окончательной обработке фрезерованием, зубодолблением и шевингованием*

Объект измерений	Измеряемый параметр	Вид производства	Степень точности колеса	Периодичность контроля при			
				фрезерованием червячной фрезой	зубодолблением	шевинговании	
						двустороннем	одностороннем
Заготовка	Погрешности технологических и измерительных баз	Все виды	Все степени	Каждая заготовка	Каждая заготовка	—	—
				При автоматизированном точении — выборочно			
Станок	Погрешности кинематических цепей: обкатки	Все виды	3—6	1 раз в полгода	1 раз в полгода	—	—
			7—8	1 раз в год	1 раз в год	—	—
	движения подачи		3—6	1 раз в 6 мес	—	—	—
			7—8	1 раз в год	—	—	—
	Геометрические погрешности: биение шпинделя инструмента;	Все виды	3 и 4	При каждой смене инструмента 1 раз в 1 нед.			
			5 и 6				
		Все виды	3—6	1 раз в 6 мес			
			7—8				
		Единичное, мелкосерийное	3, 4	При каждой наладке			
	отклонение расположения осей заготовки и инструмента	Все виды	5, 6	1 раз в 1 мес.			
			7—9				
		Единичное, мелкосерийное	3—6	—	—	—	При каждой наладке
Инструмент	Погрешности инструмента: кинематические отклонения;	Все виды	3, 4	После каждой заточки	После каждой заточки	—	—
			5, 6	Выборочно	Выборочно	—	—

Продолжение табл. 9.3

Объект измерений	Измеряемый параметр	Вид производства	Степень точности колеса	Периодичность контроля при			
				фрезеровании червячной фрезой	зубодолблением	шевинговании	
Инструмент	заточки;						
	шаги зацепления, профиля, радиального биения	Единичное	3—8	После каждой заточки	После каждой заточки	—	—
		Мелкосерийное	3—8	—	—	После каждой заточки	После каждой заточки
		Массовое	3—8	—	—	То же	—
Установка заготовок и инструмента	Погрешность приспособления опорной плоскости и центрирующих поверхностей	Единичное, мелкосерийное	Все степени	При каждой установке			
		Крупносерийное, массовое		Периодически в зависимости от конструкции			
	Погрешность установки заготовки — биение базовых или контрольных поверхностей	Единичное, мелкосерийное	Все степени	Каждое колесо			
		Крупносерийное, массовое	Все степени	При самоцентрирующих приспособлениях — выборочно			
	Погрешность установки инструмента — биение контрольных поверхностей	Все виды	3—9	После каждой установки			
Оценка точности колес и передач и средств их производства	Комплексы по ГОСТ 1643—81	Все виды	Все степени	Периодически выборочно. Смещение исходного контура на каждом колесе			
	Общий уровень вибраций и составляющих спектра	Мелкосерийное	3—6	Каждая передача			
		Крупносерийное, массовое	4—8	Каждая пара или передача			

*1 Таблица заимствована из [20], там же имеются данные по измеряемым элементам и периодичности контроля при термической обработке и шлифовании (см. также 2-е изд. справочника).

9.4. Средства измерения цилиндрических зубчатых колес

Комплексы (см. табл. 9.1)	Измеряемый параметр и его обозначение	№ по поряд- ку	Наименование, тип (модель) прибора. Завод-изготовитель	Размеры измеряемых колес, мм
<i>Нормы кинематической точности</i>				
I, X	Кинематическая погрешность зубчатого колеса F'_{ir} и передачи F'_{i0r}	1	Прибор для измерения кинематической погрешности мелко-модульных зубчатых колес, тип БВ-5083, ЧЗИП	$d_{нар} = 5...200$; $d_{вн} = 60...160$; $m = 0,2...1$
		2	Прибор для измерения кинематической погрешности, тип БВ-5094, ЧЗИП	$d_{нар} = 20...320$; $d_{вн} = 60...250$; $m = 1...8$
II	Накопленная погрешность шага F_{pr} (приборы непосредственного измерения F_{pr})	3	Прибор для измерения элементов мелко-модульных зубчатых колес, тип БВ-5035, мод. 27400. «ИЗМЕРОН»	$d_{нар} = 5...160$; $m = 0,15...1,25$ $d_{вн} = 15...120$; $m = 0,3...1,25$
		4	Прибор для автоматизированного измерения шага мелко-модульных зубчатых колес, тип БВ-5079, мод. 27600 «ИЗМЕРОН»	$d = 5...120$; $m = 0,2...2$
		5	Прибор универсальный автоматический для поэлементного измерения зубчатых колес, мод. 27501 «ИЗМЕРОН»	$d_{нар} = 20...400$; $d_{вн} = 60...250$; $m = 0,2...18$
		6	Прибор для автоматического измерения шага зубчатых колес, тип. БВ-5090, мод. 27700. «ИЗМЕРОН»	$d = 20...320$; $m = 1...8$
		7	Оптическая делительная головка и отсчетная линейная головка	$d = 250$
III, IV, V, VI, VII, VIII, IX	Колебания измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса F''_{ir}	8	Межосемер (с самопишущим прибором и электроприводом), мод. МЦ-160. ЧЗИП	$d_{нар} = 5...200$; $m = 0,15...1$; $d_{вн} = 40...150$; $m = 0,3...1$; $a = 25...160$
		9	Межосемер без наладок и со сменными наладками, мод. МЦ-400У. ЧЗИП	$d_{нар} = 20...320$; $d_{вн} = 60...250$; $a = 50...320$
		10	Прибор для измерения крупногабаритных зубчатых колес, мод. БВ-5077. ЧЗИП	$d_{нар} = 320...1250$; $d_{вн} = 500...1000$; $m \leq 16$
		11	См. п. 3 БВ-5035-16*, БВ-5035-17*	—

Продолжение табл. 9.4

Комплексы (см. табл. 9.1)	Измеряемый параметр и его обозначение	№ по поряд- ку	Наименование, тип (модель) прибора. Завод-изготовитель	Размеры измеряемых колес, мм
III, IV, V, VI, VII, VIII, IX	Радиальное биение зубчатого венца F_{rr}	12	Биениемер полуавтоматический, тип 25004. «ИЗМЕРОН»	$d_{нар} = 5...200$; $m = 0,2...2$; $d_{вн} = 15...150$; $m = 0,3...2$
		13	Биениемер, тип Б-10М. ЧЗИП	$d_{нар} = 20...400$; $d_{вн} = 60...300$; $m = 1...10$
		14	См. п. 3 — БВ-5035-15*; см. п. 5 — 27501.19* (БВ-3183); см. п. 10 — БВ-5077.08*; п. 35 — ЗИП-1	—
	Колебание длины общей нормали $F_{\Sigma W_T}$	15	Микрометр для измерения зубчатых колес (нормалемеры) (ГОСТ 6507—78), тип. МЗ, КРИН	$W = 0...100$, 4 типоразмера через 25 мм
		16	Нормалемер, мод. БВ-5045. «ИЗМЕРОН»	$W = 0...120$; $m > 1$
		17	Нормалемер, мод. БВ-5046. «ИЗМЕРОН»	$W = 50...300$; $m > 2$
		18	Нормалемер, тип 22202. «ИЗМЕРОН» (по заказам)	$W = 150...700$; $m > 2,5$
		19	Нормалемер, тип 22002. «ИЗМЕРОН»	$W = 0...25$; $m > 0,3$
		20	Нормалемер, тип 22102. «ИЗМЕРОН»	$W = 25...50$; $m > 0,3$
		21	Нормалемер для колес внутреннего зацепления, мод. БВ-5081. «ИЗМЕРОН»	$W = 20...120$; $m > 3$
		22	Нормалемер для колес внутреннего зацепления, мод. БВ-5082. «ИЗМЕРОН»	$W = 50...300$; $m > 3$
		23	См. п. 3 — БВ-5035.13*; п. 5 — мод. 27501; п. 35 — ЗИП-1	—
	Погрешность обката $F_{\sigma T}$	24	Измерение накопленной погрешности шага измерительными средствами в комплексе II при исключении радиального биения; использование теодолита с автоколлиматором	—
		25	Кинематомер для измерения кинематической погрешности зубофрезерных станков, мод. КН7. ЧЗИП	Частота 0—7 Гц, диапазон измерения 0—200"

Продолжение табл. 9.4

Комплексы (см. табл. 9.1)	Измеряемый параметр и его обозначение	№ по поряд- ку	Наименование, тип (модель) прибора. Завод-изготовитель	Размеры измеряемых колес, мм
<i>Нормы плавности работы</i>				
I, II, XII, XIV	Циклическая погрешность зубчатого колеса f_{zkr} , зубчатой передачи f_{zkor} , циклическая погрешность зубцовой частоты зубчатого колеса f_{zkr} и передачи f_{zkor} , местная кинематическая погрешность зубчатого колеса f'_{kr} и передачи f'_{kor}	26	См. пп. 1 и 2	—
V, XI	Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе f'_{kr}	27	См. пп. 8—11	—
III, IV, IX	Отклонение шага зацепления f_{pkr}	28	Шагомер для измерения шага зацепления и разности шагов, тип БВ-5070. «ИЗМЕРОН»	$m=2...30$
		29	Шагомер для измерения шага зацепления и разности шагов, мод. 21704. «ИЗМЕРОН»	$m=10...50$
		30	Шагомер для измерения шага зацепления и разности любых шагов зубчатых колес внутреннего зацепления, мод. 21802. «ИЗМЕРОН»	$m=2...10$; $d=200$
		31	См. п. 3 — БВ-5035.12*; см. пп. 4—6, 35	—
III	Погрешность профиля f_{fr}	32	Эвольвентомер универсальный с устройством для измерения направления зуба, с электроприводом, с отсчетными и записывающими устройствами, тип БВ-5062, ЧЗИП (по заказам)	$d_{нар}=20...320$; $d_{вн}=60...250$; $m=1...12$
		33	Эвольвентомер универсальный с самопишущим прибором и электроприводом, мод. КЭУ-М. ЧЗИП	$d_{нар}=20...320$; $d_{вн}=60...250$
		34	Эвольвентомер с самопишущим прибором и электроприводом для мелко модульных колес, тип БВ-5057, ЧЗИП	$d_{нар}=5...120$; $m=0,2...1$; $d_{вн}=15...80$; $m=0,3...1$

Продолжение табл. 9.4

Комплексы (см. табл. 9.1)	Измеряемый параметр и его обозначение	№ по поряд- ку	Наименование, тип (модель) прибора. Завод-изготовитель	Размеры измеряемых колес, мм
IV, X, XIII	Отклонение шага f_{ptr}	35	Прибор для измерения зубчатых колес, тип ЗИП-1. ЧЗИП	$d=20...320$; $m=1...8$
		36	См. пп. 3—7, 28—30	
Нормы контакта				
VI, VII	Мгновенное и суммарное пятна контакта	37	Контрольно-обкатные станки, контрольные приспособления, в рабочем корпусе	—
II, III	Суммарная погрешность контактной линии $F_{\Sigma r}$	38	Прибор для измерения погрешности формы и расположения контактной линии и направления зуба прямозубых колес типа БВ-5055. ЧЗИП	$d=20...320$; $m=1...8$
I	Погрешность направления зуба $F_{\beta r}$	39	См. пп. 32, 38	—
Нормы бокового зазора				
I	Дополнительное смещение исходного контура E_{Hr} и допуск на дополнительное смещение исходного контура T_H	40	Зубомер смещения типов: 23500 23600 23700 23800, «ИЗМЕРОН»	$m=2...10$ $m=4...16$ $m=10...28$ $m=22...50$
II	Предельные отклонения измерительного межосевого расстояния $E_{a''s}$, $E_{a''t}$	41	См. пп. 8—11	—
III	Отклонение средней длины общей нормали E_{Wmr} , допуск на нее T_{Wm}	42	См. пп. 15, 22	—
IV	Отклонение толщины зуба E_{sr} и допуск на нее T_c	43	Зубомер индикаторно-метрический КРИН модели: БВ-5085 БВ-5085-01	$m=2...16$ $m=16...32$
		44	Зубомер для зубчатых колес внутреннего зацепления, тип 23900. «ИЗМЕРОН»	$m=1...16$
		45	Штангензубомер с нониусом КРИН типа: ШЗ 18 ШЗ 36	$m=1...18$ $m=5...36$
III	Размер по роликам E_{M_0} и допуск на него T_M	46	Универсальные измерительные средства в сочетании с роликами или проволочками для измерения среднего диаметра резьбы	—

* Сменные узлы.

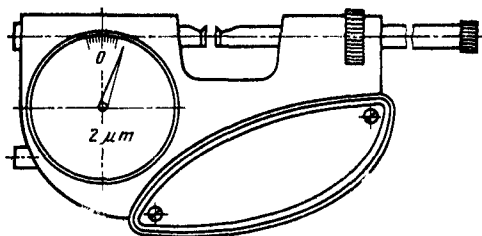
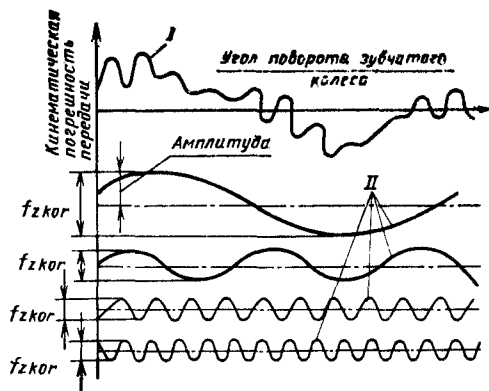


Рис. 9.5. Рычажная скоба для измерения длины общей нормали

Рис. 9.4. Кривая кинематической погрешности (I) и ее гармонические составляющие (II)

включающей проверяемое и измерительное зубчатые колеса 1 (или два проверяемых колеса при проверке пары), имеются преобразователи (датчики) углов поворота 2, электронное устройство 3, состоящее из блоков настройки (БН) на заданное передаточное число, для умножения и деления частоты сигналов, блока сравнения (БС) поворотов колес, образующих зубчатую пару, и блоков формирования импульсов (ФИ), а также показывающего и регистрирующего устройств (ПУ).

Диаграмма, получаемая при измерении, представляет собой непрерывную кривую, которая характеризует кинематическую погрешность колеса F'_{ir} как разность между высшей и нижней точками кривой и местной кинематической погрешностью в виде наибольшей разности между местными соседними экстремальными (минимальными и максимальными) значениями кинематической погрешности зубчатого колеса в пределах его оборота.

В некоторых случаях проводят гармонический анализ кривой кинематической погрешности передачи для выявления первой гармонической составляющей и более высоких гармонических составляющих кинематической погрешности передачи при разных значениях ее частоты (рис. 9.4).

Измерение накопленной погрешности шага производят либо абсолютным, либо относительным методом. При абсолютном методе измерения положение зубьев колеса определяется с помощью угломерного устройства, которое расположено соосно с измеряемым колесом, линейного отсчетного устройства и накопчика. Последний вводится во впадину между зубьями так, чтобы при всех измерениях он находился на одинаковом расстоянии от оси колеса.

При измерении относительным методом используют приборы с двумя накопчиками, касающимися двух профилей соседних зубьев.

При измерении неравномерности шагов прибором с двумя измерительными накопчиками, при отсутствии вычислительного устройства, более удобен и нагляден способ графического нахождения диаграммы накопленной погрешности шага [20].

В современных измерительных приборах расчеты выполняют с помощью вычислительной техники.

Измерение колебания длины общей нормали. Определение тангенциальных составляющих кинематической точности колеса измерением колебаний длины общей нормали основано на том, что точки поверхностей зубчатого колеса, в ко-

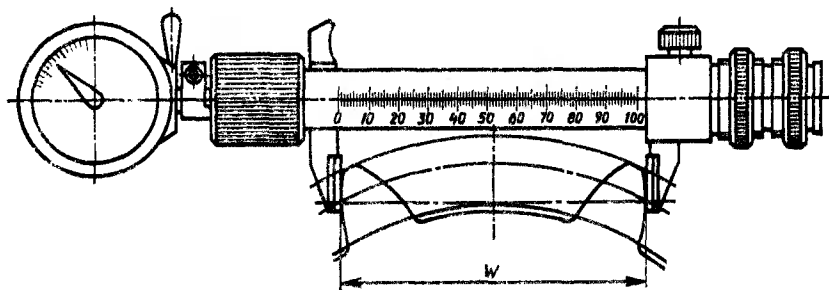


Рис. 9.6. Нормалемер БВ-5045 для колес наружного зацепления

торых осуществляется контакт измерительных губок прибора при обработке, получены при разных угловых положениях колеса [20].

Измерение колебания длины общей нормали может осуществляться с помощью микрометров, выпускаемых заводом «Красный инструментальщик» (КРИН), у которых в отличие от обычного микрометра имеются тарельчатые измерительные поверхности. Недостатком зубомерных микрометров является то, что у них одна измерительная поверхность вращается и при соприкосновении с контролируемой поверхностью несколько смещает прибор. Более удобны в этом случае специальные рычажные скобы (рис. 9.5), а также нормалемеры БВ-5045 (рис. 9.6) и БВ-5046 и др., выпускаемые «ИЗМЕРОН». Измерительные поверхности нормалемеров оснащены твердым сплавом.

Для измерения длины общей нормали у колес внутреннего зацепления «ИЗМЕРОН» выпускает специальные индикаторные нормалемеры (рис. 9.7). Колебание длины общей нормали можно измерять также на станковых универсальных приборах. Принцип измерения тот же, что накладных приборов.

Измерение погрешности обката. Под погрешностью обката понимают составляющую кинематической погрешности зубчатого колеса. Ее определяют при вращении его на технологической оси и при исключении циклических погрешностей зубцовой частоты и кратных ей более высоких частот. Этим показателем устанавливается требование к точности непосредственно процесса зубообработки за один оборот колеса. Практически эта погрешность может определяться, как погрешность кинематической цепи деления зубообрабатывающего станка. Определение погрешности обката относительно технологической оси, т. е. оси, вокруг которой

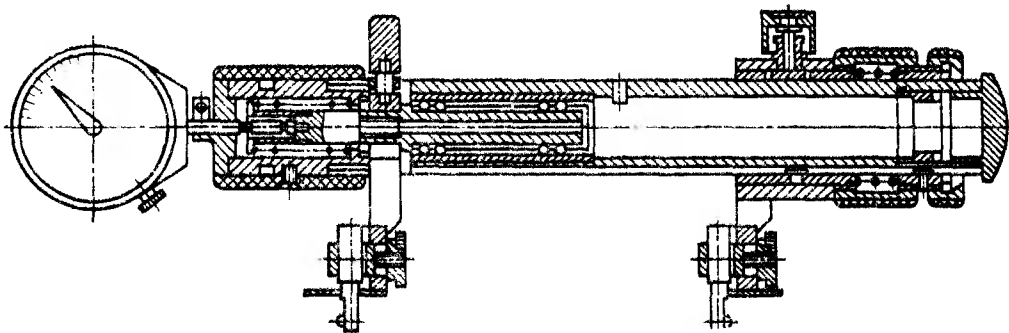


Рис. 9.7. Нормалемер для колес внутреннего зацепления

колесо вращается в процессе окончательной обработки зубьев по обеим их сторонам, исключает влияние погрешности базирования, т. е. радиальной составляющей кинематической погрешности. Выделением из кинематической погрешности циклических погрешностей исключается влияние погрешностей, зависящих от зуборезного инструмента. Таким образом, остается только низкочастотная составляющая погрешности зуборезного станка.

В соответствии с приведенным определением погрешность обката можно выявить на приборах для измерения кинематической погрешности, если установить колесо с тем же радиальным биением, что и при обработке (обеспечение вращения вокруг технологической оси), и учитывать в результатах измерения только низкочастотную составляющую погрешности (исключить высокие частоты).

Погрешность обката колеса может быть выявлена и измерением накопленной погрешности шага также при исключении радиального биения.

Более целесообразно определение погрешности обката измерением погрешности кинематической цепи зубообрабатывающего станка с помощью специальных приборов-кинематометров [8]. Эти приборы наиболее распространены для контроля зубофрезерных станков. Принцип действия этих приборов тот же, что электронных приборов для измерения кинематической погрешности колес. Кинематометр осуществляет замыкание конечных звеньев кинематической цепи станка. В зубофрезерных станках один из фотоэлектрических датчиков установлен на столе станка, а другой — на фрезерном шпинделе. При работе станка, настроенного на определенное передаточное отношение, с обоих датчиков поступают импульсы — сигналы, характеризующие угловое положение проверяемых звеньев. Сигналы, поступающие с фрезерного суппорта (высокоскоростное звено), умножаются и делятся для приведения к масштабу сигналов от датчика на столе (тихоходное звено) с целью сравнения разности фаз, которая характеризует погрешность контролируемой цепи.

Выпускаемые ЧЗИП кинематометры КН-7 измеряют кинематическую погрешность в диапазоне $0-200''$ с частотой $0-7$ Гц. Прибором можно измерять кинематические цепи с передаточным отношением от $1:6$ до $1:1920$.

Измерение радиального биения зубчатого венца. Под радиальным биением понимают колебание расстояний от рабочей оси колеса до делительной прямой элемента нормального исходного контура, условно наложенного на профили зубьев колеса. Условие касания измерительного наконечника профилями зубьев колеса по точкам постоянных хорд принято потому, что в противном случае результаты контроля будут включать не только геометрические (радиальные) погрешности, но и некоторую часть кинематических (тангенциальных) погрешностей зубообработки.

Для обеспечения контакта по постоянным хордам необходимо, чтобы измерительный наконечник был выполнен в виде конуса с углом при вершине, равным 2α , или в виде ролика с диаметром [21] $d_p = 1,476m + 2E_H \sin \alpha$. В последнем случае ролик будет касаться зубьев в точках постоянных хорд впадины, а центр его будет лежать на делительной окружности. Но при этом ролик не будет выступать за окружность выступов. Если принять $d_p = 1,68m + 2E_H \sin \alpha$, то при измерении радиальное биение будет больше. Так, при $z = 20$ радиальное биение увеличивается на $0,47F_{cr}$, а при $z = 360$ — на $0,06F_{cr}$, где F_{cr} — погрешность обката.

Приборы для измерения радиального биения, выпускаемые заводом «ИЗМЕРОН» и ЧЗИП, имеют конусные наконечники с углом 40° , а для колес внутреннего (рис. 9.8) зацепления — шарики.

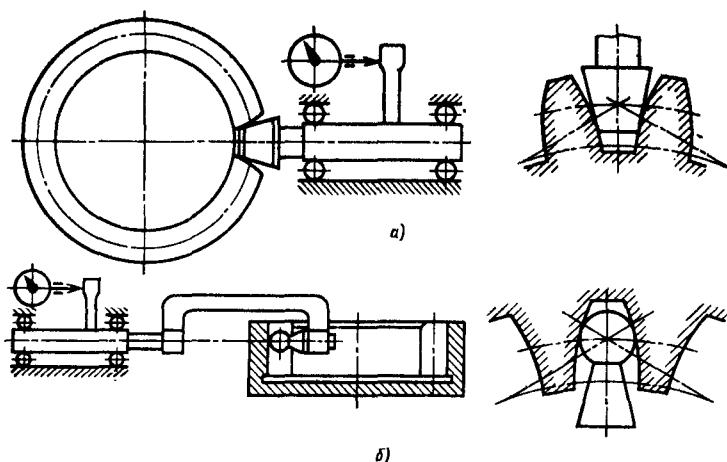


Рис. 9.8. Схема измерения радиального биения колес:

а — наружного; б — внутреннего

Измерение колебания измерительного межосевого расстояния при двухпрофильном зацеплении. ЧЗИП выпускает приборы для комплексного двухпрофильного контроля колес (межосемеры) (рис. 9.9), которые поставляются с оснасткой для измерения цилиндрических, червячных колес, колес с наружным и внутренним зацеплением, с приставным приводным двигателем, с электрическим самописцем.

Для измерения измерительного межосевого расстояния у колес больших размеров применяют прибор — межосемер БВ-5077, который снабжен набором сменных узлов для колес различных видов.

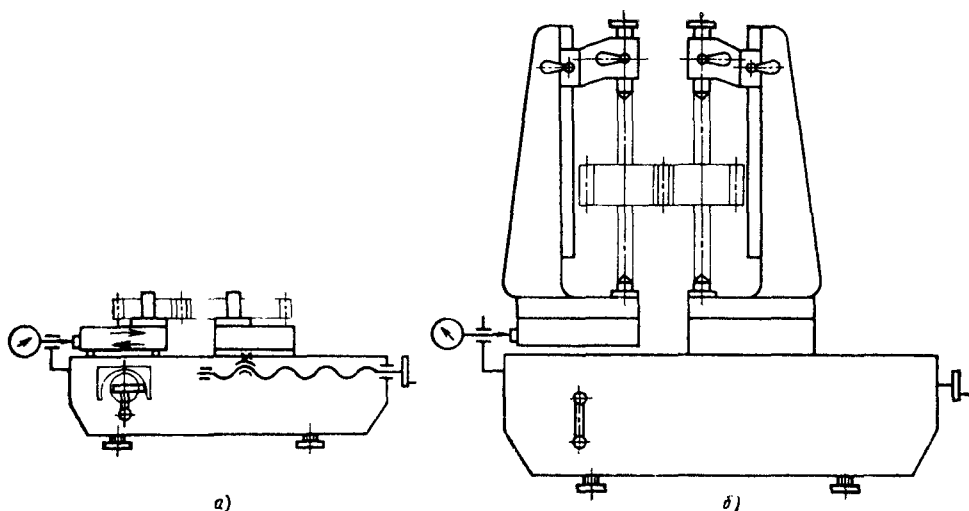


Рис. 9.9. Прибор для комплексного двухпрофильного контроля колес:

а — насадных; б — валковых

В ГОСТ 1643—81 в примечании 5 к табл. 6 сказано об изменении допуска на колебание измерительного межосевого расстояния в случае комбинирования норм кинематической точности и норм плавности работы из разных степеней точности. В этом случае допуск $F''_{\text{комб}}$ на колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот зубчатого колеса определяют по формуле

$$|F''|_{\text{комб}} = |F''_i - f''_i|_F + |f''_i|_f.$$

Допуски, входящие в первое слагаемое (с индексом F), принимают по степени, установленной для кинематической точности, а допуск, входящий во второе слагаемое (с индексом f), принимают по степени, установленной для норм плавности работы.

Контроль плавности работы колеса и пар. Принятые в стандарте ГОСТ 1643—81 нормы плавности работы колеса определяют значения составляющих полной погрешности угла поворота колеса, многократно повторяющихся за один оборот. Плавность работы колеса нормируется в стандарте комплексными показателями местной кинематической погрешностью f'_{ir} , f'_{ior} и циклической погрешностью f_{zkr} , f_{ztr} и f_{z20r} . Для широких косозубых и шевронных колес плавность может быть проверена также по отклонению шагов f_{ptr} (см. табл. 9.1). Для прямых и узких косозубых колес плавность работы колеса (табл. 9.1), кроме f'_{ir} , может проверяться по отклонению шага зацепления f_{pbr} и профиля f'_{tr} или по колебанию измерительного межосевого расстояния на одном зубе f''_{ir} , а для более грубых колес — по отклонению шага зацепления и отклонению шага. Для прямозубых колес 9—12-й степеней нормы даются только для отклонения шагов.

Измерение местной кинематической погрешности. Под местной кинематической погрешностью понимают составляющую кинематической погрешности. Ее определяют как наибольшее значение местного размаха колебаний кинематической погрешности. Измерение осуществляют одновременно с измерением кинематической погрешности за оборот колеса, т. е. как разность между местными соседними экстремальными (минимальными и максимальными) значениями кинематической погрешности.

Измерение циклической погрешности. Наиболее характерным источником этой погрешности являются либо неточности, повторяющиеся за каждый оборот червяка делительной передачи зубообрабатывающего станка, либо погрешности, повторяющиеся на каждом зубе зубчатого колеса. Эти погрешности создают погрешности профиля и волнистость винтовой линии зуба косозубого колеса, которые вызывают неравномерность вращения передачи.

Для широких косозубых колес характерна циклическая погрешность f_{zk} , которую можно определить волномером (рис. 9.10). Прибор устанавливают во впадине между зубьями колеса на сферические опоры, волнистость поверхности при его перемещении вдоль зуба воспринимается измерительным наконечником, расположенным между опорами. Волномеры изготавливались двух видов. В одних используют отсчетную головку с ценой деления 0,001 мм, в других — индуктивное записывающее устройство. Расстояние между опорами волномера настраивают по нечетному числу длин волн, чтобы получать удвоенный размах показаний. Для выявления циклической погрешности в торцовом сечении результаты измерения волномером следует разделить на $2 \cos \beta$ и сравнить с данными стандарта ГОСТ 1643—81.

Измерение отклонения шагов. В стандарте ГОСТ 1643—81 нормируется отклонение шага и оговаривается допустимая разность f_{opt} между двумя любыми шагами. Это вызвано тем, что неравномерность шага для большинства методов

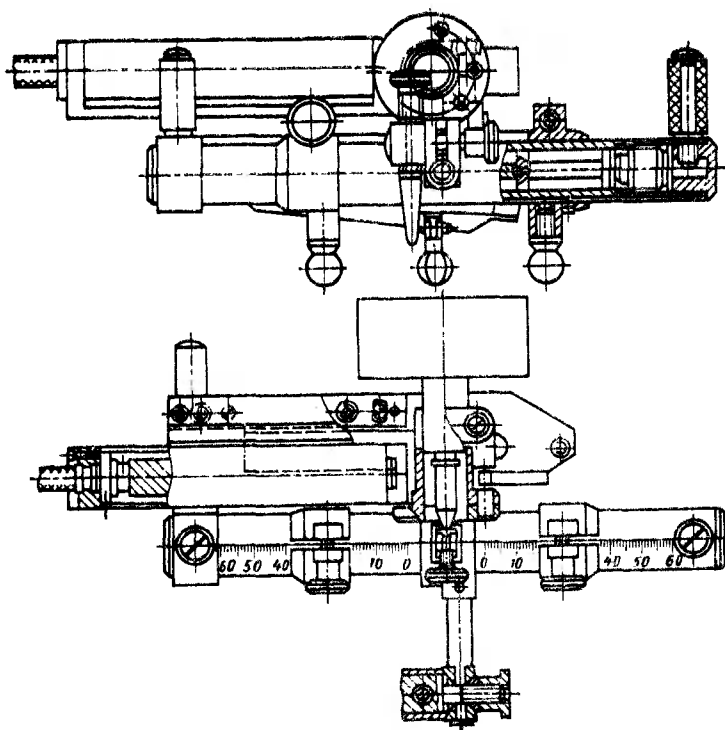


Рис. 9.10. Волномер с индуктивным преобразователем

зубообработки зависит как и циклическая погрешность обработки, от погрешности червяка делительной передачи станка и неравномерности его вращения [21].

При разном соотношении числа зубьев делительного колеса $z_{д.к}$ зубообрабатывающего станка и числа зубьев обрабатываемого колеса z_k разность соседних шагов может быть равна удвоенной циклической погрешности, когда $z_k = \pm z_{д.к} / (n + 0,5)$, где n — любое целое положительное число (в том числе и нуль), т. е. не зависит от циклической погрешности станка (когда $z_k = z_{д.к} / n$). В других случаях разность соседних шагов может быть очень малой, в то время как циклическая погрешность колес имеет большое значение. Наибольшая разность любых шагов $f_{npt} = 2F_i \sin \left(\frac{z_{д.к} - z_k}{2} z_{д.к} \right)$, что дает во всех случаях больше разность шагов или иногда равна ей [1]. Подобное же явление имеет место, если число зубьев долбяка равно $(n + 0,5)z_k$.

Измерение разности шагов выполняют с помощью тех же приборов, которые используют для измерения и накопленной погрешности шага, а также с помощью накладных шагомеров, выпускаемых заводом «ИЗМЕРОН» (см. табл. 9.4). Эти шагомеры предназначены для измерения разности шагов, например шагомер БВ-5070 (рис. 9.11), и шага зацепления (рис. 9.12) цилиндрических зубчатых колес, а также шагов конических и червячных колес. Переход на другой измеряемый параметр или вид контролируемого колеса осуществляется сменой измерительных головок. При измерении шага базирование прибора осуществляется от наружной поверхности или поверхности впадин, а при измерении косозубого или

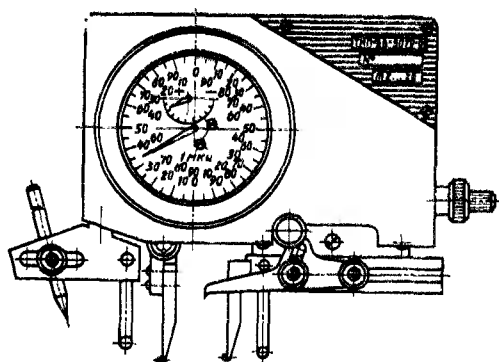


Рис. 9.11. Шагомер
БВ-5070 для измерения
разности шагов

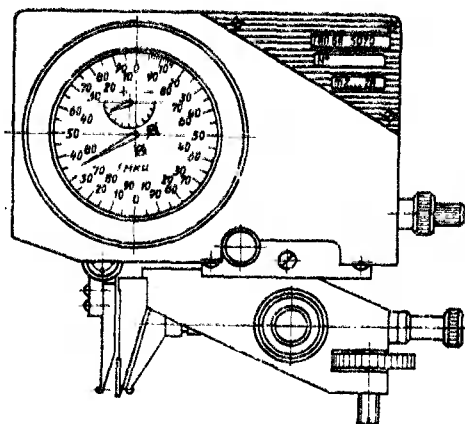


Рис. 9.12. Шагомер
БВ-5070 для измерения
шага зацепления

конического колеса — также и от торца. Приборы могут быть установлены непосредственно на зубообрабатывающем станке.

Для измерения шага зацепления и разности шагов у колес внутреннего зацепления «ИЗМЕРОН» выпускает шагомер 21802 (рис. 9.13), который при измерении базируется во впадине между зубьями с помощью сменных роликов, зависящих от модуля, а окружность измерения определяется дополнительным упором прибора, контактирующим с наружной поверхностью или поверхностью впадин. Как показали работы, проведенные ЦНИИТМАШем [20], при наличии циклической погрешности в колесе на результаты измерения оказывает влияние положение измерительных наконечников. Для правильного измерения они должны находиться на одной окружности колеса. В приборе с точечными наконечниками установка на одну окружность осуществляется приблизительно.

Измерения шага зацепления. При измерении шага зацепления необходима настройка прибора на номинальное значение (см. приложение П2). Погрешность шага зацепления возникает в основном вследствие погрешности режущего инструмента — отклонения угла исходного контура, получаемого при изготовлении червячной фрезы или гребенки, или же вследствие неправильной установки или заправки шлифовального круга (см. гл. 5). В связи с этим погрешность шага зацепления требуется определять не при отдельных углах развернутости, а при определенном угле, обусловленном перекрытием соседних профилей. В приборе БВ-5070 отсчетное устройство с ценой деления 0,001 мм заключено в корпусе.

Для повышения износостойкости тангенциальные измерительные наконечники армированы твердым сплавом.

Шагомерами 21704 измерение шага зацепления производится также при отдельных углах развернутости. Эти шагомеры предназначены для измерения шага зацепления у колес с коэффициентом перекрытия, близким к единице. Шагомер 21802 (см. рис. 9.13) предназначен для измерения шага зацепления зубчатых колес внутреннего зацепления, но может быть использован и для измерения шага зацепления колес наружного зацепления также с коэффициентом перекрытия, близким к единице.

По результатам измеренной погрешности шага зацепления f_{pbr} зубчатого колеса может быть найдена величина отклонения радиуса основной окружности

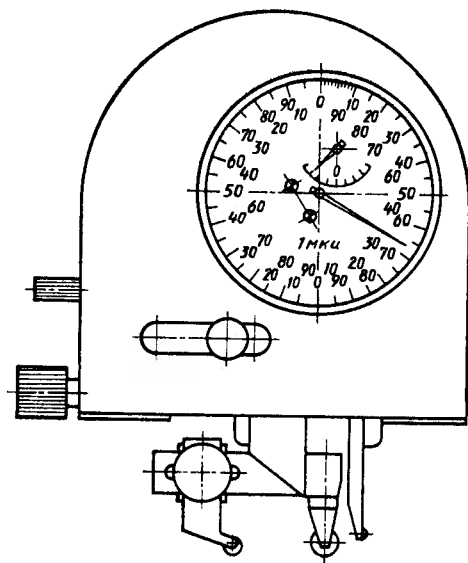


Рис. 9.13. Шагомер 21802 для колес внутреннего зацепления

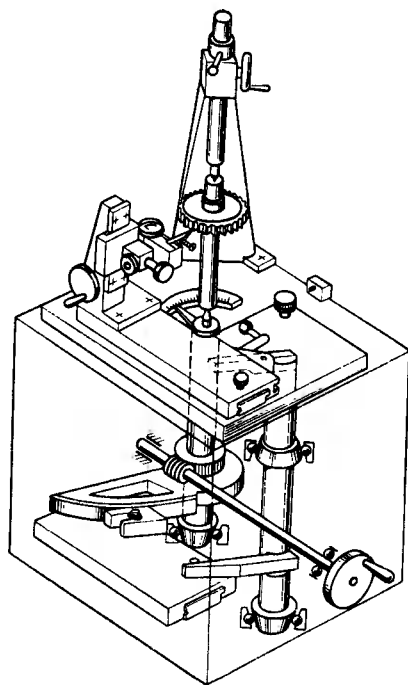
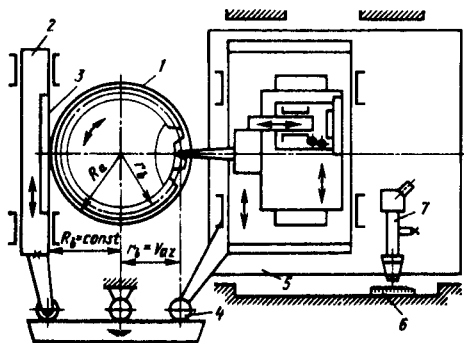


Рис. 9.14. Эвольвентомер универсальный КЭУ

$f_{rbr} = z f_{pbm} / (2\pi)$ или отклонение угла профиля $f_{ar} = -3,2 f_{phr} / m$ (f_{pbr} — в мкм; m — в мм). В обоих случаях при расчете берут среднее отклонение измеренных шагов зацепления от номинального значения.

Измерение профиля. Появление отклонений профиля связано в основном с погрешностями режущего инструмента (фрезы) или заправки шлифовального круга, а также вибрациями станка. В процессе измерения прибор воспроизводит эвольвентную кривую. В универсальном эвольвентометре КЭУ ЧЗИП (рис. 9.14) кинематическая цепь состоит из эвольвентного кулака и рычажной передачи; настройка на различные радиусы основной окружности проверяемого зубчатого колеса выполняется с помощью концевых мер длины.



Универсальный эвольвентомер БВ-5062 (рис. 9.15) предназначен для измерения колес с наружным и внутренним зацеплением. Номинальная эвольвента воспроизводится прибором с помощью постоянного сектора 1, расположенного соосно с проверяемым колесом, и лент 3, охватывающих сектор и закрепленных на каретке 2.

Настройка на радиусы основной окружности r_b осуществляется смещением

Рис. 9.15. Эвольвентомер и ходомер БВ-5062

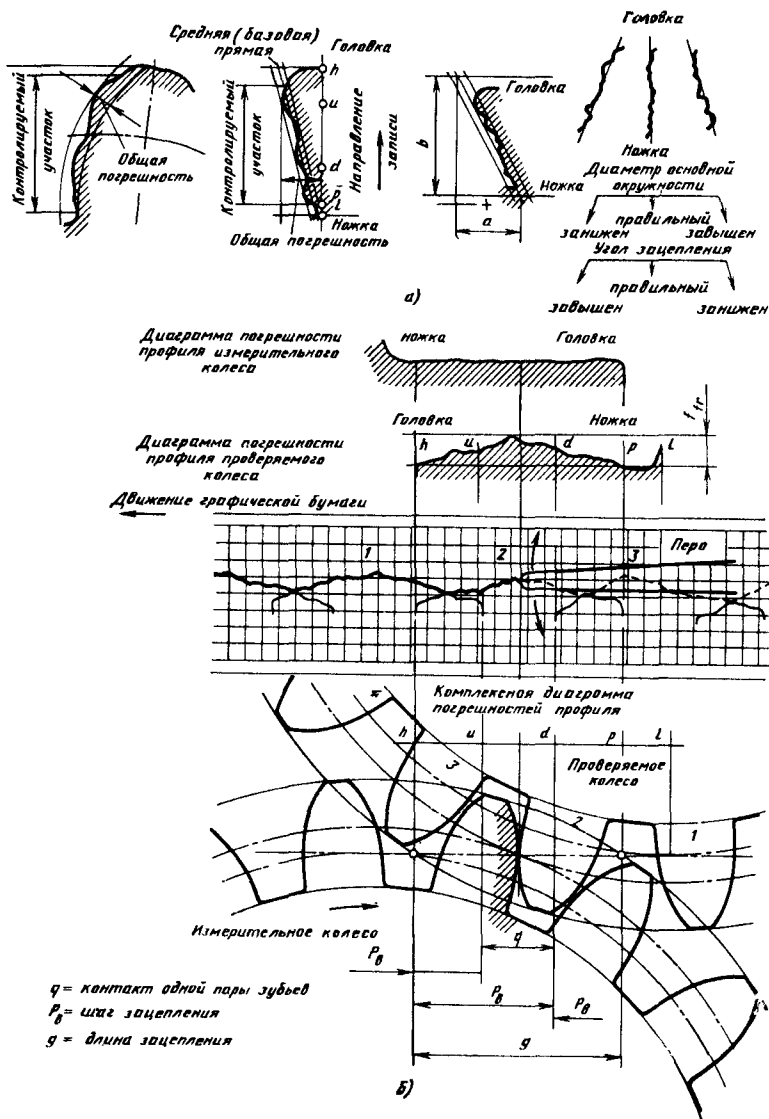


Рис. 9.16. Эвольвентограмма и характерные точки на ней:

а — измерения с точечным наконечником прибора; б — измерения с измерительным колесом; q — контакт одной пары зубьев; P_v — шаг зацепления

положения упора 4 и каретки 5, отсчет выполняется по микроскопу 7 и оптической шкале 6. Прибор снабжен электрическим записывающим устройством. Имеется специальный узел, обеспечивающий проверку винтовой линии косозубых зубчатых колес. Настройка на угол наклона β осуществляется по оптическому угломерному устройству.

Погрешность профиля должна регистрироваться записывающим устройством (рис. 9.16). В этом случае по положению средней прямой можно определить ха-

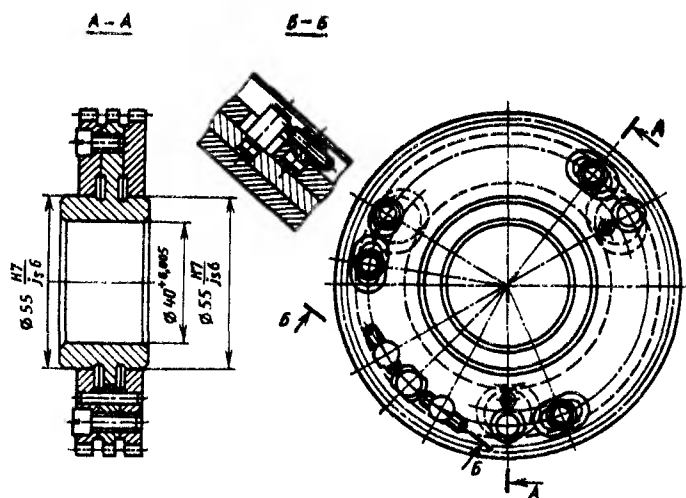


Рис. 9.17. Регулируемое по толщине зуба измерительное колесо

ракетер погрешности угла профиля инструмента или радиуса основной окружности. Погрешность (мкм) радиуса основной окружности по средней кривой может быть рассчитана по формуле $f_{rb} = r_b \frac{\pm a}{b} \frac{k_1}{k_2} 1000$, где k_1 , k_2 — масштаб увеличения соответственно протягивания бумаги и погрешности профиля.

Из полученных данных может быть определена и погрешность угла (') исходного контура $f_a \approx 9,5 f_b / r_b$.

Эти данные могут быть получены непосредственно исходя из угла наклона средней прямой (см. рис. 9.16, а): $f_a \approx 9550 \frac{\pm a}{b} \frac{k_1}{k_2}$.

При измерении профиля необходимо определять отклонения на участках, ограниченных характерными точками, которые должны быть указаны конструктором (рис. 9.16, б).

Измерение колебаний измерительного межосевого расстояния на одном зубе. Исследованиями, проведенными в ЦНИИТМАШе [21], доказано, что при изменении угла зацепления α_{twm} при контроле в плотном зацеплении по сравнению с углом зацепления в процессе зубообработки α_{tw0} (на величину, соответствующую четверти периода действия циклической ошибки $\alpha_{tw0} - \alpha_{twm} = \pm \frac{90^\circ}{k}$, где k — частота циклической погрешности), полностью выявляется циклическая погрешность, имеющаяся на обоих профилях колеса. В соответствии с этим в ГОСТ 1643—81 приведены нормы для случая неполного выявления циклической погрешности, когда $\alpha_{twm} = \alpha_{tw0}$. В ГОСТ 1643—81 указано, что если при измерении угол зацепления α_{twm} не равен углу зацепления α_{tw0} при обработке колеса, то колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе может превышать значения f'_i , указанные в ГОСТ 1643—81.

Проверка колебаний измерительного межосевого расстояния на одном зубе осуществляется с помощью приборов для комплексного двухпрофильного контроля, рассмотренных выше. Необходимый угол зацепления при контроле α_{twm} легко достигается с помощью регулируемых по толщине зуба измерительных колес, разработанных в Бюро взаимозаменяемости (рис. 9.17). В этих колесах крайние венцы соединены между собой и могут смещаться относительно среднего, в результате чего образуется различная, действующая при двухпрофильном зацеп-

лении толщина зуба [21]. Необходимая толщина зуба устанавливается по смещению исходного контура, определяемому с помощью тангенциального зубомера:

$$E_H = m \frac{(\operatorname{inv} \alpha_{twn} - \operatorname{inv} \alpha_{twg})(z_k + z_u)}{2 \operatorname{tg} \alpha} + E_{Hsk} - x_k m,$$

где E_{Hsk} — наименьшее смещение исходного контура для контролируемого колеса; x_k — коэффициент коррекции для контролируемого колеса.

Контроль полноты контакта. Комплексным показателем норм полноты контакта в ГОСТ 1643—81 принято суммарное пятно контакта с парным зубчатым колесом в передаче. Кроме того, для прямозубых и узких косозубых колес со значениями e_p менее указанных в табл. 4 ГОСТ 1643—81, стандарт нормирует элементный показатель в виде допуска на направление зуба F_{br} или погрешности формы и направления контактной линии F_{kr} . Для прямозубых колес эту погрешность понимают как погрешность направления и отклонения от прямолинейности образующих боковой поверхности зуба от прямой параллельной оси. В узких косозубых колесах под погрешностью направления зуба понимается не только отклонение хода винтовой линии зуба на ширине колеса от номинального значения, но и отклонение формы винтовой линии зуба, как для погрешности контактной линии. Для широких косозубых колес помимо комплексного показателя — суммарного пятна контакта — нормируются два комплекса элементных показателей (см. табл. 9.1).

Измерение суммарного пятна контакта. В ГОСТ 1643—81 размеры пятна контакта нормируются в процентах длины и высоты рабочей боковой поверхности зуба в собранной передаче. Допускается оценивать точность зубчатых колес по пятну контакта их зубьев с зубьями измерительного зубчатого колеса; при этом относительные размеры суммарного пятна контакта должны быть соответственно увеличены по сравнению со значениями, указанными в стандарте для заданной степени точности по нормам контакта. Проверка осуществляется в собранной передаче либо на обкатном станке при зацеплении с измерительным колесом (см. табл. 13.2). Контрольно-обкатные станки применяются в основном для конических передач. Для этих передач эта проверка часто является основной; однако на большинстве станков возможно контролировать и цилиндрические передачи. Для обнаружения суммарного пятна контакта зубьев боковую поверхность меньшего или измерительного колеса покрывают слоем краски и после обката его с другим колесом при легком подтормаживании определяют степень прилегания сопрягаемых профильных поверхностей.

В некоторых случаях контролируют мгновенное пятно контакта между зубьями парных колес. Мгновенное пятно контакта определяют, не вращая колеса, а лишь поворачивая их в пределах 2—3 зубьев и без существенной нагрузки.

Для правильного контроля поверхности зубьев необходимо обезжирить; толщина слоя краски не должна превышать 4—6 мкм. Перед нанесением на поверхность краску завертывают в плотную ткань и затем окрашивают поверхность. Можно рекомендовать следующие виды краски: а) модификацию берлинской лазури, растворимую в воде; получается добавлением раствора хлорного железа в раствор желтой кровяной соли; б) турунбулевую синь; получается добавлением раствора железного купороса в раствор красной кровяной соли; в) голландскую сажу; г) свинцовые, цинковые белила для оксидированных поверхностей.

Измерение осевого шага. Отклонения осевого шага нормируются в стандарте для широких косозубых колес. Объясняется это тем, что участок одновременного зацепления зубьев располагается вдоль оси колеса, а поэтому при контроле осе-

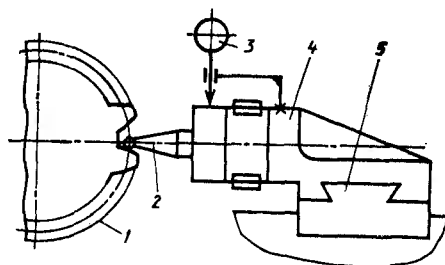
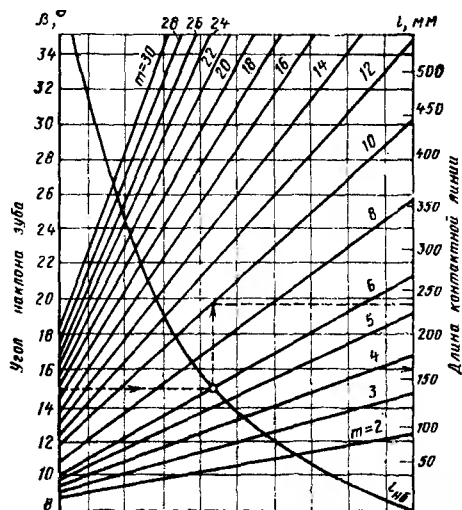


Рис. 9.19. Приспособление для измерения направления зуба прямозубых цилиндрических зубчатых колес:

1 — проверяемое зубчатое колесо; 2 — измерительный наконечник; 3 — отсчетная головка; 4 — измерительная каретка; 5 — направляющая

Рис. 9.18. График для определения предельной длины контактной линии при $\alpha = 20^\circ$

вого шага лучше определяется продольный контакт, чем при проверке винтовой линии. Погрешность осевого шага следует отсчитывать по нормали к винтовой линии. Это вызвано тем, что смещение измерительного наконечника для отсчета вдоль оси колеса очень затруднительно, особенно при малом угле наклона зуба.

Для эксплуатации, если не требуется взаимозаменяемость колес, важно не номинальное значение осевого шага, а равенство шагов у сопрягаемых колес.

Контроль осевого шага можно осуществлять на установках и приборах, предназначенных для контроля червячных фрез или червяков (см. табл. 18.2).

Измерение контактной линии. Приведенные в ГОСТ 1643—81 требования относятся к форме и расположению контактной линии, погрешности которых при значительных углах наклона β приводят к нарушению высоты пятна контакта. В целом ряде технологических процессов зубообработки погрешность контактной линии возникает от погрешности угла профиля инструмента (при больших β) или от погрешности угла поворота соответствующих направляющих станка. Допуски на F_k задаются в ГОСТ 1643—81 в зависимости от длины контактной линии. На рис. 9.18 приведен график для определения наибольшей длины контактной линии в зависимости от нормального модуля и делительного угла наклона зуба. Например, при $\beta = 15^\circ$ и $m = 10$ мм $l = 235$ мм. Следует учитывать, что рабочая длина контактной линии $l = b/\cos\beta$ принимается во внимание в том случае, когда она укладывается по высоте зуба и ширине колеса. Значения наибольшей длины контактной линии подсчитаны по формуле $l_{нб} = \frac{2m}{\sin\alpha \operatorname{tg}\beta}$.

Допуск следует назначать, исходя только из $l_{нб}$, взятой по графику, а не из l . Часто рабочая длина контактной линии превышает ширину колеса при небольшом делительном угле наклона зуба β .

Для измерения контактной линии прямозубых цилиндрических зубчатых колес применяют приспособление (рис. 9.19) со сферическим измерительным наконечником, перемещающимся вдоль оси центров, а его колебания воспринимаются преобразователем самописца или отсчетной головкой.

Измерение винтовой линии. В приборах для измерения этого элемента у узких косозубых колес с помощью кинематической цепи воспроизводится винто-

вая линия, которая сравнивается с действительной винтовой линией колеса. Проверка винтовой линии может осуществляться также на некоторых эвольвентах, например, БВ-5062. Настройка кулисы на угол подъема винтовой линии колеса осуществляется с помощью оптического углового устройства. Винтовая линия в приборе воспроизводится вращением диска и перемещением измерительного узла вдоль оси колеса с помощью кулисы.

Для устранения кромочного (у торца) касания поверхностей зубьев, а также диагонального расположения их контакта, вызванного отклонением направления зубьев, отклонением от параллельности и перекосом осей передачи, зубья колес делают с бочкообразной модификацией. Необходимую бочкообразность можно определять, исходя из допусков на влияющие погрешности. Если бочкообразность создается лишь на зубьях одного колеса из пары, измеренной по нормали к поверхности зубьев, то завал у каждого торца должен быть $\Delta_\beta = F_\beta \cos\beta + \frac{f_x}{2} \times \sin\alpha + \frac{f_y}{2} \cos\alpha$.

Например, для зубчатой передачи 7-й степени точности, при ширине колес 55 мм по ГОСТ 1643—81 $F_\beta = f_x = 16$ мкм и $f_y = 8$ мкм, откуда завал на одном из колес должен быть $\Delta_\beta = 16 \cdot 0,94 + \frac{16}{2} 0,34 + \frac{8}{2} 0,94 = 21$ мкм.

Контроль бокового зазора. Основным комплексным показателем для каждого из шести видов сопряжения принят гарантированный боковой зазор, так как для предотвращения чрезмерного «мертвого» хода, возможного заклинивания при нагреве передачи, шума при работе и обеспечения нормальных условий смазывания решающую роль играет наименьшее значение бокового зазора, а не наибольшее или среднее его значение. Практически при большинстве угловых положений колес зазор будет превосходить гарантированное значение, приведенное в стандарте. Это превышение будет увеличиваться при переходе к другому виду сопряжений или виду допуска бокового зазора и к более грубой следующей степени точности. В качестве отдельных элементов, влияющих или определяющих значение бокового зазора, в ГОСТ 1643—81 для зубчатых колес нормируется смещение исходного контура или отклонение измерительного межосевого расстояния (последнее только для прямозубых и узких косозубых колес) либо отклонение средней длины общей нормали или толщины зуба.

Измерение бокового зазора. Непосредственно измерение осуществляется в собранной передаче с помощью щупа, свинцовой пластины или стрелочного отсчетного устройства, упирающегося в боковые поверхности зуба.

Измерение смещения исходного контура. Наименьшее смещение исходного контура E_H должно обеспечить получение гарантированного бокового зазора в передаче и одновременно компенсировать погрешность изготовления колес и монтажа передачи. Допуск на смещение исходного контура T_H во всех видах допуска бокового зазора принят в стандарте больше радиального биения зубчатого венца, так как оно вызывает колебание смещения исходного контура в пределах одного зубчатого колеса.

Измерение дополнительного смещения исходного контура осуществляется с помощью зубомеров смещения (рис. 9.20), выпускаемых «ИЗМЕРОН». Прибор настраивают по роликам, имеющим диаметры, пропорциональные модулю контролируемого колеса, независимо от числа его зубьев. Измерительные поверхности прибора образуют призму, форма которой соответствует форме впадины между зубьями исходного контура, чем достигается контакт их по постоянной хорде зуба.

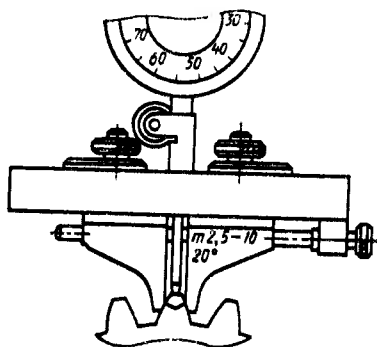


Рис. 9.20. Зубомер смещения

Так как при измерении таким зубомером за базу принимают наружный диаметр, то в соответствии с п. 2.9 ГОСТ 1643—81 при измерении параметров колеса, связанных с наружным диаметром, допуски должны быть пересчитаны по формулам, приведенным в табл. 9.5.

Рекомендуемые значения допусков на размеры и взаимное расположение поверхностей заготовки F_{da} и E_{da} могут быть определены из рис. 9.21, а допуск на торцовое биение — из

табл. 9.6. Например, из рис. 9.21 видно, что для колеса с $d = 400$ мм с точностью 7A отклонения E_{da} диаметра окружности выступов заготовки d_a рекомендуется принять как для поля допуска h8, а допуск на радиальное биение F_{da} рекомендуется 60 мкм.

Если контроль смещения исходного контура осуществляется с помощью зубомера смещения, но при его настройке для компенсации отклонения наружного диаметра учитывается действительный размер наружного диаметра заготовки, производственный допуск следует устанавливать исходя из допуска на радиальное биение окружности выступов (см. табл. 9.5, 3-й случай). В этом случае наименьшее дополнительное смещение исходного контура, указанное в стандарте, должно быть увеличено на величину, равную половине радиального биения, и должно соответствовать данным, приведенным в табл. 9.5 (случай 3), а допуск на смеще-

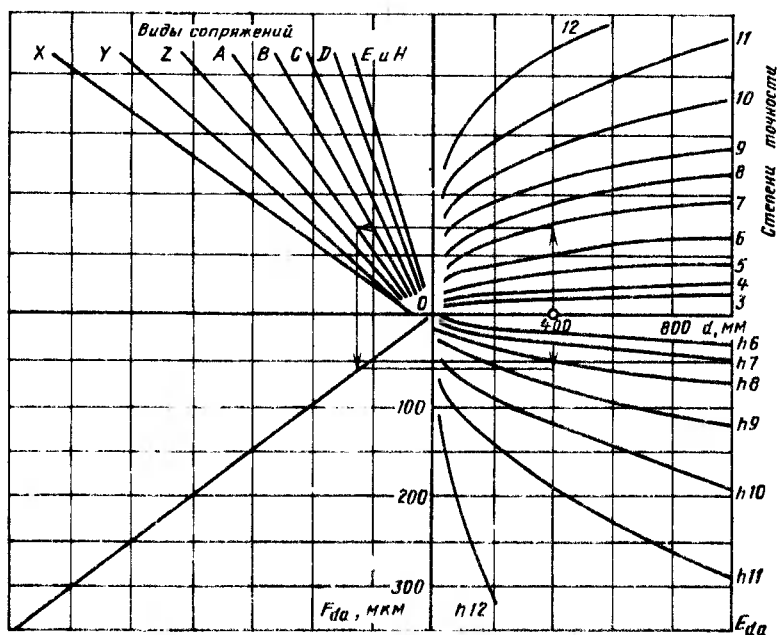
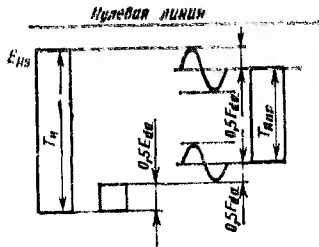


Рис. 9.21. Номограмма для определения рекомендуемых допусков на заготовки зубчатых колес с модулем 1—10 мм

9.5. Формулы для определения отклонения и допусков на заготовку и на размеры зуба

Использование наружной поверхности	Отклонения E и допуски T	
	на заготовку	на размеры зуба
1. Для выверки заготовки на станке	$F_{da} = 0,6 F_r$ $E_{da} = h 14^* \dots h 17$	E_{Hs} — по табл. 14 и T_H — по табл. 15 ГОСТ 1643—81
2. При контроле размеров зубьев	$F_{da} = 0,25 T_H$ $E_{da} = 0,5 T_H$	 $E_{Hs \text{ пр}} = E_{Hs} + 0,09 T_H$ $T_{H \text{ пр}} = 0,6 T_H$ $E_{cs \text{ пр}} = E_{cs} + 0,09 T_c$ $T_{c \text{ пр}} = 0,6 T_c$
3. При контроле размеров зубьев с учетом действительного размера заготовки	$F_{da} = 0,25 T_H$ $E_{da} = h 14^*$	$E_{Hs \text{ пр}} = E_{Hs} + 0,09 T_H$ $T_{H \text{ пр}} = 0,8 T_H$ $E_{cs \text{ пр}} = E_{cs} + 0,09 T_c$ $T_{c \text{ пр}} = 0,8 T_c$
4. Не используется в качестве базовой поверхности	$F_{da} = 0,1 m$ $E_{da} = h 14^* \dots h 17$	E_H — по табл. 14 и T_H — по табл. 15 ГОСТ 1643—81 $E_{Wms} = 0,68 (E_{Hs} + 0,35 F_r)$ — по табл. 16 и 17 $T_{Wm} = 0,68 (T_H - 0,7 F_r)$ — по табл. 18 $E_{Ms} = k_H (E_{Hs} + 0,35 F_r)$ $T_M = k_H (T_H - 0,7 F_r)$ где $k_H = 2 \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_D} \cos 90^\circ / z$ при z четном $\cos 90^\circ / z = 1$; $E_{a''s} = f_t''$; $E_{a''t} = -T_H$

* 0,1 m для степеней 3—7-й и менее 0,2 m для степеней 8—12-й.

Примечание. Обозначения: F_{da} — допуск на радиальное биение наружной поверхности заготовки; E_{da} — поле допуска на диаметр наружной поверхности заготовки.

9.6. Допуски F_t , мкм, на торцовое биение базового торца при $d=100$ мм

Степень точности по нормам контакта	Ширина зубчатого колеса, мм							
	До 40	Св. 40 до 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1250
3	10	5,0	3,2	2,5	1,9	1,3	1,1	0,8
4	12	6,0	4,0	3,0	2,2	1,7	1,3	1,1
5	16	8,0	5,1	4,0	2,9	2,2	1,6	1,3
6	20	10,0	6,4	5,0	3,8	2,8	2,1	1,7
7	24	12,0	8,0	6,0	4,5	3,4	2,6	2,2
8	40	20,0	12,8	10,0	7,1	5,5	—	—
9	64	32,0	20,0	16,0	12,0	9,0	—	—
10	100	50,0	32,0	25,0	19,2	14,0	—	—
11	160	80,0	50,0	40,0	30,4	22,0	—	—
12	250	125,0	80,0	60,0	48,0	36,0	—	—

Примечание. Допуск на торцовое биение базового торца заготовки определяют, умножая табличное значение на $d/100$ (d — делительный диаметр, мм) и округляют до 0,01 мм.

ние исходного контура E_{Hs} , взятый из стандарта, нужно уменьшать на значение радиального биения (или значение допуска, указанное в ГОСТ 1643—81, должно быть уменьшено на $0,2T_H$).

Измерение отклонений измерительного межосевого расстояния. Измерение этого параметра осуществляется взамен измерения смещения исходного контура или толщины зуба. Оно выполняется в процессе комплексного двухпрофильного измерения, когда измерительное межосевое расстояние в приборе устанавливается равным номинальному значению, подсчитанному по следующим формулам:

для прямозубых колес $a_{tw} = m(z \pm z_n) \cos \alpha / (2 \cos \alpha_{tw})$;

для косозубых колес $a_{tw} = m(z \pm z_n) \cos \alpha_t / (2 \cos \alpha_{tw} \cos \beta)$,

где z и z_n — число зубьев контролируемого и измерительного колес; α_t — угол исходного контура в торцовом сечении; α_{tw} , α_{tw} — углы зацепления при измерении, которые определяют по формулам

$$\operatorname{inv} \alpha_{tw} = 2x_s \operatorname{tg} \alpha / (z + z_n) + \operatorname{inv} \alpha,$$

$$\operatorname{inv} \alpha_{tw} = 2x_s \operatorname{tg} \alpha / (z + z_n) + \operatorname{inv} \alpha_t.$$

Знак «—» для колес внутреннего зацепления.

При пользовании формулами необходимо подсчитывать коэффициент суммы смещений x_s , равный сумме коэффициентов смещений для измерительного (x_n) и контролируемого (x_k) зубчатых колес. Помимо этих расчетных коэффициентов в сумму входят два дополнительных коэффициента смещений, учитывающие: 1) отклонение размеров толщины зубьев измерительного колеса, т. е. $x'_n = E_{Hnr}/m$, где E_{Hnr} по ГОСТ 6512—74 на измерительные колеса (маркируется на колесе), 2) наименьшее смещение исходного контура контролируемых колес $x'_k = E_{Hs}/m$, где E_{Hs} принимается по табл. 14 ГОСТ 1643—81 для контролируемых колес. Следовательно, суммарный коэффициент сдвига $x_s = x_n + x_k + x'_n + x'_k$.

Каждая из входящих величин принимается со знаком «+» или «—» в зависимости от того, направлен ли данный сдвиг от центра (+) или к центру (—) колеса.

Рис. 9.22. Зубомер хордовый индикаторно-микрометрический

Для контролируемого и измерительного зубчатых колес без смещений расчетные коэффициенты смещения принимают равными нулю ($x_n = 0$; $x_k = 0$). Для косозубых колес все коэффициенты смещения берут по нормальному сечению колеса.

В ГОСТ 1643—81 указано, что отклонение измерительного межосевого расстояния для колес внешнего зацепления $E_{a''s} = f''_n$; $E_{a''i} = -T_H$.

Измерение средней длины общей нормали. Измерение производят с помощью указанных ранее приборов для измерения колебания длины общей нормали при настройке их на номинальное значение этой длины.

Измерение толщины зуба. По возможности следует избегать измерения толщины зуба по хорде, а выполнять измерения смещения исходного контура. Целесообразнее проводить измерения по постоянной хорде зуба (табл. П7 приложения), а не по хорде делительной окружности, поскольку результаты измерения не будут зависеть от влияния погрешности обката.

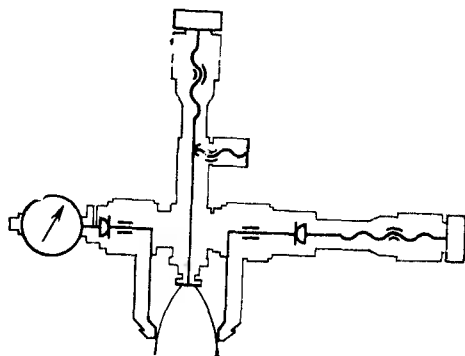
Измерение толщины зуба на многих производствах осуществляется с помощью штангензубомеров (выпускаемых по заказу).

Индикаторно-микрометрические зубомеры (рис. 9.22) завода КРИН более удобны в работе, чем штангензубомеры. В этих зубомерах номинальный размер толщины зуба и положение линии измерения устанавливают по микрометрическим парам, а отклонение толщины зуба — по индикатору.

Наружную поверхность колеса при измерении толщины зуба принимают за базу при использовании приборов «ИЗМЕРОН» (рис. 9.23), предназначенных для колес внутреннего зацепления. Номинальное значение толщины зуба и положение линии измерения от наружного диаметра настраивают в приборе по концевым мерам.

При контроле толщины зуба с использованием в качестве базы наружной поверхности заготовки смещение исходного контура рассчитывается с учетом отклонения базы по формулам табл. 9.5 (случай 2). Наименьшее дополнительное смещение исходного контура E_H и допуск на смещение исходного контура T_H , указанные в табл. 14, 15 ГОСТ 1643—81, следует пересчитывать с учетом направления постоянной хорды (E_{cs} , T_c), т. е. умножать их на $2\operatorname{tg}\alpha = 0,73$. Значения наименьшего уменьшения толщины зуба по постоянной хорде $E_{cs} = 0,73E_H$ и допуск по толщине зуба (по постоянной хорде) $T_c = 0,73T_H$.

Измерение размеров зуба с помощью роликов. При этом методе контроля результаты измерения не зависят от радиального биения зубчатого венца. Как при расчете предельных отклонений длины общей нормали, предельные отклонения при контроле по роликам должны быть изменены на величину, равную половине радиального биения зубчатого венца (в табл. 9.5, случай 4), вместо 0,5 принято 0,35 с учетом вероятности. Для наименьшего отклонения размера по роликам $E_{Ms} = k_H (E_{Hs} \mp 0,35F_r)$ и для допуска $T_M = k_H (T_H \mp 0,7F_r)$, где k_H — коэффициент, служащий для пересчета радиального смещения исходного контура в отклонение размера между роликами $k_H = E_M/E_H$. Величины E_M и T_M могут быть получены умножением значений E_{Wms} и T_{Wms} (табл. 16—18



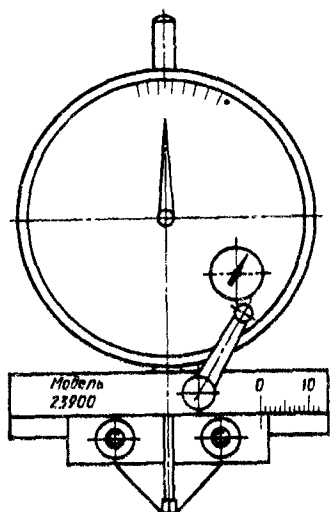


Рис. 9.23. Зубомер хордовый для колес внутреннего зацепления

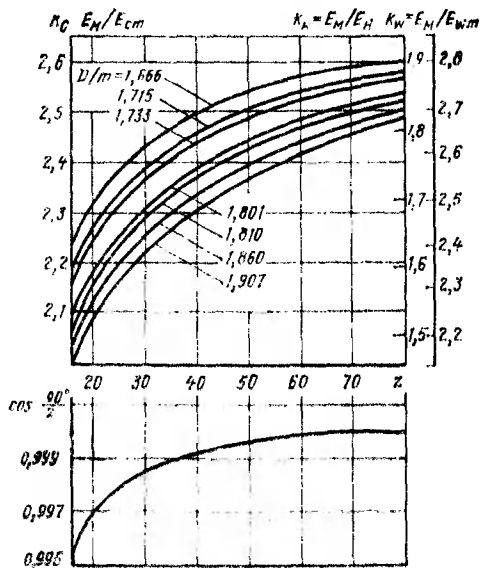


Рис. 9.24. Номограмма для определения коэффициента пересчета для допусков по роликам

ГОСТ 1643—81) на коэффициент, равный $k_M = k_H/0,68$, или умножением на $1/\sin \alpha_D$. Коэффициент определяют при расчете размера M по роликам

$$k_H = 2 \sin \alpha / \sin \alpha_D; \quad k_M = 2 \sin \alpha / (0,68 \sin \alpha_D)$$

или при нечетном числе зубьев на колесе $k_H = \frac{2 \sin \alpha}{\sin \alpha_D} \cos \frac{90^\circ}{z}$, где α_D — угол давления на радиусе окружности, проходящей через центр ролика.

Коэффициент k_H может быть определен по номограмме на рис. 9.24. По этой же номограмме может быть определен коэффициент k_c , с помощью которого можно пересчитать отклонения толщины зуба по постоянной хорде E_{cw} и отклонения по роликам E_M , и коэффициент k_W для пересчета отклонения средней длины общей нормали E_{Wm} в отклонения размера по роликам E_M .

Размеры роликов при измерении колес внешнего зацепления принимаются $d_p \geq 1,68m$ и для колес внутреннего зацепления $d_p \geq 1,5m$ (см. приложение П9) [7].

9.5. Допуски и контроль цилиндрических передач с зацеплением Новикова ДЛЗ

Цилиндрическая передача Новикова состоит из зубчатых колес, у которых выпуклые поверхности зубьев одного колеса имеют контакт, близкий к линейчатому с вогнутыми поверхностями зубьев другого колеса. Контактная линия на зубьях колес приработанных передач Новикова располагается от головки к ножке примерно перпендикулярно направлению зубьев.

Для передач Новикова ДЛЗ, соответствующих исходному контуру по ГОСТ 15023—76 (или близкому контуру к нему), ЦНИИТМАШ рекомендует нормы точности. Рекомендации распространяются на металлические колеса с внешними косыми и шевронными зубьями с диаметром делительной окружности до 2000 мм, шириной не менее 1,2 осевого шага, модулем 2—25 мм, окончательно обработанные методом обкатки, с твердостью рабочих поверхностей зубьев HB \leq 320.

Установлены четыре класса точности зубчатых колес и передач, обозначаемые в порядке убывания точности: НД-1, НД-2, НД-3 и НД-4, которые, с точки зрения технологических требований, находятся на уровне соответственно 6—9-й степени точности по ГОСТ 1643—81.

Допуски на смещение исходного контура, рассчитанные для измерений от базовых поверхностей с учетом погрешностей этих поверхностей, приведены в гл. 3.

В тех случаях, когда взаимозаменяемость не является обязательной, разрешается действительное смещение исходного контура одного из колес, если оно не превышает 0,1 нормального модуля, компенсировать противоположным по знаку смещением исходного контура другого колеса передачи. Гарантированный боковой зазор — единый для всех классов точности; он обеспечивается размерами исходного контура. Допускается: выход полосы контакта на верхнюю кромку зуба только в случае, если ширина полосы превышает 0,5 модуля; слияние обеих полос контакта, если сдвоенная полоса располагается в середине по высоте зуба и имеет ширину, не меньшую 0,8 модуля.

Смещение исходного контура зубчатых колес Новикова ДЛЗ от его номинального положения оказывает большое влияние на условия контактирования колес в передаче, в связи с чем контролю положения исходного контура уделяется особое внимание. Такой контроль производится одним из следующих способов: 1) измерением размеров зуба кромочным зубомером; 2) измерением длины общей нормали; 3) измерением высоты зуба или диаметра впадин колеса; 4) измерением межосевого расстояния в станочном зацеплении; 5) измерением положения исходного контура тангенциальным зубомером.

Номинальные размеры для измерений смещения исходного контура первыми четырьмя способами рассчитывают по ГОСТ 17744—72. Номинальные размеры для измерения пятым способом рассчитывают в соответствии с приложением к ГОСТ 17744—72.

Окончательную приемку колес выполняют по виду пятна контакта в собранной передаче. При этом отклонение межцентрового расстояния F_{ar} , перекос осей колес f_{rr} и отклонение их от параллельности f_{xr} при сборке передачи должны быть выдержаны в пределах соответствующих допусков.

Непосредственный контроль зубчатых колес и передач по всем показателям не обязателен, если осуществляется систематический контроль средств производства, наладки оборудования, а также непосредственный контроль смещения исходного контура A_{hr} и радиального биения зубчатого венца f_{rr} или бокового зазора j , обеспечивающий выполнение соответствующих требований.

При разработке норм точности учитывалось изменение межосевого расстояния при нагреве передачи во время работы, связанное с различием коэффициентов линейного расширения и температур корпуса и зубчатых колес. Для передач Новикова это изменение межосевого расстояния приводит к изменению положения полос контакта по высоте зуба.

Для компенсации этого явления необходимо заранее нарезать колеса на глубину, несколько превышающую теоретическую, т. е. учитывать номинальное сме-

щение исходного контура. Полосы контакта перемещаются к середине по высоте зуба колеса в начале работы, когда колеса еще недостаточно нагрелись. Это смещение может привести к слиянию полос контакта и включению в работу эвольвентных участков зуба.

Приняты следующие исходные данные: разность температур корпуса и зубчатой пары 10 °С, материал корпуса — чугун, колес диаметром до 900 мм — сталь, колеса большего диаметра — бандажированные на чугунных ступицах.

Кроме того, рекомендуется учитывать (и компенсировать) деформации зубьев колес Новикова под нагрузкой [3].

9.6. Основные направления механизации и автоматизации измерения зубчатых колес и передач

Механизация средств измерения зубчатых колес заключается прежде всего в обеспечении приборов электрическими приводами с целью создания условий для равномерного вращения и повышения производительности. Это относится не только к приборам с непрерывным измерением параметра (приборы для измерения кинематической погрешности БВ-5089, БВ-5094, приборы для двухпрофильного измерения: МЦ-160, МЦ-400), но и к приборам, при измерении с помощью которых требуются прерывистые перемещения (приборы для измерения шага: БВ-5079, 27501, БВ-5090, приборы для измерения радиального биения 25004).

Разработка автоматизированных средств измерения зубчатых колес осуществляется по двум основным направлениям:

1) использование микропроцессоров и мини-ЭВМ, встроенных в приборы для обработки результатов измерения;

2) замена механических кинематических цепей оптоэлектронными.

Первое направление автоматизации наиболее часто реализуется в приборах для измерения шага зубчатых колес. С помощью микропроцессора или мини-ЭВМ производится обработка результатов измерения разности шагов по простейшей двухточечной схеме измерения для получения данных о накопленной погрешности шага, о разности соседних и любых шагов, об отклонении шага. Результаты таких расчетов выдаются на записывающее устройство, печатаются на бланках-аттестатах, распечатываются в цифровом виде. Используются микропроцессорные устройства и в приборах для измерения профиля и винтовой линии. В этом случае чаще всего применяют микропроцессоры с управляющей программой. В диалоговом режиме такие средства измерения указывают контролеру последовательность действий при измерении, что облегчает процесс измерения. При этом, как правило, схемы измерения остаются традиционными. Вычислительные устройства в этих приборах осуществляют обработку результатов измерения и выделяют функциональные (систематические) и случайные отклонения измеряемого параметра. В дальнейшем это направление по использованию вычислительной техники для обработки измерительной информации с помощью встроенных микропроцессоров будет развиваться, в том числе для выявления параметров воздействия на технологический процесс.

В результате измерения и контроля могут быть получены:

все дискретные значения измеряемой величины в виде таблицы;

запись изменения измеряемого процесса в виде графика;

экстремальные значения или размах контролируемой величины в виде значений на показывающем устройстве;

сигнал о переходе контролируемой величины за границу допустимого значения (загорается ячейка светофорного устройства);

наибольшие значения измеряемого параметра;

среднее значение измеряемого параметра при его непостоянстве в одном изделии в виде числового значения или параметров зависимости для средних значений;

среднее квадратическое значение (или размах показаний) измеряемого параметра, при его непостоянстве в одном изделии в виде числового значения S или R ;

гармонический анализ Фурье результатов измерения непрерывных функций. Например, можно проводить гармонический анализ результатов измерения кинематической погрешности и других непрерывных функций для более полного установления связей погрешности измеряемого колеса или пары с точностью технологического процесса. Получают распространение средства измерения, в которых вычислительная техника устраняет возможные погрешности измерения и, в частности, — влияние измерительных колес, червяков и т. д. При этом представляется возможность проводить обкат измеряемой поверхности колес с помощью не сопряженного элемента.

Второе направление автоматизации средств измерения зубчатых колес, т. е. замена механических кинематических цепей оптоэлектронными, осуществляется обязательно с использованием вычислительной техники не только для обработки результатов измерения, но и в виде программ, устанавливающих взаимосвязь перемещений элементов прибора при измерении. Типичным примером таких средств измерения являются современные приборы для измерения кинематической погрешности (БВ-5089, БВ-5094). Принцип действия этих приборов заключается в том, что сравниваются кинематические перемещения поверяемой зубчатой пары и элементов прибора, создающих номинальное передаточное отношение. В современных приборах механические кинематические цепи заменены устройствами в виде фотоэлектрических преобразователей, выдающих импульсы, промежутки между которыми пропорциональны углу поворота измеряемых колес. Вычислительные устройства в этих приборах осуществляют сопоставление углов поворотов и определяют параметры кинематической погрешности.

При таких фотоэлектрических преобразователях значительно упрощается механическая часть прибора, повышается надежность прибора и снижается стоимость его изготовления.

Фотоэлектрические преобразователи вместе с микропроцессорной техникой используют для измерения таких параметров колес, как эвольвентный профиль и винтовая линия. В этом случае механическую цепь заменяют электрической, а вычислительная техника выполняет обработку импульсов, характеризующих линейные и угловые перемещения. Измерения в ряде торцовых и продольных сечений зуба позволяют получить топографию его боковой поверхности и характеризовать имеющиеся на профиле срезy, бочкообразность, завалы и т. д.

Примером обоих направлений автоматизации процессов измерения зубчатых колес является разработка программ к координатно-измерительным машинам, снабженным ЭВМ. Такими программами снабжаются координатно-измерительные машины (КИМ) фирм «ДЕА» (Италия) и ОПТОН (ФРГ). По результатам измерения положения ряда точек на поверхности зубчатых колес, отсчитываемых в координатах машины или колеса, без непрерывных кинематических перемещений обработкой с помощью ЭВМ получают значения многих параметров колеса, кроме кинематической погрешности и колебания измерительного межосевого расстояния.

Можно предположить, что этот способ измерения при всей его внешней привлекательности не получит широкого распространения по целому ряду причин. Прежде всего необходимо отметить, что точечные измерения более продолжительны, чем измерения отдельных параметров на специализированных приборах. Хотя при точечных измерениях и имеется возможность одновременно получить данные о нескольких параметрах, но практически редко возникает необходимость иметь данные о всех параметрах, часто перекрывающих друг друга в отношении информативности. При измерении эвольвенты и винтовой линии этот способ в принципе дает меньше информации, чем при непрерывном измерении этих параметров на специализированных приборах, и при этом с большей погрешностью.

Кроме того, необходимо иметь в виду, что измерение таких параметров, как отклонение эвольвентного профиля и винтовой линии, целесообразно выполнять непосредственно у обрабатывающих станков с целью введения определенных корректив в их настройку. КИМ же обычно требуется устанавливать в специальных помещениях. Стоимость КИМ значительно превышает стоимость всего комплекта приборов, специализированных для зубчатых колес. Вместе с тем КИМ с ЭВМ весьма перспективно использовать для измерений при проведении исследовательских работ по созданию модифицированных профилей, при отработке новых технологических процессов особенно для конических колес с круговыми зубьями. Программы, которыми снабжаются КИМ, обычно дают возможность воспроизвести реальную боковую поверхность зуба, т. е. получить более полную информацию по сравнению с измерением профиля и линии зуба. Однако и в этом случае есть определенные ограничения в отношении точности, поскольку погрешность измерения даже на самых точных машинах составляет не менее 2—5 мкм.

При автоматизации производства зубчатых колес обычно используют автоматизированные средства измерения, о которых говорилось выше, иногда в виде группы приборов, подключенных к управляющей ЭВМ. С помощью этих приборов осуществляется выборочное измерение, иногда с участием операторов и, как правило, от ЭВМ получают статистические показатели, характеризующие точность изготовления в масштабе текущего времени (среднее значение, среднее квадратическое, систематическое функциональное отклонение). Редко встраиваются приборы непосредственно в автоматические линии по производству зубчатых колес. Объясняется это прежде всего тем, что при оценке точности зубчатых колес имеют место весьма тесные корреляционные связи погрешности нормируемых элементов колес с погрешностью определенных частей технологического процесса, поэтому целесообразнее осуществлять наблюдение за точностью технологического процесса и, в частности, путем выборочного измерения зубчатых колес вместо измерения всех изготовленных колес. Встраиваются в автоматические линии приборы для приемочного контроля в двухпрофильном зацеплении. Эти приборы просто автоматизируются и позволяют комплексно определять точность технологического процесса и годность изделия и, прежде всего, выявляется отсутствие нарушения таких неустойчивых параметров технологического процесса, как погрешность установки заготовки на станке и стойкость режущего инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Авиационные** зубчатые передачи и редуктора: Справочник/В. Н. Алексеев, В. М. Ананьев, М. М. Булыгин и др.; Под ред. Э. Б. Вулгакова. М.: Машиностроение, 1981. 374 с.

2. Вагин П. Т., Гладких А. Г. Опыт производительной обработки крупномодульных зубчатых колес//Технологические методы обеспечения качества зубчатых передач; Сб. до-

кладов Всесоюзной конференции. М.: Центральное правление НТО Машпром, 1981. С. 157—159.

3. Гришко В. А. Повышение износостойкости зубчатых передач. М.: Машиностроение, 1977. 232 с.

4. Грубин А. Н., Лихцнер М. Б., Полоцкий М. С. Зуборезный инструмент: В 2 ч. Ч. 1. М.: Машгиз, 1947. 291 с.; Ч. 2. М.: Машгиз, 1946. 232 с.

5. Гудым Л. Н., Титов В. Л. Чистовая обработка зубчатых колес пластическим деформированием//Станки и инструмент. 1986. № 4. С. 30—32.

6. Допуски и посадки: Справочник/Е. Д. Мягков, М. А. Палей, Л. Б. Ромашев, В. А. Брагинский; Ч. 1. Под ред. В. Д. Мягкова. Л.: Машиностроение, 1978. 544 с. Ч. 2. Л.: Машиностроение, 1978. С. 575—1032.

7. Зубчатые передачи. Справочник/Е. Г. Гинзбург, Н. Ф. Голованов, Н. Б. Фирун и др.; Под ред. Е. Г. Гинзбурга. Л.: Машиностроение, 1980. 415 с.

8. Ионак В. Ф. Приборы кинематического контроля. М.: Машиностроение, 1981. 128 с.

9. Калашников Н. А. Исследование зубчатых передач. М.: Машгиз, 1941. 462 с.

10. Колф И. А., Попов В. Я., Шеберла И. И. Проектирование, изготовление и эксплуатация червячных фрез с протуберанцами под зубошлифование//Станки и инструмент. 1975. № 5.

11. Куцоконь В. А. Точность кинематических цепей приборов. Л.: Машиностроение, 1980. 221 с.

12. Общемашиностроительные нормативы режимов резания, норм износа и расхода зуборезного инструмента при обработке конструкционных сталей и чугунов. М.: ВНИИ техн.-экон. исслед. по машиностр. и робототехнике, 1986. 223 с.

13. Овумян Г. Г., Адам Я. И. Справочник зубореза. М.: Машиностроение, 1983. 223 с.

14. Овумян Г. Г., Езерский Е. В., Хухрий С. А. Повышение производительности и качества чистового зубонарезания. М.: Машиностроение, 1979. 64 с.

15. Овумян Г. Г. Совершенствование технологических процессов зубообработки//Энергомашиностроение, 1984. № 8. С. 15—17.

16. Петрик М. И., Шишков В. А. Таблицы для подбора зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1973. 527 с.

17. Повышение качества и производительности чистовой зубообработки. Труды ЦНИИТМАШ/Г. Г. Овумян, И. А. Колф и др. М.: Машиностроение, 1982. 71 с.

18. Романов В. Ф. Расчеты зуборезных инструментов. М.: Машиностроение, 1969. 255 с.

19. Средства контроля, управления и измерения линейных и угловых размеров в машиностроении: Каталог. М.: ВНИИТЭМР, 1985. 304 с.

20. Тайц Б. А., Верхотуров Б. Я. Определение кинематической погрешности станков и погрешности обката зубчатых колес по результатам измерения колебания длины общей нормали//Вестник машиностроения. 1984. № 2. С. 18—21.

21. Тайц Б. А. Точность и контроль зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1972. 368 с.

22. Тайц Б. А., Шабалина М. Б. Контроль параметров точности зубчатых передач. М.: Машиностроение, 1983. 40 с.

23. Точность и производственный контроль в машиностроении: Справочник/И. И. Балонкина, А. К. Кутай, Б. М. Сорочкин и др. — Под ред. А. К. Кутая и Б. М. Сорочкина. Л.: Машиностроение, 1983. 368 с.

24. Шрайбман С. М., Байков А. Н., Кочетов А. Н. Шлифование высокоточных зубчатых колес//Станки и инструмент, 1970. № 10. С. 16—18.

25. Якимов А. В., Смирнов Л. П., Бояршинов Ю. А. Качество изготовления зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1979. 191 с.

РАЗДЕЛ III

Производство конических зубчатых колес

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ БУКВЕННЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ (ГОСТ 19325—73)

Латинский алфавит

- A — базовое расстояние
- B — расстояние от вершины до плоскости внешней окружности вершин зубьев
- b — ширина зубчатого венца
- C — расстояние от базовой поверхности до плоскости внешней окружности вершин зубьев
- c — радиальный зазор
- d — диаметр
- d_e — внешний делительный диаметр
- d_{fe} — внешний диаметр впадин
- d_{fi} — внутренний диаметр впадин
- d_m — средний делительный диаметр
- d_{ae} — внешний диаметр вершин зубьев
- d_{ai} — внутренний диаметр вершин зубьев
- h — высота зуба
- h_a — высота головки зуба
- \bar{h}_a — высота до хорды зуба конического зубчатого колеса
- h_e — внешняя высота зуба
- h_f — высота ножки зуба
- h_j — граничная (рабочая) высота зуба
- j_n — нормальный боковой зазор
- m_n — нормальный модуль
- m_t — окружной модуль
- m_{te} — внешний окружной модуль
- m_{tm} — средний окружной модуль
- p_n — нормальный шаг
- p_{ne} — внешний нормальный шаг
- p_t — окружной шаг
- p_{te} — внешний окружной шаг
- p_{tm} — средний окружной шаг
- R — конусное расстояние
- R_e — внешнее конусное расстояние
- R_i — внутреннее конусное расстояние
- R_m — среднее конусное расстояние
- s_n — нормальная толщина зуба
- s_{ne} — внешняя нормальная толщина зуба

- s_t — окружная толщина зуба
 s_{te} — внешняя окружная толщина зуба
 s_{tm} — средняя окружная толщина зуба
 $\overline{s_e}$ — внешняя толщина по хорде зуба
 $\overline{s_m}$ — средняя толщина по хорде зуба
 u — передаточное число зубчатой передачи
 v — окружная скорость
 x — коэффициент смещения исходного контура
 z — число зубьев
 z_1 — число зубьев шестерни
 z_2 — число зубьев колеса
 z_c — число зубьев плоского зубчатого колеса

Греческий алфавит

- α_n — угол профиля нормального исходного контура
 β — угол наклона линии зуба
 β_e — внешний угол наклона линии зуба
 β_i — внутренний угол наклона линии зуба
 β_m — средний угол наклона линии зуба
 δ — угол делительного конуса
 δ_a — угол конуса вершин
 δ_f — угол конуса впадин
 δ_w — угол начального конуса
 ϵ_a — коэффициент торцового перекрытия
 ϵ_β — коэффициент осевого перекрытия
 ϵ_γ — коэффициент суммарного перекрытия
 θ_a — угол головки зуба
 θ_f — угол ножки зуба
 Σ — межосевой угол зубчатой передачи
 ω — угловая скорость зубчатого колеса

Подстрочные индексы

- n — нормальный
 t — торцовый
 x — осевой
 a — головка зуба
 f — ножка зуба
 1 — шестерня
 2 — колесо

Глава 10

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

10.1. Конструктивные разновидности конических зубчатых колес

Конические зубчатые колеса по конструктивным признакам можно классифицировать на три основных вида: колеса-диски, колеса-валы и колеса со ступицей. На рис. 10.1, *а, б, в* показаны колеса-диски, которые широко применяют в автомобильной промышленности и общем машиностроении. Колеса-диски (рис. 10.1, *а*) чаще применяют диаметром свыше 175 мм, подвергают термической обработке. Колеса-диски (рис. 10.1, *а, б*) применяют в одноступенчатых редукторах легковых и грузовых автомобилей. Колеса-диски с выточкой (рис. 10.1, *в*) обычно применяют в передачах с малым передаточным числом, например в двухступенчатых редукторах автомобилей. Конструкция колеса-вала (рис. 10.1, *г*) является типичной для ведущих шестерен редукторов автомобилей.

Колеса со ступицей (рис. 10.1, *д, е*) получили применение как в автомобилестроении, так и других отраслях машиностроения. Колеса с короткой ступицей имеют гладкое отверстие со шпоночным пазом (рис. 10.1, *д*). На рис. 10.1, *е* показано коническое зубчатое колесо с длинной ступицей и оптимальным расположением шлиц — под зубчатый венцом. Расположения шлиц на конце ступицы (рис. 10.2, *г*) следует избегать, особенно для зубчатых колес, подвергаемых закалке. У колес такого типа вследствие деформирования при термической обработке невозможно достичь концентричности шлиц и зубьев колеса при окончательном шлифовании базовых поверхностей.

При проектировании конического колеса необходимо избегать выступающих поверхностей, которые при нарезании зубьев могут быть прорезаны инструментом, а также учитывать склонность колеса к повышенному деформированию во время термической обработки. Передняя и задняя ступицы (рис. 10.2, *а*) должны располагаться ниже образующей конуса впадины 2 колеса, чтобы предотвратить прорезание резами зуборезной головки 1 этих поверхностей при нарезании зубьев. Базовую шейку (рис. 10.2, *б*) и переднюю ступицу (рис. 10.2, *в*) следует располагать также ниже образующей конуса впадины 2. Когда режущий инструмент при нарезании зубьев дополнительно прорезает выступающие ступицы, фланцы, шейки, снижается стойкость режущего инструмента и ухудшается точность обработки.

Большое влияние на деформирование зубьев колеса-диска (рис. 10.2, *д*) оказывают отверстия 3 под болты, расположенные под зубчатым венцом. Эти отверстия в ряде случаев вызывают неравномерное распределение пятна контакта по длине зуба. Для устранения этого недостатка рекомендуется конструировать колеса с большим числом отверстий, малого диаметра, небольшой глубины и резьбой малого шага. Диаметр посадочного отверстия зубчатого колеса должен быть максимально возможным, а длина отверстия — достаточной для точного и надежного центрирования заготовки. Для колес диаметром 200—400 мм рекомендуется длина отверстия не менее 10—15 мм. Диаметр отверстия у зубчатых колес меньше 6—7 мм не рекомендуется. Ширина зубчатого венца колеса у конических колес средних размеров должна быть не больше $1/3$ длины внешнего конусного расстояния. При большей ширине снижается стойкость инструмента (уменьшается раз-

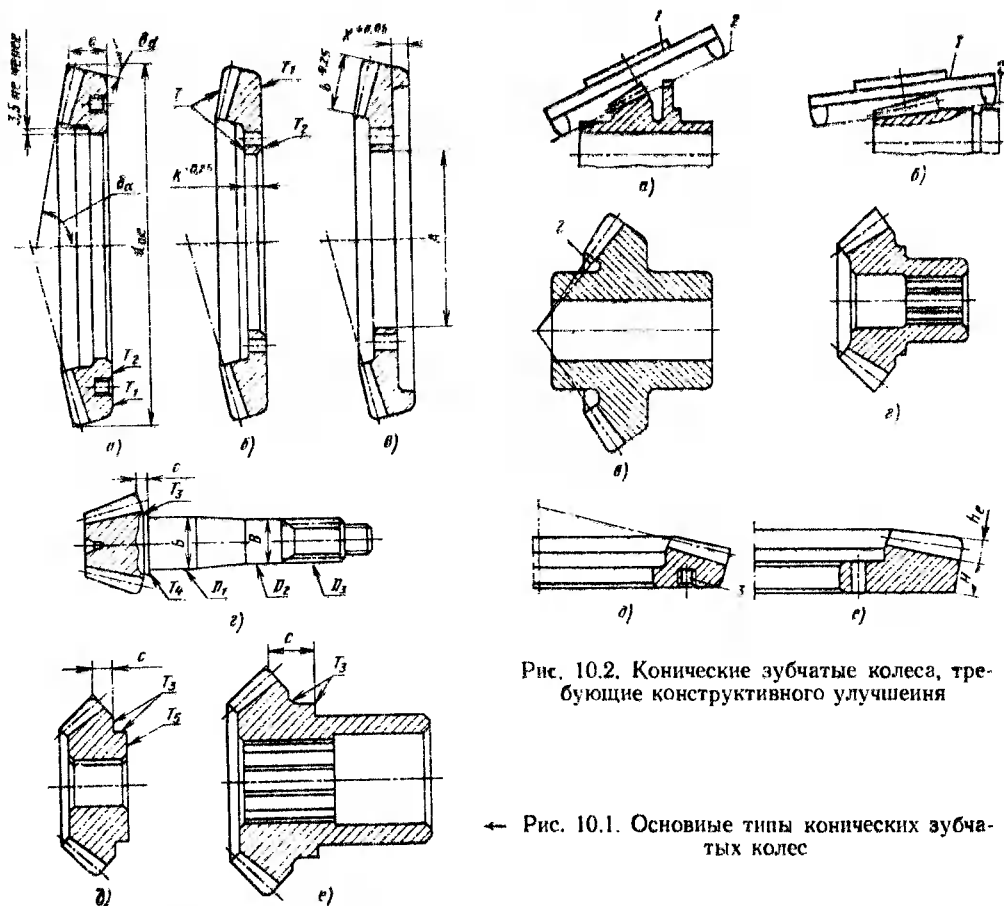


Рис. 10.2. Конические зубчатые колеса, требующие конструктивного улучшения

← Рис. 10.1. Основные типы конических зубчатых колес

вод и ширина вершины резцов) и повышается вероятность поломки зубьев при концентрации нагрузки на носке.

Толщину H тела колеса под зубьями (рис. 10.2, е) выбирают в зависимости от высоты зуба на внешнем торце h_p : а) у прямозубых конических колес общего назначения $H = (0,4...0,6)h_p$; б) у конических и гипонидных колес с круговыми зубьями легковых автомобилей $H = (1,1...1,3)h_p$, грузовых автомобилей и автобусов $H = (1,5...1,7)h_p$.

10.2. Технические требования к заготовкам перед зубонарезанием и после термической обработки

Качество зубчатого колеса в значительной степени определяется его конструкцией и точностью изготовления заготовки. Посадочные отверстия, шейки и опорные торцы в заготовках, которые служат базовыми (установочными) поверхностями во время нарезания и контроля зубьев, являются наиболее ответственными. Следовательно, отверстия и шейки, по которым устанавливают зубчатые колеса в радиальном направлении, необходимо изготавливать с жесткими допуска-

ми, а опорные торцы, определяющие положение зубчатого колеса в осевом направлении, должны быть плоскими и расположены перпендикулярно оси отверстия.

В табл. 10.1 приведены рекомендуемые допуски на размеры отверстий и шеек заготовок конических и гипоидных колес (см. рис. 10.1) с прямыми и криволинейными зубьями, широко применяемых в автомобилестроении и других отраслях машиностроения. Эти допуски назначают в зависимости от степени точности зубчатого колеса.

10.1. Допуски, мм, на размеры базовых отверстий *A* и шейки *B*, *B* заготовок конических зубчатых колес в незакаленном и закаленном виде (см. рис. 10.1)

Номинальный посадочный диаметр, мм	Прецизионные зубчатые колеса делительных механизмов*1		Повышенной точности зубчатые колеса самолетостроения, станкостроения*2		Точные зубчатые колеса автомобилестроения, тракторостроения*3		Зубчатые колеса общего машиностроения*4	
	Шейки <i>B</i> и <i>B</i>	Отверстие <i>A</i>	Шейки <i>B</i> и <i>B</i>	Отверстие <i>A</i>	Шейки <i>B</i> и <i>B</i>	Отверстие <i>A</i>	Шейки <i>B</i> и <i>B</i>	Отверстие <i>A</i>
До 25	—0,0025	+0,0025	—	—	—	—	—	—
От 25 до 100	—0,0025	+0,0025	—0,005	+0,005	—0,015	+0,015	—0,025	+0,025
От 100 до 250	—	—	—0,0075	+0,0075	—0,025	+0,025	—0,050	+0,050
От 250 до 500	—	—	—	—	—0,025	+0,025	—0,075	+0,075
Св. 500	—	—	—	—	—0,050	+0,050	—0,10	+0,10

*1 4—5-я степень точности; зубья шлифованные.

*2 5—6-я степень точности; зубья шлифованные.

*3 7—8-я степень точности; зубья нарезанные и притертые.

*4 8—9-я степень точности; зубья нарезанные.

Другие размеры заготовок, которые ограничивают допуски, следующие: внешний диаметр вершин зубьев d_{ae} и расстояние от базовой поверхности до плоскости внешней окружности вершин зубьев C (табл. 10.2), угол конуса вершин зубьев δ_a и угол заднего конуса δ_d (табл. 10.3). Допуск на угол конуса вершин задается положительным для увеличения радиального зазора.

10.2. Допуски на внешний диаметр вершин зубьев d_{ae} и расстояние от базовой поверхности до плоскости внешней окружности вершин зубьев C (см. рис. 10.1, а), мм

Внешний окружной модуль, мм	d_{ae}	C
Менее 1	—0,075	—0,05
От 1 до 10	—0,15	—0,05
10 и более	—0,25	—0,10

10.3. Допуски (') на угол конуса вершин зубьев δ_a и угол заднего конуса δ_d (см. рис. 10.1, а)

Внешний окружной модуль m_{te} , мм	δ_a	δ_d
Менее 0,75	+30	±60
От 0,75 до 1,5	+15	±30
1,5 и более	+8*	±15*

* Когда конус вершин зубьев или задний конус используют в качестве баз при термической и механической обработках, допуск ужесточают.

Передние торцы заготовок, с которыми соприкасаются прижимные шайбы, гайки и другие детали, должны быть плоскими и параллельными задним базовым торцам, допуск плоскостности и параллельности 0,02—0,04 мм.

Для колеса-вала (рис. 10.1, *з*) максимальное биение поверхностей T_4 , D_1 и D_2 относительно оси в незакаленном и закаленном виде составляет 0,005—0,01 мм (5—7-я степень точности). Биение поверхности D_3 ограничивается допуском в том случае, если она используется для зажима во время зубонарезания и контроля. Максимальное биение до и после термической обработки не более 0,03 мм. После термической обработки центровые фаски тщательно зачищают и деталь правят в прессе. Максимальное биение поверхности D_1 после правки до шлифования не должно превышать 0,025 мм, а поверхности D_2 — 0,04 мм.

Для колес со ступицей (рис. 10.1, *д*) максимальное биение торца T_5 относительно оси до и после термической обработки при диаметре ступицы ниже 75 мм не должно превышать 0,0075 мм, при диаметре 75—150 мм — 0,015 мм, при диаметре 150 мм — 0,025 мм. Опорные торцы T_4 и T_5 шлифуют после термической обработки в том случае, если шлифуют зубья. Если зубья после термической обработки не шлифуют, торцы шлифовать не рекомендуется, чтобы не вносить дополнительные отклонения формы и расположения пятна контакта на зубьях. Когда поверхности T_3 используют для контроля точности установки колеса в редукторе, их необходимо точно обрабатывать и ограничивать допуском.

В процессе термической обработки у колес-дисков деформируются отверстие и опорный торец, что значительно снижает качество зубчатых колес. Чтобы снизить деформации при термической обработке, зубчатые колеса закаливают в штампах. Размеры и расположения поверхностей заготовки T (рис. 10.1, *б*), обычно соприкасающихся с поверхностями штампа, должны иметь малый допуск. Максимальное биение конуса вершин зубьев и фланца в незакаленном виде должно быть не более 0,075 мм. Овальность отверстия до термической обработки не должна превышать 0,025 мм, после термической обработки 0,08 мм.

В табл. 10.4 приведены допуски плоскостности опорного торца колес-дисков после термической обработки, обычно проверяемые щупом на плите. До термической обработки щуп толщиной 0,025 мм не должен проходить при проверке на плите в любой точке со стороны отверстия или внешнего диаметра.

10.4. Допуски*, мм, плоскостности опорного торца колеса-диска после термической обработки (см. рис. 10.1, *а, б*)

Внешний диаметр вершин зубьев, мм	Толщина щупа, мм		Внешний диаметр вершин зубьев, мм	Толщина щупа, мм	
	См. рис. 10.1, <i>а</i>	См. рис. 10.1, <i>б</i>		См. рис. 10.1, <i>а</i>	См. рис. 10.1, <i>б</i>
150—200	0,025/0,05	0,025/0,08	250—330	0,05/0,10	0,05/0,13
200—250	0,04/0,08	0,04/0,10	330—450	0,08/0,13	0,08/0,15

* В числителе для T_1 , в знаменателе для T_2 .

Опорный торец у колес-дисков (рис. 10.1, *а, б*) шлифуют после термической обработки в том случае, если шлифуют зубья. В процессе термической обработки опорный торец с внутренней стороны в точке T_2 деформируется больше, чем с внешней стороны в точке T_1 , вследствие чего пятно контакта на зубьях смещается ближе к пятке. Для конических зубчатых колес диаметром свыше 500 мм допуски увеличиваются пропорционально размеру.

Приведенные допуски на заготовки конических зубчатых колес обеспечивают изготовление зубчатых колес высокой точности (табл. 10.5).

10.5. Отклонение, мм, параметров зубьев зубчатых колес

Параметр	Прецизионные зубчатые колеса делительных механизмов* ¹	Повышенной точности зубчатые колеса самолетостроения, станкостроения* ²	Точные зубчатые колеса автомобилестроения, тракторостроения* ³	Зубчатые колеса общего машиностроения* ⁴
Радиальное биение	0,013	0,025	0,038 — сырые; 0,076 — каленые	0,127
Отклонение окружного шага	0,005	0,005	0,01 — сырые; 0,015 — каленые	0,02

*¹ 4—5-я степень точности; зубья шлифованные.

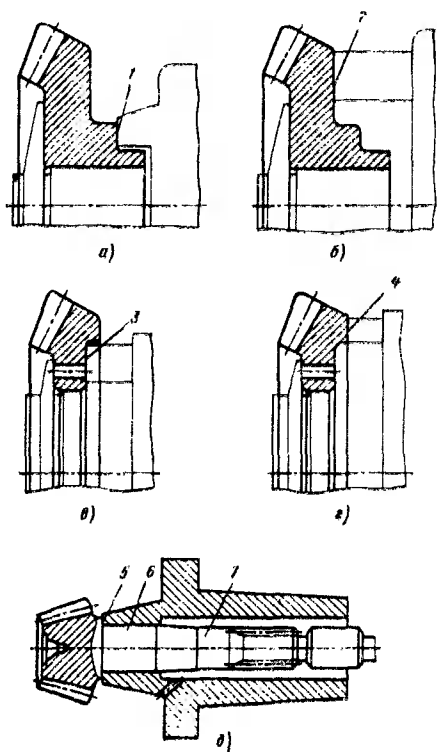
*² 5—6-я степень точности; зубья шлифованные.

*³ 7—8-я степень точности; зубья нарезаны и притерты; окружная скорость до 10 м/с.

*⁴ 8—9-я степень точности; зубья нарезаны.

Примечание. Внешний диаметр прецизионных зубчатых колес от 50 до 450 мм, общего назначения до 650 мм.

10.3. Выбор базовых поверхностей



Наиболее важными поверхностями заготовки конического колеса являются те поверхности, по которым устанавливают зубчатое колесо в радиальном и осевом направлениях при обработке зубьев. К таким поверхностям относятся посадочные отверстия, шейки и опорные торцы. Если позволяет форма и размер колеса, то все операции, связанные с обработкой и контролем зубьев, следует производить с использованием тех же баз, которые являются базами при сборке. Однако иногда в качестве баз при зубонарезании выбирают те поверхности, которые обеспечивают более устойчивое положение заготовки в процессе нарезания зубьев (рис. 10.3, б, г). В этих случаях поверхности, принятые за технологические базы 2 (см. рис. 10.3, б) и 4 (см. рис. 10.3, г), должны быть точно расположены относительно баз 1 (см. рис. 10.3, а) и 3 (см. рис. 10.3, в), используемых при сборке, и посадочных отверстий (рис. 10.3, а, в). Независимо от принятых баз при

Рис. 10.3. Виды базирования:

а, б — колеса со ступицей; в, г — колеса-диски; д — колеса вала

зубонарезании контроль во всех случаях нужно производить с использованием (см. рис. 10.3, *а*) сборочных баз 1 и 3 (см. рис. 10.3, *в*). При базировании колеса-вала по торцу 5 (рис. 10.3, *д*) и одной шейке 6 в процессе зубонарезания жесткость и точность недостаточны, поэтому необходимо базировать колесо-вал на торец 5 и две шейки 6, 7.

10.4. Оформление чертежа на конические колеса с круговыми зубьями

Чертежи конических колес с круговыми зубьями выполняют по ГОСТ 2.405—75, расчет геометрических параметров — по ГОСТ 19326—73. Примеры оформления чертежей приведены в табл. 10.6 и 10.7, основные параметры на зубчатые колеса — там же.

10.5. Типовые технологические маршруты механической обработки конических зубчатых колес

Технология механической обработки конических зубчатых колес зависит от многих факторов: материала, вида заготовки, размера колеса, качества изготовления, размера партии, экономичности изготовления. Важнейшими факторами, которые необходимо учитывать при разработке технологического процесса, являются производительность, качество и экономичность изготовления.

Материал. Состояние стали (твердость, предел прочности на растяжение, структура материала) оказывает большое влияние на прочность зубчатого колеса, обрабатываемость резанием, стойкость режущего инструмента, производительность станка, деформирование при термической обработке, параметр шероховатости поверхности. При обработке цементуемых сталей хороших результатов достигают, когда заготовки перед механической обработкой подвергают изотермическому отжигу. Заготовки должны иметь перлитно-ферритную структуру и твердость HB 170—200. Для заготовок из углеродистых сталей применяют нормализацию.

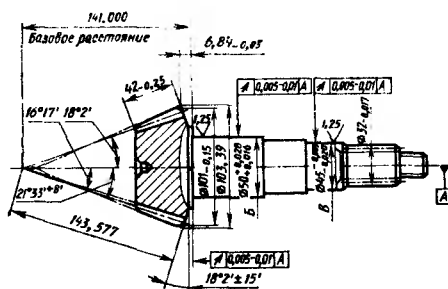
Заготовки должны обрабатываться по малоотходной или безотходной технологии. Малые припуски, помимо экономии металла, позволяют работать на повышенных режимах резания с высокой производительностью, обеспечивая при этом высокую точность обработки.

Размер колеса является определяющим фактором при выборе метода нарезания и модели станков для обработки зубьев и заготовки. Обычно зубчатые колеса с модулем примерно до 4 мм нарезают за одну операцию, если достигается необходимое качество. Колесо с модулем 4—10 мм нарезают за две операции — черновую и чистовую.

Оборудование. Для изготовления небольших партий зубчатых колес выбирают универсальное оборудование, простейшие методы обработки и режущий инструмент. При выпуске большого числа деталей необходимо применять автоматизированное оборудование. Станки должны обеспечивать высокую производительность, должны иметь повышенные жесткость и мощность главного электродвигателя. Зубообработочные станки, на которых выполняются наиболее трудоемкие операции зубообработки, должны иметь резерв жесткости и мощности по сравнению с модулем обрабатываемого колеса в 2—4 модуля.

Требования к качеству изготовления существенно влияют на выбор метода нарезания зубьев и структуру технологического процесса. Высокая точность,

10.7. Оформление чертежа конического колеса-вала



Параметр	Обозначение	Значение	Параметр	Обозначение	Значение
Число зубьев	z_1	14	Высота ножки зуба, мм	h_{f1}	4,37
Внешний окружной модуль, мм	m_{te}	6,35	Радиальный зазор, мм	c	1,19
Ширина зубчатого венца, мм	b	42	Угол ножки зуба	θ_{f1}	1°45'
Тип зуба	—	Круговой	Угол конуса вершин зубьев	δ_{a1}	21°33'
Средний угол наклона линии зуба	β_m	35°	Угол конуса впадин зубьев	δ_{f1}	16°17'
Направление линии зуба	—	Левое	Внешний диаметр вершин зубьев, мм	d_{ae1}	103,39
Угол профиля нормального исходного контура	α_n	20°	Расстояние от вершины до плоскости внешней окружности зубьев, мм	B_1	134,16
Рабочая высота зуба, мм	h_l	10,80	Окружная толщина зуба, мм	s_{te1}	12,21
Внешняя высота зуба, мм	h_e	11,99	Толщина зуба по хорде, мм	\bar{s}_{e1}	—
Межосевой угол	Σ	90°	Высота зуба до хорды, мм	\bar{h}_{a1}	—
Степень точности	—	8—7—7	Нормальный боковой зазор в паре, мм	j_n	0,15—0,20
Внешний делительный диаметр, мм	d_{e1}	88,90	Параметр шероховатости поверхности на профиле зубьев, мкм	Ra	2,0
Угол делительного конуса	δ_1	18°02'			
Внешнее конусное расстояние, мм	R_e	143,577			
Окружной шаг, мм	p_{te}	19,95			
Высота головки зуба, мм	h_{a1}	7,62			

Примечание. Зубчатые колеса следует подбирать для комплекта по пятну контакта и уровню шума, пятно контакта и уровень шума — по эталону.

Плавность вращения и низкий параметр шероховатости поверхности зубьев зубчатых колес требуют дополнительных отделочных операций при обработке базовых поверхностей и профиля зубьев. Станки, зажимные приспособления, режущий инструмент должны обеспечивать высокую точность обработки при использовании оптимальных режимов резания и оптимальных припусков.

Размер партии оказывает определяющее влияние на выбор метода нарезания зубьев и построение технологического процесса. В массовом производстве приме-

няют высокопроизводительные методы с использованием автоматизированного оборудования, прогрессивных конструкций специального режущего инструмента и зажимных приспособлений. В единичном производстве при обработке зубчатых колес с различными параметрами зубьев применяют универсальные оборудование и технологическую оснастку, а также стандартный режущий инструмент.

Экономичность процесса. При выборе метода обработки зубьев и построении технологического процесса все факторы важны, но решающим является экономический, от него обычно зависит окончательный выбор метода нарезания зубьев и технологического процесса.

Технологический процесс обработки зубчатого колеса условно можно разделить на две основные части: механическую обработку заготовки до и после зубообработки и непосредственно зубообработку. По опыту ЗИЛа, основное время, затрачиваемое на зуборезные операции (нарезание зубьев, снятие фасок, подбор в пары и удаление забоин, притирка зубьев), достаточно велико и составляет 70—75 % времени суммарного технологического процесса. Ниже даны рекомендации по выбору наиболее эффективных технологических процессов обработки заготовок и методов нарезания зубьев.

За последнее время технология механической обработки заготовок колесвалов значительно усовершенствована. Подрезку и зацентровку торцов вала производят одновременно специальной инструментальной головкой 1 (рис. 10.4, а). Головку 3 (рис. 10.4, б) и хвостовик 4 конического колеса-вала обрабатывают резцом 5 за один установ заготовки на специальном токарном гидрокопировальном полуавтомате. Центр 1 — подвижной, вращение заготовки передается от шпинделя станка через острые стержни 2, которые внедряются в торец головки колеса под действием заднего центра. Заготовка имеет диаметр 75 мм, длину $l = 245$ мм, время обработки $T_{шт} = 0,96$ мин.

На рис. 10.5, а показана схема обработки заготовки конического колеса со ступицей за две операции. На первой операции производят чистовое протачивание опорного торца, внешнего диаметра ступицы ($\varnothing 60,5_{-0,06}$ мм) и черновое зенкерование отверстия. Заготовку закрепляют по внешней поверхности. На второй операции производят чистовое протачивание конуса вершин зубьев, заднего конуса, переднего торца и растачивание отверстия. Заготовка имеет диаметр 122 мм, $l = 65$ мм, время обработки на каждой операции $T_{шт} = 1,5$ мин.

Схема обработки заготовки конического колеса-диска за две операции показана на рис. 10.5, б. На первой операции производят чистовое растачивание базового отверстия и протачивание опорного торца, на второй операции — чистовое протачивание конуса вершин зубьев, заднего конуса и переднего торца. Заготовка имеет диаметр 165 мм, время обработки на каждой операции $T_{шт} = 0,67$ мин.

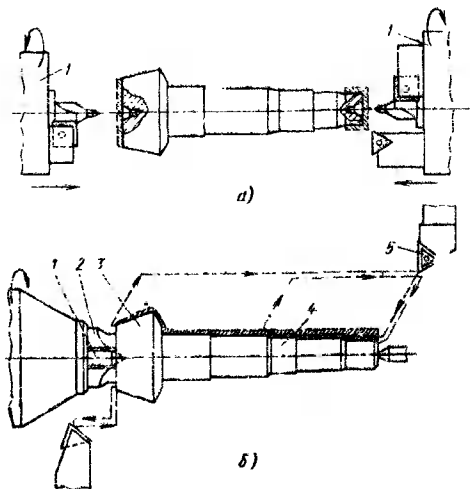


Рис. 10.4. Схемы обработки заготовки конического колеса-вала:

а — подрезка торцов и центрирование; б — проточка по контуру

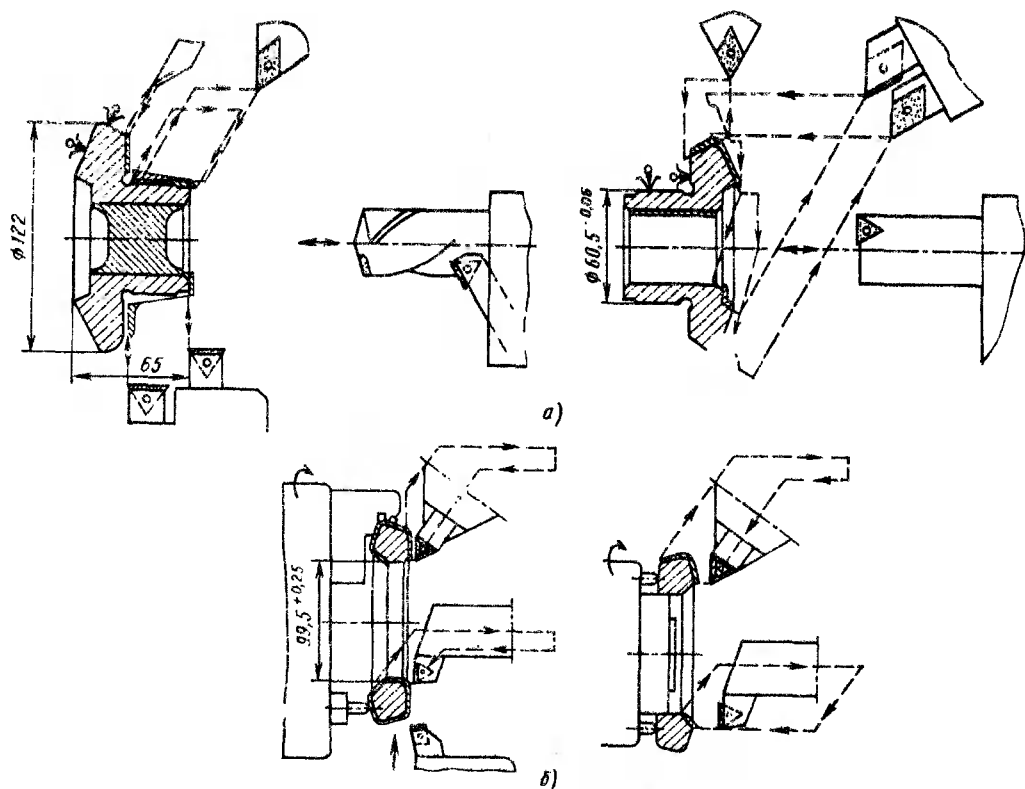


Рис. 10.5. Схемы обработки заготовок:

а — конического колеса со ступицей; б — конического колеса-диска

Шлифование двух базовых торцов и отверстия заготовки конического колеса со ступицей за один установ в трехкулачковом патроне показано на рис. 10.6. Одновременная обработка конструкторской и технологической баз заготовки профильным шлифовальным кругом позволяет обеспечить высокую точность взаимного расположения обрабатываемых поверхностей при высокой производительности. Правка шлифовального круга для обработки базовых торцов осуществляется алмазным роликом 1 и алмазным наконечником 2. Время шлифования, включая правку круга, $T_{шт} \approx 1,25$ мин.

С целью большей эффективности и мобильности автоматизации в мелко- и среднесерийном производстве созданы токарные и токарно-фрезерные гибкие производственные модули (ГПМ). Благодаря возможности комплексной обработки заготовок с одного установка значительно возрастает эффективность ГПМ. Станки с ЧПУ, управляемые от ЭВМ, снабжаются инструментальной револьверной головкой, благодаря чему они могут выполнять токарные, фрезерные и сверлильные работы.

ГПМ представляет собой полностью автоматизированную систему, выполняющую следующие операции: загрузку заготовок, измерение заготовки и коррекцию размера, контроль режущей кромки инструмента, смену инструмента, конт-

роль стойкости и поломки инструмента, контроль процессов обработки и диагностирование отказов. Автоматизация позволяет работать во вторую, третью смены и во время обеденного перерыва при сокращенной численности обслуживающего персонала. Требуется минимальное время на переналадку при смене заготовки благодаря автоматической переналадке инструментов, смене программ и средств зажима.

На токарных операциях широко применяют неперетачиваемые твердосплавные пластины с механическим креплением. Трехслойное покрытие твердосплавных пластин (верхнее покрытие — нитрид титана, среднее — окись алюминия, нижнее — карбид титана) позволяет повысить период стойкости инструмента на 50 % по сравнению со стойкостью инструмента, имеющего покрытия других видов.

При обработке базовых поверхностей заготовок конических колес типа диска и вала в последнее время шлифование заменяют точением. Высокая и стабильная точность достигается с применением на станке устройств активного контроля. Автоматические измерения диаметра заготовки в процессе обработки и подналадка станка обеспечивают более высокую точность диаметра, чем точность, достигаемая другими методами обработки.

При обработке прямозубых конических колес замена строгания зуба двумя резцами фрезерованием двумя дисковыми фрезами методом обката позволяет повысить производительность примерно в 4 раза при одинаковом качестве и сохранении взаимозаменяемости. Замена нарезания зубьев двумя дисковыми фрезами круговым протягиванием позволяет повысить производительность станка более чем в 4,5 раза.

Черновое нарезание конических и гипоидных колес с круговыми зубьями является самой трудоемкой зуборезной операцией, поэтому на этой операции зубья нарезают на специальных высокопроизводительных станках специальными зуборезными головками. Зубья колеса (большого из пары) нарезают методом врезания трехсторонней резцовой головкой, зубья шестерни — методом обкатки двусторонней зуборезной головкой. Зуборезные головки имеют повышенную жесткость и увеличенное число резцов по сравнению со стандартными.

При нарезании зубьев колеса направление вращения зуборезных головок целесообразно выбирать одинаковым с направлением линии зуба. Резание производится от внутреннего конца зуба к наружному, что способствует удержанию заготовки в зажимном приспособлении. Нарезание зубьев шестерни производят с попутной подачей, когда направление вращения зуборезной головки противоположно направлению линии зуба.

При чистовом нарезании зубьев колеса методом копирования (полуобкатная передача) производительность в 3—4 раза выше, чем при обкатке. Чистовое нарезание

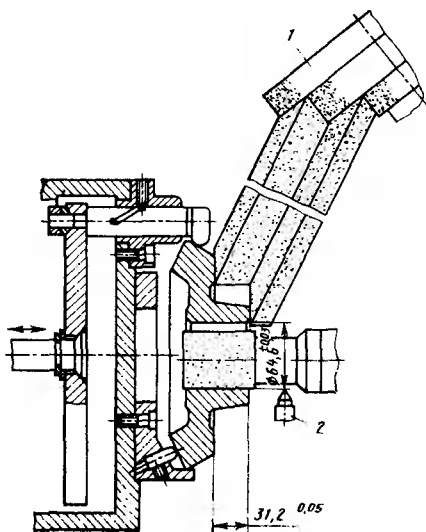


Рис. 10.6. Схема шлифования базовых поверхностей конического колеса со ступицей

зубьев шестерни осуществляют односторонними зуборезными головками методом обкатки с попутной подачей.

Применение твердосплавных зуборезных головок при обработке колес со штампованными и закаленными зубьями повышает производительность и период стойкости инструмента. Покрытие резцов из быстрорежущей стали нитридом титана повышает период стойкости примерно в 2 раза по сравнению с периодом стойкости резцов без покрытия. Значительное повышение производительности и периода стойкости достигается при замене зуборезных головок с затылованными резцами головками с острозаточенными резцами.

Применение станков-автоматов и автоматических линий по сравнению со станками с ручной загрузкой позволяет повысить производительность, качество обработки, высвободить производственных рабочих и т. д. У станков-автоматов при работе методом кругового протягивания производительность выше на 30—40 %, чем у станков с ручной загрузкой. У станков для чернового и чистового нарезания круговых зубьев колес-дисков, соединенных попарно в автоматические линии, производительность на 20—25 % выше, чем станков с ручной загрузкой. Черновое и чистовое нарезание зубьев шестерни на многоцелевых станках, состоящих из специальных четырех станков (два для чернового и два для чистового нарезания), позволяет повысить производительность в 4 раза по сравнению с производительностью обычных станков.

В мелко- и среднесерийном производстве конических зубчатых колес целесообразно применять зуборезные станки с ЧПУ. Быстрая, удобная и надежная наладка с помощью отработанной программы и цифрового управления значительно сокращает время на переналадку и повышает точность обработки. Зуборезные станки с ЧПУ при ограниченном числе осей координат находят применение в автоматических линиях массового производства.

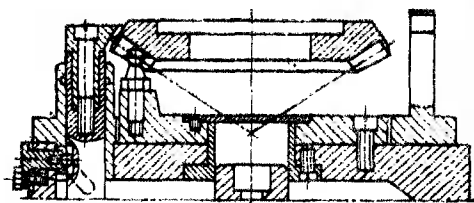
В табл. 10.8—10.9 приведены типовые технологические маршруты обработки конических и цилиндрических зубчатых колес с предварительно формованными зубьями методами горячей штамповки и горячего накатывания. Горячая штамповка и накатывание применяются взамен чернового нарезания зубьев. На первой операции механической обработки конического зубчатого колеса заготовка закрепляется в трехкулачковом патроне и базируется на сферические пальцы по боковым поверхностям зубьев. Качество заготовок с предварительно формованными зубьями целесообразно контролировать в кузнечном и механическом цехах на приспособлении одной и той же конструкции. При обработке цилиндрического зубчатого колеса базой на первой механической операции является внешний диаметр заготовки. Такое базирование проще и обеспечивает требуемое качество. Технологический процесс механической обработки заготовок с предварительно формованными зубьями отличается от стандартного процесса первой операцией, дальнейшие операции практически не меняются.

В табл. 10.10 приведен годовой экономический эффект, полученный при внедрении технологических процессов обработки конических и цилиндрических зубчатых колес с предварительно формованными зубьями на ЗИЛе, Рязанском заводе автомобильных агрегатов, Житомирском заводе «Автозапчасть» и Брянском автомобильном заводе.

На рис. 10.7, 10.8 приведены схемы типовых технологических процессов обработки круговых зубьев автомобильных и авиационных конических колес. В автомобильной промышленности (рис. 10.7) зубья сопряженной пары (колесо и шестерня) нарезают за пять операций. Колесо нарезают за две операции: черновая — методом врезания; чистовая при передаточном числе до 3 : 1 — методом обкатки,

10.8. Технологический маршрут обработки конического колеса-диска с предварительно штампованными круговыми зубьями ($z=25$, $m_{te}=9$ мм, $b=38$ мм, $h=16,99$ мм, $\beta_m=35^\circ$, материал — сталь 18ХГТ, твердость HRC₃ 56—62)

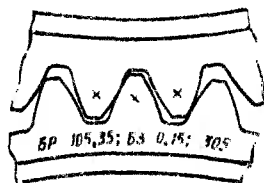
№ по пор.	Эскиз, операция	Оборудование
1	Горячая штамповка заготовок с предварительно формованными зубьями (см. рис. 2.10, а) за два перехода: осадка металла и штамповка зубьев в замковом штампе. Обрезка облоя и прошивка отверстия. Нормализация до твердости HB 156—207	Кривошипный горячештамповочный пресс (КГШП), усилие $4 \cdot 10^7$ Н. Обрезной пресс, усилие $3,15 \cdot 10^5$ Н. Агрегат для нормализации
2	Операционный контроль	Приспособление



3	Базирование заготовки со штампованными зубьями. Обтачивание внешнего и внутреннего торцов. Растачивание и развертывание отверстия. Сверление двенадцати отверстий. База — делительный конус	Токарный вертикальный восьмидесятииндентный полуавтомат
4	Операционный контроль припуска под зубонарезание	Приспособление
5	Обтачивание конуса вершин зубьев, заднего конуса, переднего торца и выточки	Токарный вертикальный двухиндексный восьмидесятииндентный полуавтомат
6	Зенкерование фасок в двенадцати отверстиях одновременно	Сверлильный станок
7	Снятие перемычки во впадине зубьев на внешнем торце	Зубофасочный станок
8	Шлифование внутреннего торца	Внутршлифовальный полуавтомат
9	Операционный контроль — выборочно. Проверка: точности базовых поверхностей, размера зубьев, плоскостности торца	Контрольные приборы
10	Черновое нарезание зубьев методом прерывания. Высота зуба $h_{\pm 0,8}$ мм. Припуск на сторону зуба 0,8 мм	Зуборезный полуавтомат
11	Операционный контроль припуска под чистовое нарезание зубьев	Приспособление
12	Чистовое прерывание зубьев методом обката	Зуборезный полуавтомат

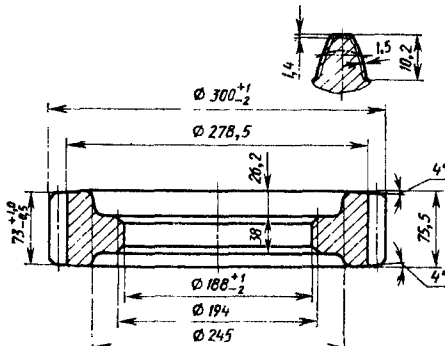
Продолжение табл. 10.8

№ по пор.	Эскиз, операции	Оборудование
13	Операционный контроль. Проверка: бокового зазора, пятна контакта на зубьях, уровня шума, параметра шероховатости поверхности зубьев	Контрольно-обкатной станок
14	Маркирование товарного знака и порядкового номера колеса	Приспособление
15	Промывка	Моечный агрегат
16	Операционный контроль — выборочно по п. 13	Контрольно-обкатной станок
17	Термическая обработка. Газовая цементация и закалка. Глубина цементации 1—1,4 мм, твердость HRC ₁ 56—62	Цементационно-закалочный агрегат
18	Операционный контроль. Проверка: размера отверстия, плоскостности базового торца	Прибор для контроля твердости и приспособление
19	Шлифование отверстия. База — делительный конус	Внутришлифовальный полуавтомат
20	Подбор в пары (комплекты) по боковому зазору, пятну контакта, уровню шума и отсутствию забоин. Удаление заборки и заусенцев на зубьях бормашиной	Контрольно-обкатной станок
21	Притирка подобранного комплекта	Притирочный станок
22	Промывка притертого комплекта	Моечный автомат

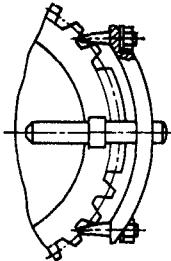


23	Маркировка зубьев сопряженной пары. Присмотровый контроль. В соответствии с требованиями чертежа. На поверхности заднего конуса маркировка для сборки: порядкового номера комплекта, базового расстояния (БР) шестерни и бокового зазора (БЗ) на отмеченных зубьях	Контрольно-обкатной станок
24	Фосфатирование комплектов — по необходимости	Специальный агрегат
25	Транспортирование зубчатой передачи, соответствующей техническим условиям чертежа, комплектно на сборку	Специальная тара

10.9. Технологический маршрут обработки цилиндрического колеса с предварительно формованными косыми зубьями ($z=46$, $m_n=6$ мм, $b=70$ мм, $h=11,23$ мм, $\beta=16^\circ 7' 52''$, $\alpha=20^\circ$, материал — сталь 55ПП, твердость HRC₀ 58—63)

№ по пор.	Эскиз, операция	Оборудование
1	Горячая штамповка заготовки под накатывание зубьев	КГШП, усилие $4 \cdot 10^7$ Н
		
2	Заготовка цилиндрического колеса с накатанными зубьями Горячее накатывание заготовки с предварительно формованными косыми зубьями за два перехода: калибрование и накатывание. Нормализация до твердости HB 159—196	Зубопркатный стан-автомат ЗПС-350, ВНИИметмаш. Агрегат для нормализации
3	Операционный контроль	Приспособление
4	Обтачивание внешнего и внутреннего торцов. Растачивание и развертывание отверстия. Растачивание отверстия выточки. Сверление и зенкерование двенадцати отверстий. База — внешний диаметр зубчатого венца	Токарный вертикальный восьмишпиндельный полуавтомат
5	Обтачивание внутреннего торца и растачивание отверстия выточки	Токарный полуавтомат
6	Обтачивание внешнего и внутреннего торцов заготовки с противоположной стороны. Растачивание отверстия выточки	Токарный вертикальный двухиндексный восьмишпиндельный полуавтомат
7	Обтачивание внешнего торца зубчатого венца и чистовое растачивание отверстия выточки	Токарный полуавтомат
8	Зенкерование фаски в двенадцати отверстиях с двух сторон с поворотом	Сверлильный станок
9	Операционный контроль. Выборочная проверка точности базовых поверхностей, размера зубьев, биения базовых торцов. Припуск на сторону зуба 1,5 мм	Контрольные приборы

Продолжение табл. 10.9

№ по пор.	Эскиз, операция	Оборудование
		
10	<p>Фиксатор для установки зубчатого колеса на зубофрезерном станке</p> <p>Нарезание зубьев методом обкатки. Впадина зубьев фрезы обрабатывает внешний диаметр зубчатого венца. База — отверстие и внешний торец зубчатого венца. Фиксирование по двум впадинам</p>	Зубофрезерный полуавтомат
11	<p>Операционный контроль. Проверка колебания измерительного межосевого расстояния за один оборот колеса и на одном зубе. Припуск на толщину зуба под шевингование 0,10—0,13 мм</p>	Прибор для контроля измерительного межосевого расстояния
12	<p>Снятие фасок с острых кромок зубьев с двух сторон одновременно</p>	Зубофасочный полуавтомат
13	<p>Клеймение товарного знака</p>	Приспособление
14	<p>Промывка</p>	Моечный агрегат
15	<p>Шевингование. База — отверстие и внутренний торец</p>	Зубошевинговальный полуавтомат
16	<p>Операционный контроль по п. 11, а также проверка бокового зазора, пятна контакта, уровня шума и параметра шероховатости поверхности зубьев</p>	Прибор (см. п. 11) и контрольно-обкатной станок
17	<p>Промывка</p>	Моечный агрегат
18	<p>Операционный контроль выборочно по п. 16</p>	Прибор и станок (см. п. 16)
19	<p>Термическая обработка. Поверхностная закалка зубчатого венца с нагревом ТВЧ. Глубина закаливаемого слоя 1—2,5 мм. Твердость HRC₅ 58—63</p>	Закалочный агрегат-автомат, установленный в поточной линии
20	<p>Операционный контроль твердости</p>	Прибор
21	<p>Шлифование отверстия и внутреннего торца. База — делительный диаметр колеса</p>	Внутришлифовальный полуавтомат

Продолжение табл. 10.9

№ по пор.	Эскиз, операция	Оборудование
22	Шлифование внутреннего торца с противоположной стороны. База — делительный диаметр колеса	Внутришлифовальный полуавтомат
23	Операционный контроль. Проверка размера диаметра отверстия, перпендикулярности отверстия и торца	Приспособление
24	Прикатка — удаление заусенцев и забоин	Станок. Бормашина
25	Зубохонигование	Зубохониговальный полуавтомат
26	Операционный контроль по п. 16	Прибор по п. 16
27	Промывка	Мощный агрегат
28	Приемочный контроль в соответствии с требованиями чертежа	Приборы и контрольно-обкатной станок
29	Транспортирование зубчатых колес, соответствующих техническим условиям чертежа, на сборку	Специальная тара

10.10. Экономические показатели, полученные при внедрении заготовок с предварительно формованными зубьями (массовое производство)

Показатель	Колесо					
	полуосевое дифференциала		сателлитовое дифференциала		коническое с круговыми зубьями	цилиндрическое с косыми зубьями
	$z=22$; $m_{te}=6,35$ мм; $b=26$ мм	$z=18$; $m_{te}=8$ мм; $b=26$ мм	$z=11$; $m_{te}=6,35$ мм; $b=26$ мм	$z=10$; $m_{te}=8$ мм; $b=26$ мм	$z=25$; $m_{te}=9$ мм; $b=38$ мм	$z=46$; $m_{te}=6$ мм; $b=70$ мм
Экономия металла, т	639	46	514	45	155	650
Сокращение операций	Зенкерование и черновое зубонарезание		Черновое зубонарезание		Черновое зубонарезание заменено на полустоговое	Черновое зубонарезание
Высвобождение оборудования, ед.	17	5	8	5	2	13
Годовой экономический эффект, тыс. руб.	381	98	123	107	38	27

при передаточном числе свыше 3 : 1 (полуобкатная передача) — методом копирования. Фаски на зубьях обычно снимают при черновом нарезании зубьев колеса. Зубья шестерни нарезают следующим образом: при черновой операции методом обкатки двусторонней головкой; при чистовой операции каждую сторону зуба,

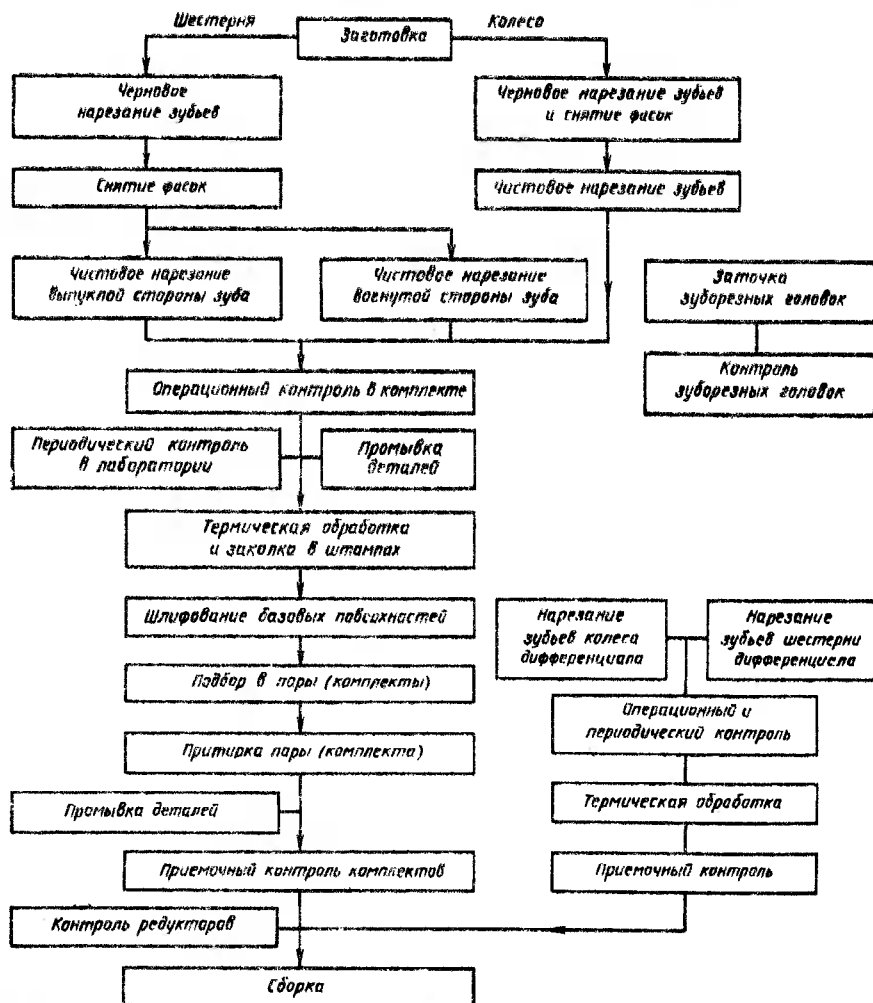


Рис. 10.7. Схема технологического процесса обработки автомобильных конических и гипонидных колес с круговыми и прямыми зубьями

выпуклую и вогнутую, обрабатывают методом обкатки отдельно на отдельных станках — односторонней головкой. Зубья колеса нарезают на расчетных установках станка, а пятно контакта корректируют при нарезании зубьев шестерни. Этот процесс обеспечивает высокую точность обработки, позволяет быстрее и точнее производить подгонку пятна контакта на зубьях шестерни.

Колеса-валы длиной свыше 300 мм обычно закаливают в штампах. Колеса-диски, как правило, закаливают в штампах закалочных прессов. Закалка в штампах значительно уменьшает деформации в результате термической обработки. Чистой операцией при обработке зубьев является притирка сопряженной пары.

Конические зубчатые колеса для вертолетов, самолетов и других летательных аппаратов должны быть более высокой точности, чем автомобильные, поэтому их обрабатывают по другой технологии (см. рис. 10.8).

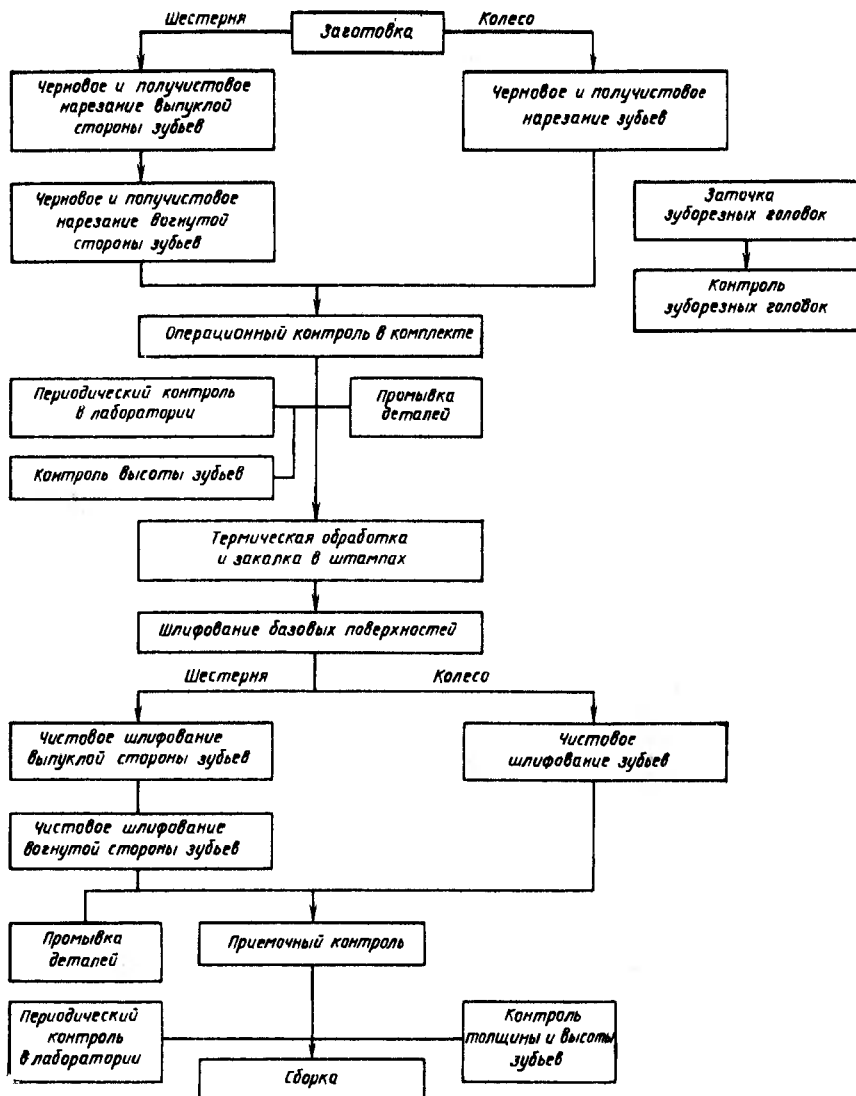


Рис. 10.8. Схема технологического процесса обработки авиационных конических колес с круговыми зубьями

Нарезание зубьев до термической обработки производят с более высокой точностью и припуском под последующее шлифование зубьев. С этой целью после чернового нарезания зубьев вводят получистовое. Нарезание зубьев шестерни осуществляют за две операции. При качении люльки вверх производят черновое нарезание зубьев, в крайнем верхнем положении осуществляется врезание на небольшую глубину, меняются наладочные установки станка и режимы резания. При качении люльки вниз производят получистовую обработку, например, выпуклой стороны зуба. На другом станке осуществляют получистовую обработку

вогнутой стороны зуба. После термической обработки чистовой операцией обработки зубьев является шлифование. Зубья колеса шлифуют двусторонним методом. Каждую сторону зуба шестерни (выпуклую и вогнутую) шлифуют отдельно на отдельных станках методом постоянных установок.

Для обеспечения высокого качества изготовления зубчатых колес применяют контроль трех видов.

1. Операционный контроль включает контроль базовых поверхностей заготовки и основных параметров зубьев после зуборезных операций. Такой контроль производят на участке около обрабатывающих станков — выборочно, периодически, на простых приспособлениях.

2. Периодический контроль выполняют на специальных приборах, установленных в измерительной лаборатории. Контролируют кинематическую погрешность в однопрофильном зацеплении, пятно контакта, погрешности шага, радиальное биение. У авиационных колес дополнительно проверяют высоту зуба.

3. Приемочный контроль производят в соответствии с требованиями чертежа. У автомобильных зубчатых передач наибольшее внимание уделяют контролю уровня шума, формы и расположения пятна контакта на зубьях, бокового зазора на контрольно-обкатном станке. У авиационных зубчатых колес, помимо проверки пятна контакта сопряженной пары на контрольно-обкатном станке, большое внимание уделяют контролю точностных параметров: кинематической точности, погрешности шага, радиального биения, высоты зуба.

В последние годы наметилось новое направление в повышении эффективности технологии обработки зубьев конических и гипоидных передач автомобильного типа. При нарезании сопряженной пары (колеса и шестерни) вместо пяти зуборезных операций применяют только две; как зубья колеса, так и зубья шестерни нарезают за одну операцию двусторонним способом; в качестве режущего инструмента применяют высокопроизводительные зуборезные головки с острозаточенными резцами. Новый метод внедряется на ЗИЛе при изготовлении гипоидной передачи с равновысоким зубом и продольной кривизной, выполненной по удлиненной эпициклоиде. Зубья нарезают методом непрерывного деления. Аналогичные работы проводятся на ЗИЛе при изготовлении конических и гипоидных зубчатых передач легкового и грузового автомобилей.

Глава 11

ОБРАБОТКА КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС С ПРЯМЫМИ ЗУБЬЯМИ

11.1. Методы нарезания зубьев

Для нарезания прямозубых конических колес применяют три основных метода.

Метод копирования. Профиль зуба колеса образуется посредством профильного инструмента, у которого профиль режущей части соответствует форме впадины зубьев нарезаемого колеса. В качестве режущего инструмента применяют дисковые и пальцевые модульные фрезы, профильные резцы и другие инструменты. После нарезания получается приближенный профиль, поэтому в большинстве случаев этот метод применяют для чернового нарезания зубьев. В условиях единичного и мелкосерийного производства его применяют при изготовлении зубча-

тых колес передач 9—11-й степени точности на универсально-фрезерных станках с применением делительных головок. При использовании этого метода на специальных станках с применением специального режущего инструмента достигается высокая производительность, которая удовлетворяет условиям массового производства. Например, нарезание одной впадины зубьев методом кругового протягивания специальной зуборезной головкой-протяжкой большого диаметра производят за один оборот в течение 3—5 с.

Метод обкатки. В настоящее время он является основным для изготовления конических колес с прямыми зубьями. При нарезании методом обкатки зубья имеют октоидный профиль, который образуется на зубьях путем зацепления обрабатываемого колеса с воображаемым производящим колесом. Прямые режущие кромки зубострогальных резцов или зубья дисковых фрез во время движения обкатки воспроизводят боковые поверхности зубьев производящего колеса. Нарезание конических колес с прямыми зубьями методом обкатки производят на зубострогальных станках двумя резцами и зубофрезерных двумя дисковыми фрезами. Стругание — универсальный метод, обеспечивающий высокую точность, производительность станка сравнительно низкая. Этот метод широко применяют в индивидуальном и мелкосерийном производстве. Нарезание зубьев двумя дисковыми фрезами на зубофрезерных станках характеризуется высокой производительностью и применяется в серийном и массовом производстве.

Метод нарезания по шаблону. Он используется для изготовления крупноmoduleных зубчатых колес. Профиль зубьев нарезаемого колеса определяется профилем шаблона, который может иметь вид любой кривой. Возможна модификация формы зуба колеса в направлении длины и высоты профиля. Станки, работающие по этому принципу, применяют в единичном и мелкосерийном производстве преимущественно на заводах тяжелого машиностроения.

11.2. Нарезание дисковыми модульными фрезами

Дисковыми модульными фрезами в единичном и мелкосерийном производстве конические колеса с прямыми зубьями нарезают на фрезерных станках с делительными головками или специальными приспособлениями методом копирования (врезания). Для чернового нарезания зубьев обычно применяют фрезы с нешлифованным профилем зубьев, для чистового нарезания — фрезы со шлифованным профилем. Стандартизовано два набора фрез. Набор из восьми фрез предназначен для нарезания зубчатых колес с модулем до 8 мм, набор из 15 фрез — для колес с модулем свыше 8 мм. Выбор фрезы из стандартного комплекта при нарезании конических колес с прямыми зубьями производят по приведенному числу зубьев $z_{пр}$: $z_{пр} = z_1 / \cos \delta_1 = z_2 / \cos \delta_2$, где z_1 , z_2 — число зубьев соответственно шестерни, колеса; δ_1 , δ_2 — угол делительного конуса соответственно шестерни, колеса.

Номера дисковых модульных фрез в зависимости от числа нарезаемых зубьев следующие:

Номер фрезы . . .	1	2	3	4	5	6	7	8
Приведенное число зубьев . . .	12—13	14—16	17—20	21—25	26—34	35—54	55—134	135

В серийном и массовом производстве черновое нарезание прямозубых конических колес производят методом копирования на специальных зубофрезерных станках серии ЕЗ Егорьевского станкостроительного завода «Комсомолец».

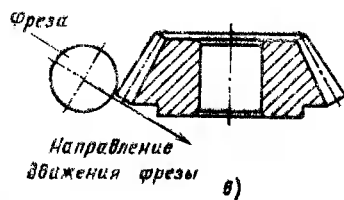
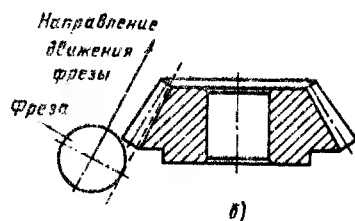
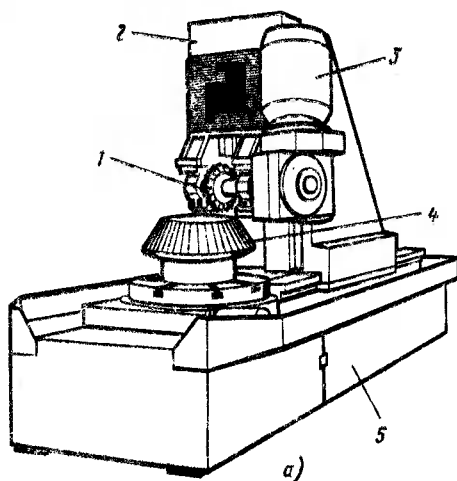
Рис. 11.1. Нарезание конических колес с прямыми зубьями дисковыми фрезами:

а — общий вид станка; *б* — движение фрезы в направлении образующей конуса впадины; *в* — движение фрезы перпендикулярно образующей конуса впадины

Станок ЕЗ-40 имеет двухпозиционный поворотный стол. На рабочей позиции комплектом дисковых фрез одновременно нарезают две—четыре заготовки в зависимости от их диаметра. На другой позиции в это время производится смена заготовок. Во время нарезания зубьев заготовка неподвижна. Стандартные дисковые модульные фрезы для чернового нарезания зубьев конических колес не обеспечивают минимального припуска под чистовое зубонарезание. Поэтому для каждого модуля и числа зубьев нарезаемого колеса проектируют специальные дисковые фрезы. Профиль зубьев делают близким к профилю впадины на внешнем торце, а ширины вершины режущих зубьев принимают равной ширине впадины зубьев на внутреннем торце и уменьшают на значение припуска под чистовое зубонарезание.

В последнее время наметилось новое направление в повышении производительности при черновом нарезании зубьев цилиндрических и конических колес путем создания жестких и мощных специализированных зубофрезерных станков с ЧПУ и применения твердосплавных дисковых фрез. Фирма «Гульд Эбергард» (США) создала гамму из четырех типов унифицированных высокопроизводительных зубофрезерных станков SB Gacher для чернового нарезания зубьев зубчатых колес с модулем 12,7—34 мм и диаметром 900—3000 мм. Станки этой гаммы предназначены для нарезания цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями; цилиндрических и конических колес с прямыми зубьями и зубчатых гребенок. При черновом нарезании зубьев цилиндрических колес производительность повышается более чем на 70 %, а при черновом нарезании конических колес с прямыми зубьями — более чем на 90 % по сравнению с производительностью, достигаемой другими методами обработки. Стоимость дисковых твердосплавных фрез ниже стоимости червячных фрез.

На рис. 11.1, *а* показан общий вид станка Gacher с ЧПУ для чернового нарезания конических колес с прямыми зубьями методом копирования твердосплавной дисковой фрезой сборной конструкции. Станок имеет простую кинематическую схему, массивную станину 5 и вертикальную колонну 2 с широкими закаленными шлифованными направляющими. точный поворотный делительный стол с точностью деления 0,001°. Фреза 1 закреплена в жесткой короткой оправке.



Вращение инструмент получает от отдельного электродвигателя 3 мощностью 18—50 кВт. Частота вращения фрезы 20—120 мин⁻¹. Перемещение суппорта фрезы и стола с заготовкой 4 производится с помощью винтовой шариковой пары. Движение подачи фрезы — бесступенчатое, скорость подачи 0—750 мм/мин. Диаметр дисковых фрез 355 и 457 мм. Нарезание конического зуба осуществляется благодаря одновременным движениям подач — вертикальному (фреза) и горизонтальному (заготовка), подачи различные. Обычно при нарезании конического зуба фреза перемещается в направлении образующей конуса впадин (рис. 11.1, б). На станке последней конструкции осевое движение резания суппорта фрезы складывается из трех различных движений подачи: радиального перпендикулярно образующей конуса впадин; в направлении образующей конуса впадин зуба (подача составляет 200—300 % радиальной подачи); при выходе фрезы из заготовки (подача составляет 150—200 % подачи вдоль конуса впадин). Введением радиального движения подачи врезания перпендикулярно образующей конуса впадин (рис. 11.1, в) обеспечиваются благоприятные условия резания (без ударов) для инструмента в начале обработки, увеличивается период стойкости фрезы, уменьшаются поломки и выкрашивание режущих кромок на зубьях фрезы. При достижении полной высоты зуба радиальное движение подачи прекращается. Отклонение угла наклона конуса впадин при ширине зубчатого венца 215 мм составляет $\pm 0,002^\circ$. Цикл работы станка с изменением и согласованием значений скорости подач программируется и выполняется автоматически.

Охлаждение при нарезании зубьев колеса твердосплавными фрезами не применяют. В некоторых случаях рекомендуется направлять в зону резания струю воздуха, чтобы удалять тонкие частицы металла, прилипшие к режущей кромке. Такая стружка бывает очень прочной, может привести к образованию трещин на режущей кромке и вызвать поломку.

При черновом нарезании из впадин зубьев удаляется 80—85 % металла. Новые станки имеют достаточную гибкость наладки, обеспечивают высокую точность по шагу заготовок и минимальный припуск под чистовое нарезание зубьев. Коническое колесо с прямыми зубьями ($z = 25$, $m_{te} = 25,4$ мм, $b = 127$ мм, $h = 45,72$ мм, сталь 40ХНМ, твердость HB 340) нарезается за один рабочий цикл дисковой твердосплавной сборной фрезой диаметром 355 мм. Режимы резания $v = 97,5$ м/мин, скорость подачи фрезы 355 мм/мин, штучное время 25 мин.

11.3. Нарезание двумя зубострогальными резцами

Нарезание конических колес с прямыми зубьями двумя резцами производят на зубострогальных станках методом обкатки. В процессе обработки на этих станках осуществляется зацепление зубьев обрабатываемого колеса с воображаемым производящим колесом. Резцы представляют собой зуб производящего колеса, а прямолинейные режущие кромки резцов являются сторонами смежных зубьев производящего колеса. Во время взаимной обкатки обрабатываемого колеса и резцов осуществляется формирование профиля зубьев колеса.

Этот метод универсален, обеспечивает высокое качество обработки простым и дешевым инструментом. Производительность станка относительно низкая. Метод широко применяется в единичном и серийном производстве. На станках нормальной точности достигается 7—8-я степень точности, а на станках повышенной точности — 6—7-я (ГОСТ 1758—81).

На рис. 11.2, а показана принципиальная кинематическая схема зубострогального станка. Обкатная люлька 2 станка, несущая суппорты с резцами

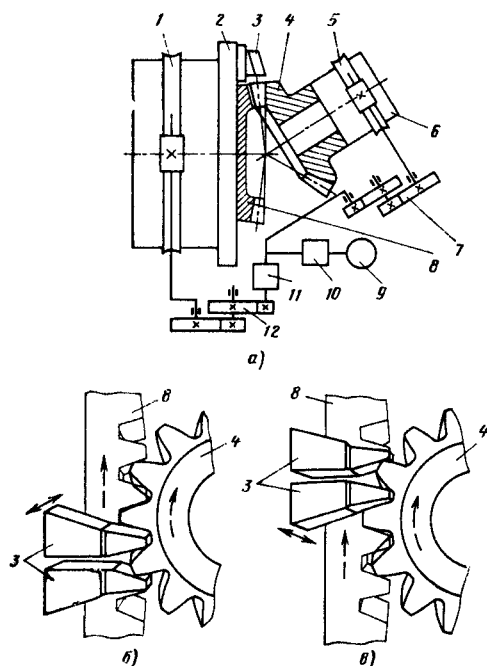


Рис. 11.2. Нарезание конических колес на зубострогальном станке:

а — принципиальная кинематическая схема станка; б, в — расположение резцов соответственно в начале и конце резания

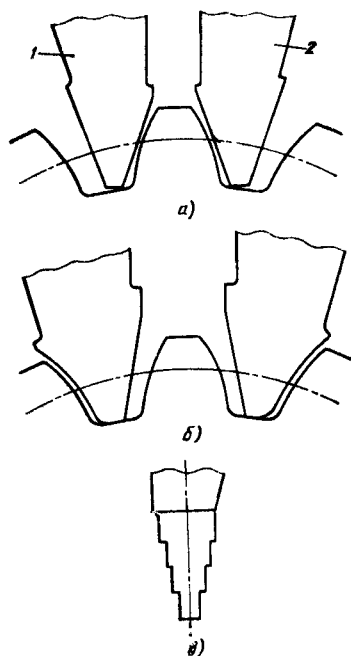


Рис. 11.3. Черновое строгание зубьев:

а — методом двойного деления; б — фасонными резцами; в — черновой резец с стружкоделительными канавками

3, кинематической цепью связана со шпинделем бабки 6 заготовки, на котором установлена заготовка 4. Последняя находится в зацеплении с производящим колесом 8. Кинематическая цепь станка состоит из червячных передач 1 и 5, приводящих во вращение люльку и шпиндель заготовки, гитар деления 7 и обкатки 12, а также механизма деления 11. Привод осуществляется от главного электродвигателя 9 через коробку скоростей 10, вращающую выходной вал то в одну, то в другую стороны.

Зубострогальные станки имеют механизм для образования бочкообразности по длине зуба. Бочкообразность составляет 0,02—0,05 мм на сторону зуба и зависит от длины зуба. Высота зубьев при черновом нарезании на 0,1—0,3 мм больше высоты, заданной чертежом.

При черновом нарезании зубьев методом одинарного деления оба резца, имеющие прямолинейные режущие кромки, обрабатывают противоположные стороны зуба. Этот метод применяют для обработки колес с большой шириной зубчатого венца в единичном и мелкосерийном производстве.

При методе двойного деления (рис. 11.3, а) верхний 1 и нижний 2 резцы работают каждый в отдельной впадине: одновременно обрабатываются две впадины зуба. Резцы имеют трапецевидный профиль, их проектируют отдельно для каждого колеса. Настройку механизма деления станка производят на число зубьев, вдвое меньшее числа зубьев нарезаемого колеса. Этот высокопроизводительный метод применяют в серийном производстве для чернового нарезания зубьев ко-

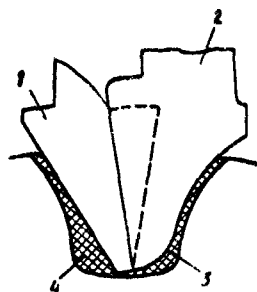


Рис. 11.4. Распределение припуска при черновом нарезании зубьев стандартными и фасонными резцами

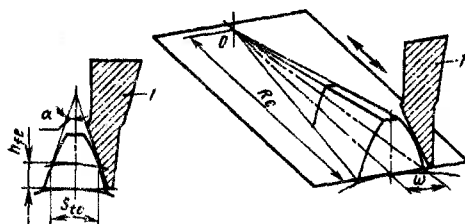


Рис. 11.5. Схема движения резцов при зубострогании

нических колес с модулем свыше 6 мм, числом зубьев более 24 и шириной зубчатого венца не более $0,25R_e$. Производительность станка по сравнению с производительностью станка, осуществляющего одинарное деление, выше на 80 %.

При чистовом нарезании конических колес с малым числом зубьев двумя резцами припуск по высоте профиля зуба неравномерен, наибольшая часть припуска 4 (рис. 11.4) снимается в ножке зуба. Это вызывает быстрое изнашивание инструмента, увеличение параметра шероховатости поверхности профилей зубьев и погрешности шага. Для уменьшения припуска в этой зоне под чистовую обработку у колес с числом зубьев менее 24 и модулем 2—6 мм черновое нарезание зубьев целесообразно производить фасонными резцами 2. Припуск 3 по высоте профиля зуба после чернового нарезания фасонными резцами 2 меньше и распределен значительно равномернее, чем припуск 4, полученный после нарезания стандартными резцами 1. Форма режущей кромки фасонного резца приблизительно соответствует форме окончательно обработанного профиля зуба колеса на внешнем торце. Черновое нарезание зубьев фасонными резцами способствует повышению точности, производительности и стойкости инструмента при чистовой обработке зубьев.

При черновом нарезании крупномодульных зубчатых колес применяют резцы с стружкоделительными канавками, выполненными на режущей кромке для дробления стружки. Если эти резцы используют взамен стандартных, то ими обрабатывают противоположащие стороны зуба. Когда стружкообразовательные канавки расположены с обеих сторон резца (рис. 11.3, в), одним резцом одновременно обрабатывают обе стороны впадины зуба. Такие резцы применяют для черновой обработки зубчатых колес с шириной зубчатого венца более $0,3R_e$. После обработки резцами с стружкоделительными канавками рекомендуется вводить получистовую обработку зуба перед чистовой.

На рис. 11.5 показана схема установки и траектория движения резцов при нарезании прямых зубьев. Чтобы режущие кромки резцов при движении воспроизводили боковые поверхности зубьев производящего колеса, поворотные резцедержатели резцов 1 устанавливают на угол конусности зуба $\omega^{(1)}$, который рассчитывают по формуле $\omega = \frac{3438}{R_e} \left(\frac{s_{fe}}{2} + h_{fe} \tan \alpha \right)$, где R_e — внешнее конусное расстояние; s_{fe} — внешняя окружная толщина; h_{fe} — внешняя высота ножки зуба; α — угол профиля.

Изменение угла конусности зуба используют для уменьшения или увеличения толщины зуба, а также при корректировке пятна контакта по длине зуба.

Вершины резцов должны быть расположены в плоскости, перпендикулярной оси люльки и проходящей через центр станка, а траектории движения вершин резцов и боковых режущих кромок должны пересекать центр станка, вокруг которого поворачивается бабка с обрабатываемым колесом на угол конуса впадин. Чтобы обеспечить эти условия, резцы устанавливают по высоте и по профилю специальными калибрами. На рис. 11.6, а показана схема установки резцов по высоте. Резец 1 перемещают по длине резцедержателя до тех пор, пока индикатор 3 прибора 2, предварительно установленный по специальному калибру, не покажет нуль. В этом положении резец закрепляют. Аналогично устанавливают другой резец. Установка резцов по профилю показана на рис. 11.6, б. Перед установкой резцов индикатор прибора устанавливают на нуль по специальному калибру. Установочный прибор 1 располагают на станке так, чтобы наконечник 3 индикатора 2 контактировал с режущей кромкой резца 4. Резец вместе с резцедержателем перемещают вверх или вниз до тех пор, пока стрелка индикатора не покажет нуль. Клин 5 устанавливают по риску в нулевое положение, которое соответствует номинальному углу профиля резца. С помощью этого клина регулируется угол профиля резца при корректировке пятна контакта по высоте профиля зубьев.

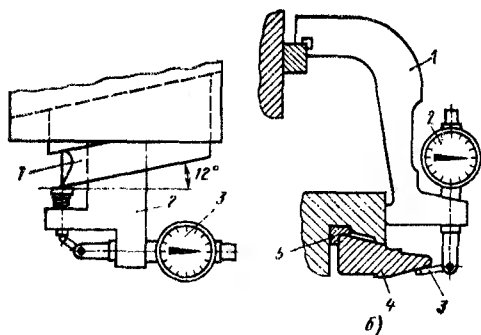


Рис. 11.6. Схемы установки резцов:
а — по высоте; б — по профилю

11.4. Нарезание двумя дисковыми фрезами

Этот метод характеризуется более высокой производительностью по сравнению с зубостроганием. Обработка производится двумя спаренными дисковыми фрезами 2 (рис. 11.7), наклоненными друг к другу и расположенными в одной впадине зуба нарезаемого колеса 1. Резцы 3 одной фрезы входят в промежутки между резцами 4 другой фрезы. Каждая фреза обрабатывает свою сторону зуба 5.

Нарезание конических колес с прямыми зубьями дисковыми фрезами можно производить методами обкатки, врезания и комбинированным. При методе обкатки прямолинейные режущие кромки инструмента кроме вращения совершают совместно с обрабатываемым колесом согласованное движение в вертикальной плоскости, в результате которого они воспроизводят боковые поверхности зубьев производящего колеса и таким образом формируют профиль зубьев обрабатываемого колеса. Во время обработки фрезы вдоль зуба колеса не перемещаются, поэтому дно впадины зуба имеет слегка вогнутую поверхность. По концам зуба глубина впадины соответствует чертежу, а в середине несколько больше. Зубья колеса имеют октоидный профиль и взаимозаменяемы с зубьями колес, обработанных строганием двумя резцами. Для получения бочкообразности по длине зуба колеса режущие кромки 7 фрезы 2 располагают под небольшим углом к плоскости вращения. Описывая во время вращения коническую поверхность 6, режущие кромки 7 по концам зуба 5 колеса снимают больше металла, чем в середине. Бочкообразность определяется углом поднутрения режущих кромок 7 и выбирается в зависимости от требуемой длины пятна контакта. Практически можно получить длину пятна контакта равной $1/3 - 2/3$ ширины зубчатого венца.

При черновом нарезании зубьев методом врезания люлька закрепляется в среднем (центральной) положении серьгой вместо шестерни обкатки. В процессе обработки люлька и заготовка остаются неподвижными, а каретка с заготовкой подается на вращающиеся фрезы. Когда достигается полная высота зуба, заготовка отводится назад и производится поворот нарезаемого колеса для обработки следующего зуба.

При комбинированном методе обработки зубьев в начале цикла обкатная люлька находится в центральной положении неподвижно, а каретка с заготовкой за счет движения подачи врезания перемещается по направлению к вращающемуся инструменту. Форма впадины зуба соответствует форме профиля инструмента. Незадолго до достижения полной высоты зуба движение подачи врезания прекращается и включается движение подачи обкатки. Обрабатываемая заготовка колеса и обкатная люлька из центрального положения перемещаются в нижнее положение, осуществляя выравнивание припуска по высоте профиля зуба под чистовую обработку. В крайнем нижнем положении заготовка подается на инструмент на глубину 0,2—0,4 мм до достижения полной высоты зуба. Затем включается быстрое движение обкатной люльки вверх для чистовой обработки зубьев методом обкатки. В верхнем положении обкатной люльки зубчатое колесо отводится от инструмента, люлька переключается на движение вниз в исходное среднее положение и одновременно происходит деление заготовки для обработки следующего зуба.

Дисковые фрезы должны поставляться в комплекте, разность их диаметров не должна превышать 0,05 мм, фрезы следует использовать комплектно до окончания срока их службы. Перед установкой на станок внешний диаметр фрез измеряют специальным калибром и определяют разность диаметров новых (заточенных) дисковых фрез и ранее работавших на станке. Полученная разность учитывается при установке каретки с обрабатываемой заготовкой на станке, что необходимо для поддержания постоянного размера зубьев по мере повторной заточки фрез.

Кроме измерения диаметров фрез, контролируется точность установки режущих кромок резцов в корпусе фрезы относительно базового резца (не имеющего регулирующего клина) на специальном приборе. Дисковые фрезы на станке устанавливают: по высоте вершин, на угол конусности впадин и смещение суппортов фрез относительно оси люльки вверх и вниз. Значения установочных величин получают расчетным путем.

Чтобы изготовить зубчатую передачу высокого качества, необходимо сначала

у нарезанных конических колес проверить высоту и толщину зубьев, а затем на контрольно-обкатном станке — форму и расположение пятна контакта на зубьях. Высоту зуба исправляют подводом или отводом стола с деталью на расстояние, равное отклонению высоты зуба. Высоту зуба контролируют на внешнем диаметре штангенциркулем.

У вновь нарезанной пары зубчатых колес толщину зуба на колесе обычно измеряют зубомером, а толщину зуба сопряженной шестерни определяют по значению бокового зазора (рис. 11.8, а) в паре с колесом на контрольно-обкатном

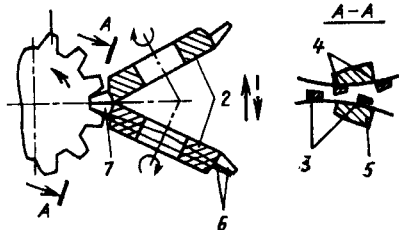
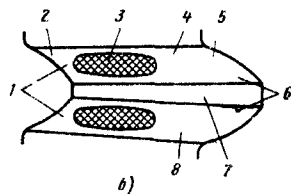
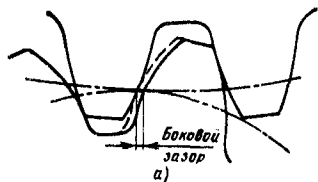


Рис. 11.7. Схема нарезания конических колес с прямыми зубьями двумя дисковыми фрезами

Рис. 11.8. Прямозубые конические колеса:

a — боковой зазор в плоскости вращения; b — основные элементы зуба конического колеса:
 1 — внутренний конец зуба (носок); 2 — ножка; 3 — пятно контакта;
 4 — верхняя сторона; 5 — головка; 6 — внешний конец зуба (пятка);
 7 — вершина зуба; 8 — нижняя сторона



станке на заданном чертежом базовом расстоянии. Обычно зазор измеряют на четырех равнорасположенных по окружности зубьях. Разность показаний индикатора характеризует колебание бокового зазора в зубчатой передаче.

Толщина зуба изменяется установкой угла конусности впадин. Угол ($^\circ$) конусности, на который устанавливают суппорты с фрезами, определяют по формуле $\omega = 28,648 \frac{e_{te} - 2h_{te} \operatorname{tg} \alpha}{R_e}$, где e_{te} — внешняя

окружная ширина впадины обрабатываемого колеса, равная внешней окружной толщине s_{te} сопряженного колеса; h_{te} — внешняя высота ножки зуба; α — угол профиля.

Если толщина зуба не соответствует значению, заданному чертежом, то изменят угол конусности впадин. Для увеличения толщины зуба на Δs следует уменьшить установку угла конусности впадин, а для уменьшения толщины зуба на Δs установку угла конусности впадин необходимо увеличить. Изменение угла ($'$) конусности впадин $\Delta \omega$ для одной фрезы верхней или нижней определяют по формуле $\Delta \omega = \frac{1719 \Delta s}{R_e - 0,5b}$, где R_e — внешнее конусное расстояние; b — ширина зубчатого венца.

При корректировке все изменения расположения пятна контакта принято производить при нарезании зубьев шестерни, а контролировать форму и расположение пятна контакта следует на зубьях колеса. Контроль пятна контакта производят обкаткой нарезаемой пары зубчатых колес на контрольно-обкатном станке. Во время испытания на контрольно-обкатном станке под легкой нагрузкой пятно контакта должно быть расположено в середине профиля зуба, смещено ближе к носку и не должно иметь резкой концентрации пятна контакта на головке и ножке зуба (рис. 11.8, б). Перед проверкой зубья колеса покрывают тонким слоем краски (сурик с маслом) для лучшего выявления пятна контакта на зубьях колеса.

По расположению пятна контакта на расчетных базовых расстояниях контрольно-обкатного станка определяют, какую из наладочных установок зуборезного станка следует изменить при очередном нарезании зубьев. Изменение установок зуборезного станка определяют по изменениям установок контрольно-обкатного станка, которые необходимо произвести для перемещения пятна контакта в правильное положение.

Чтобы исправить пятно контакта, расположенное на носке верхней боковой стороны зуба, необходимо нижнюю дисковую фрезу опустить вниз и уменьшить угол конусности впадин для сохранения размера зубьев. Когда пятно контакта расположено на носке нижней боковой стороны зуба, следует верхнюю дисковую фрезу поднять вверх и уменьшить угол конусности впадин.

Чтобы исправить пятно контакта, расположенное на пятке верхней боковой стороны зуба, необходимо нижнюю дисковую фрезу поднять вверх и увеличить

угол конусности впадин для сохранения размера зубьев. Когда пятно контакта расположено на пятке нижней боковой стороны зуба, следует верхнюю дисковую фрезу опустить вниз и увеличить угол конусности впадин.

Изменение угла (γ) конусности впадин при его установке можно определить по формуле $\Delta\gamma = \frac{3438\Delta F}{R_e - 0,5b}$, где ΔF — вертикальное смещение суппорта дисковых фрез, равное изменению в вертикальной установке V контрольно-обкатного станка, требуемому для смещения пятна контакта в нужное положение.

Исправление пятна контакта по высоте профиля зуба, расположенного на ножке или головке на обеих сторонах зубьев, достигается путем изменения осевого смещения обрабатываемого колеса на станке (продольная установка) или изменения передаточного отношения сменных колес гитары обкатки.

Чтобы исправить пятно контакта, расположенное на головке верхней и нижней боковых сторон зуба, необходимо увеличить передаточное отношение сменных колес гитары обкатки или уменьшить продольную установку станка и для сохранения размера зубьев отодвинуть стол назад.

Чтобы исправить пятно контакта, расположенное на ножке верхней и нижней боковых сторон зуба, необходимо уменьшить передаточное отношение сменных колес гитары обкатки или увеличить продольную установку станка и для сохранения размера зубьев продвинуть стол вперед.

Изменение передаточного отношения сменных колес Δi гитары обкатки находят по формуле $\Delta i = \frac{\Delta H i \cos \delta}{R_e - 0,5b}$, где ΔH — изменение горизонтальной установки на контрольно-обкатном станке, необходимое для смещения пятна контакта в нужное положение; i — передаточное отношение сменных колес гитары обкатки; δ — угол делительного конуса обрабатываемой заготовки.

Если пятно контакта расположено на головке верхней и нижней сторон зуба, то вышеуказанное изменение Δi следует прибавить к передаточному отношению сменных колес гитары обкатки и по новому передаточному отношению подобрать комплект сменных колес гитары обкатки. Когда пятно контакта расположено на ножке обеих сторон зуба, величину Δi вычитают из передаточного отношения сменных колес гитары обкатки.

Продольную установку ΔP станка изменяют при небольших исправлениях пятна контакта. При этом изменение положения стола ΔK находят по формуле $\Delta K = \Delta P \sin \delta$.

Зубчатые колеса модулем не более 5 мм комбинированным методом нарезают за одну операцию из целой заготовки, а модулем более 5 мм — за две операции — черновую и чистовую. При комбинированном методе производительность станка в 4 раза выше, чем при зубострогании двумя резцами. Достижимая точность соответствует 7—8-й степени. Фрезерование дисковыми фрезами обычно применяют в средне- и крупносерийном производстве, его можно применять и при изготовлении небольших партий зубчатых колес. Если меняются параметры нарезаемого колеса, обычно требуется выполнить небольшие изменения в конструкции режущего инструмента.

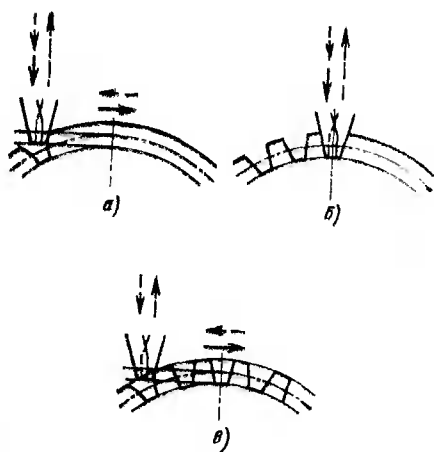
На зубофрезерных станках ZFTK 250/1 фирмы «Модуль» (ГДР), помимо известных методов, предусмотрен также метод нарезания полуобкатных конических передач с прямыми зубьями. Сущность его состоит в том, что в зубчатой передаче колесо нарезается методом врезания — форма впадины зуба имеет реечный профиль. Зубья сопряженной шестерни нарезают, как обычно, методом обкатки. По данным фирмы, время нарезания колеса ($z = 22$, $m_e = 3,5$ мм, $b = 12,5$ мм)

Рис. 11.9. Схемы нарезания конических колес с прямыми зубьями дисковыми фрезами

методом врезания составляет 3 мин, а методом обкатки 4,8 мин.

Фирма «Клингелнберг» (ФРГ) для нарезания конических колес с прямыми зубьями дисковыми фрезами выпускает станки BF 203. Станок имеет двухшпиндельную компоновку, ось заготовки вертикальна. На станке можно производить обработку тремя методами: чистовую обработку — методом обкатки из целой заготовки (рис. 11.9, а); черновое нарезание — методом врезания (рис. 11.9, б); чистовое нарезание — методом обкатки после чернового (рис. 11.9, в).

Во время работы дисковая фреза осуществляет вращательное движение от отдельного привода, а инструментальная бабка — движение подачи врезания. Обрабатываемая заготовка колеса, установленная в неподвижной бабке, совершает движение обкатки и деление на зуб. На каждом шпинделе можно обрабатывать одинаковые заготовки или на одном — заготовку колеса, а на другом — заготовку сопряженной шестерни. Когда на одном из шпинделей производят нарезание зубьев, другой в это время находится в загрузочно-разгрузочном положении.



11.5. Нарезание методом кругового протягивания

Круговое протягивание является самым производительным методом изготовления конических колес с прямыми зубьями. Его применяют в массовом производстве для изготовления зубчатых колес дифференциала легковых и грузовых автомобилей, тракторов и других сельскохозяйственных машин. Конические колеса с прямыми зубьями, нарезанные круговым протягиванием, не взаимозаменяемы с колесами, обработанными зубостроганием и зубофрезерованием. Конструкция заготовки и параметры зубьев колеса отличаются от конструкции заготовки и параметров зубьев колеса при других методах обработки. Для устранения подрезки у колес с малым числом зубьев профиль зубьев выполняют резцами с криволинейным профилем. Зубья имеют двойную конусность, образующие конуса вершин, конуса впадин и делительного конуса не сходятся в одной точке (рис. 11.10). Такая форма зуба применяется для увеличения ширины впадины, а следовательно, и развода резцов на внутреннем торце. При увеличении развода увеличивается ширина вершины резца и радиус его закругления, благодаря чему повышается стойкость инструмента, производительность станка и прочность зубьев. Для повышения прочности зубчатой передачи принят большой угол профиля — $22^{\circ}30'$.

Станки для кругового протягивания выпускают двух компоновок. Отечественная промышленность изготавливает станки с горизонтальным расположением оси заготовки. В процессе работы заготовка неподвижна, а инструмент вращается и перемещается параллельно образующей конуса впадин. Зубопротяжные станки выпускают двух типоразмеров — для нарезания зубчатых колес с модулем до 5 и 8 мм. На станках 5245 у колеса с модулем до 5 мм зуб полностью нарезают за один оборот комбинированной зуборезной головкой-протяжкой. Зубчатые

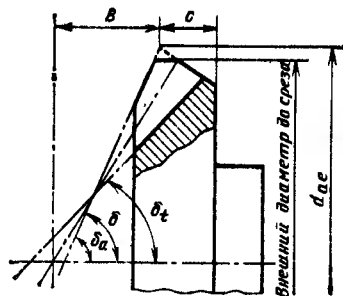


Рис. 11.10. Основные размеры заготовки под круговое протягивание

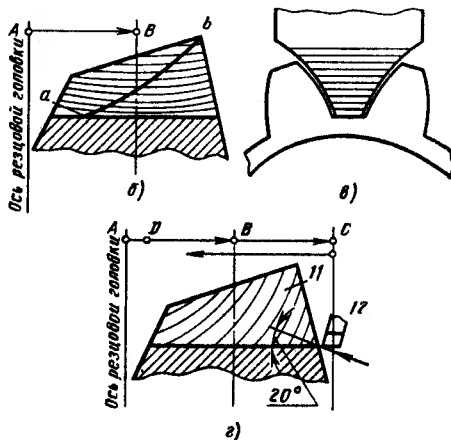
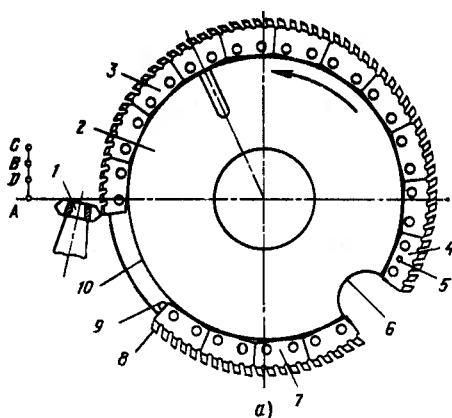


Рис. 11.11. Нарезание зубьев прямозубых конических колес: а — схема; б, в, г — направление линий резов соответственно в осевом и поперечном сечении зуба при черновом нарезании; в осевом сечении зуба при чистовом нарезании

колеса с модулем 5—8 мм изготавливают за две последовательные операции — черновую на специальном станке 5С268 для чернового нарезания зубьев и чистовую на станке 5С269 для чистового нарезания зубьев. Станки для черновой и чистовой обработки соединены между собой в автоматическую линию.

У станков с вертикальной компоновкой ось заготовки расположена вертикально (рис. 11.11, а), инструмент только вращается, а бабка с заготовкой перемещается. На станках этого типа комбинированной зуборезной головкой-протяжкой, имеющей черновые, получистовые и чистовые резцы, за один оборот полностью нарезают зуб колеса. Зубчатые колеса с модулем свыше 5 мм обычно нарезают за две операции — черновую и чистовую. Для каждой операции нужен свой станок и зуборезная головка-протяжка. Черновая головка-протяжка имеет только черновые резцы с радиальным подъемом и безрезцовый участок для деления. В процессе резания заготовка неподвижна. Станки для выполнения этой операции имеют повышенную жесткость.

Чистовая головка-протяжка имеет получистовые и чистовые резцы и два безрезцовых участка: один — для установки фасочного резца, другой — для деления. На станках с вертикальной компоновкой при движении бабки с заготовкой вверх резание осуществляют получистовые резцы, которые снимают

припуск по профилю и дну впадины. При движении бабки с заготовкой вниз резание выполняют чистовые резцы; они формируют профиль зуба и выравнивают дно впадины. Правильный профиль зубьев колеса достигается благодаря согласованному движению бабки с профилем резцов зуборезной головки-протяжки.

На рис. 11.11 показана схема нарезания прямозубого конического колеса за один оборот комбинированной головкой-протяжкой диаметром 533,4 мм на зубопротяжном станке вертикальной компоновки. Установка заготовки 1 в зажимное приспособление производится в начальном положении станка — точке А (рис. 11.11, а). Затем включается вращение головки-протяжки 2 против часовой стрелки, а бабка с заготовкой 1 из точки А с помощью специального копира подачи перемещается вверх параллельно образующей конуса впадин колеса в точку В (рис. 11.11, б). За это время головка-протяжка поворачивается на три черновых блока резцов 3 (15 резцов) и прорезает впадину зуба на небольшую глубину. В точке В бабка с заготовкой закрепляется, а вращающаяся головка-протяжка за счет радиального последовательного подъема резцов в протяжке продолжает врезаться в заготовку до получения полной высоты впадины зуба.

Черновое нарезание зубьев выполняют 10 блоков (50 резцов). Линии резцов при черновом нарезании в осевом сечении зуба показаны на рис. 11.11, б, а в поперечном сечении — на рис. 11.11, в. После чернового нарезания зуб не имеет правильной конусной формы. Поверхность зуба, расположенная слева от линии *ab* (рис. 11.11, б), подготовлена для чистового нарезания, а поверхность зуба, находящаяся справа от линии *ab*, по высоте профиля и впадине зуба имеет значительно больший припуск, который снимается пятью полустистовыми резцами одиннадцатого блока 4 (см. рис. 11.11, а) при перемещении заготовки вверх из точки В в точку С. Во время прохождения безрезцового участка 6 протяжки мимо заготовки происходит снятие фаски резцом 12 (рис. 11.11, г) сначала со дна впадины, а затем с боковых сторон зуба на внешнем торце. Фасочный резец получает вращение от зубчатого колеса, закрепленного на инструментальном шпинделе. Частота вращения резца 24 мин⁻¹, профиль — специальной формы.

Чистовое нарезание зубьев осуществляется четырьмя блоками 7 (двадцатью резцами) при перемещении бабки с заготовкой вниз из точки С в точку D. Каждый чистовой резец, имеющий радиусную форму, профилирует определенный участок на поверхности вдоль всей длины зуба, благодаря чему обеспечивается правильный профиль, конусность зуба и прямолинейность впадины. Для получения бочкообразной формы зуба резцы зуборезной головки снимают металл на концах зуба несколько больше, чем в среднем сечении.

На рис. 11.11, г показаны следы резцов 11 чистовых резцов, их число обычно равно 12. Деление заготовки на зуб производится при перемещении бабки с заготовкой из точки D в точку А, когда безрезцовый участок 10 проходит мимо заготовки. Во время деления вращение головки-протяжки не прекращается. Базовые шпильки 5 и 9 (см. рис. 11.11, а) используют при сборке для установки первых блоков резцов. Прямозубые колеса, изготовленные методом протягивания, имеют 8—9-ю степень точности, т. е. несколько ниже, чем при обработке методом обкатки. Если вместо нарезания зубьев двумя дисковыми фрезами применить круговое протягивание, можно повысить производительность обработки более чем в 4,5 раза.

Зубопротяжные станки 724, 725, 726 и 727 фирмы «Глисон» (США) имеют вертикальную компоновку, высокую производительность, повышенные жесткость и виброустойчивость благодаря тому, что силы резания воспринимаются массивной станиной.

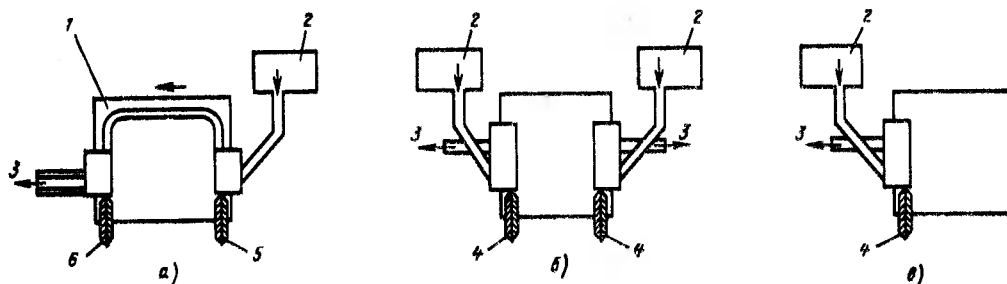


Рис. 11.12. Схемы работы зубопротяжных автоматов для обработки прямозубых конических колес:

1 — конвейер; 2 — загрузочный магазин; 3 — выход готовых деталей; 4 — комбинированная головка-протяжка; 5 — черновая головка-протяжка; 6 — чистовая головка-протяжка

На двухшпиндельном зубопротяжном автомате 724 (рис. 11.12, а) обработка ведется за две последовательные операции. С помощью первого шпинделя производят черновое нарезание зубьев черновой головкой-протяжкой 5, а с помощью второго — чистовое нарезание с использованием чистовой головки-протяжки 6. Черновое нарезание зубьев выполняется без вертикального перемещения — бабка с заготовкой неподвижна. Во время чистового нарезания зубьев при перемещении заготовки вверх резание осуществляют получистовые резцы, при движении вниз — чистовые резцы. Заготовки с одного шпинделя на другой передаются по конвейеру 1 автоматически. Зуб зубчатого колеса ($z = 10$, $m_{te} = 4$ мм) головкой-протяжкой диаметром 406,4 мм нарезается за 1,8 с, включая время загрузки, суммарная производительность станка 150 дет/ч. При обработке методом кругового протягивания за две операции достигают наибольшего периода стойкости инструмента, меньшей шероховатости поверхности профиля зубьев и минимальной стоимости обработки одного зубчатого колеса.

Двухшпиндельный зубопротяжной автомат 725 (см. рис. 11.12, б) позволяет на каждом шпинделе комбинированной головкой-протяжкой 4 за одну операцию в целой заготовке окончательно обрабатывать зуб. При обработке зубчатого колеса ($z = 10$, $m_{te} = 5,6$ мм) головкой-протяжкой диаметром 533,4 мм зуб нарезается за 2,4 с, суммарная производительность станка 237 дет/ч. Основное преимущество станка — высокая производительность.

Одношпиндельный зубопротяжной автомат 726 (см. рис. 11.12, в), созданный на базе двухшпиндельных станков, предназначен для обработки колес широкого диапазона размеров небольших серий. Нарезание зубьев можно производить за одну операцию в целой заготовке комбинированной головкой-протяжкой 4 и за две раздельные операции — черновую и чистовую — соответствующими головками-протяжками.

Выбор схемы нарезания конических колес с прямыми зубьями зависит от многих факторов. При этом следует учитывать, что автоматизация процесса нарезания зубьев за одну операцию головкой-протяжкой проще: нет необходимости строго следить за припуском под чистовое нарезание. К недостаткам этого процесса следует отнести то, что черновые резцы воспринимают наибольшую нагрузку при резании, поэтому их износ примерно в 3 раза больше, чем чистовых, а при заточке у чистовых резцов снимают такой же слой металла, как у черновых. При нарезании за две раздельные операции — черновую и чистовую — головки-протяжки затачивают, снимая металл различной толщины, вследствие чего период

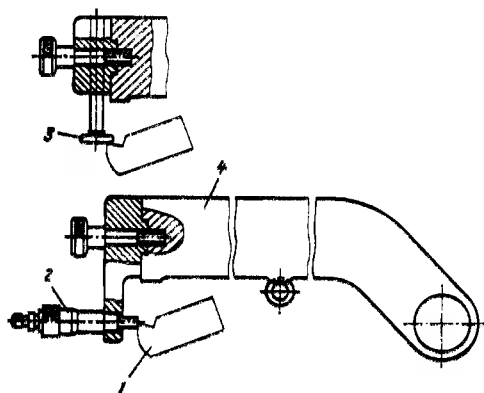
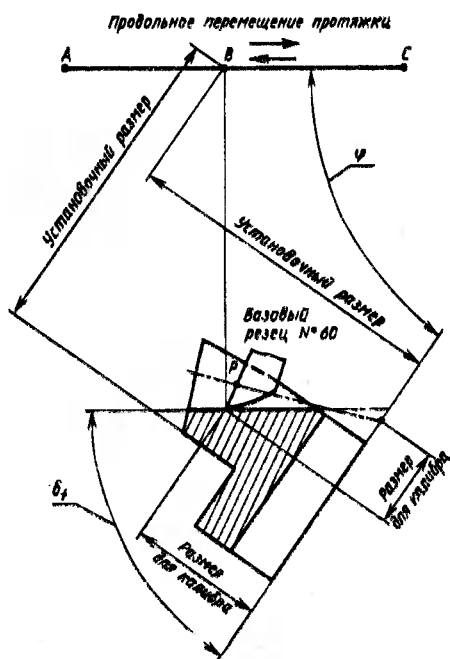


Рис. 11.14. Калибр для установки фасочного резца

Рис. 11.13. Схема наладки зубопротяжного станка при чистовом нарезании зубьев

стойкости чистовых головок-протяжек примерно в 3 раза выше периода стойкости черновых. Это экономично, если учесть высокую стоимость резцовых головок-протяжек.

Перед наладкой станка у зажимного приспособления, установленного в шпинделе станка, проверяют радиальное и торцовое биение базовых поверхностей, которое не должно превышать 0,010 мм. Головку-протяжку на шпиндель станка устанавливают с помощью специального приспособления. Торцовое биение у головки проверяют по контрольному пояску; оно должно быть не более 0,005 мм.

Расчет наладочных установок зубопротяжного станка выполняют одновременно с расчетом параметров зубьев обрабатываемого колеса, резцов зуборезной головки и копира подачи. При чистовом нарезании зубьев каждый чистовой резец профилирует определенный участок поверхности зуба, а другие резцы не должны касаться этой поверхности. Чтобы выполнить это условие, необходимо обеспечить согласованное вращательное и поступательное движение зуборезной головки.

Наладка зубопротяжного станка для чистовой обработки зубьев начинается с установки правильного взаимного положения инструмента и заготовки в процессе резания, которое определяется установкой базового чистового резца протяжки в расчетной точке P впадины зуба колеса (рис. 11.13). Совпадение базового резца с расчетной точкой P при резании определяется следующими параметрами: продольным перемещением AC протяжки от исходной точки копира; угловым расположением φ оси обрабатываемого колеса и линии продольного перемещения протяжки; поперечным перемещением инструментальной бабки благодаря эксцентрики. При расчете параметров чистовых резцов протяжки за базовый принимают резец, который профилирует расчетную точку P на боковой поверхности зуба нарезаемого колеса. Расчетную точку принимают в среднем сечении зуба колеса. При чистовом нарезании зубьев колеса ($z = 18$, $m_{тв} = 8,0$ мм, $b = 26$ мм) на

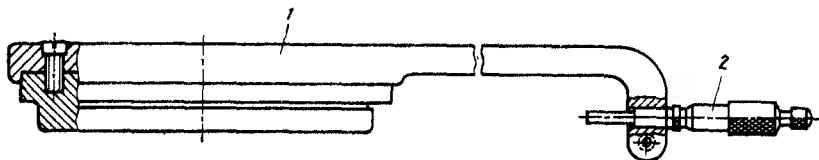


Рис. 11.15. Калибр для проверки радиуса резцов зуборезной головки-протяжки

станке 5С268 резцовой головкой-протяжкой с номинальным диаметром 635 мм, имеющей теоретическое число резцов 90, за базовый принят резец № 60. Положение базового резца относительно зуба заготовки колеса учитывается при проектировании установочных калибров и расчете наладочных установок зубопротяжного станка.

При черновом нарезании зубьев за базовый принимают последний резец в протяжке, который определяет припуск по профилю и дну впадины зуба под чистовое зубонарезание.

Бабку с заготовкой устанавливают по высоте. Горизонтальная осевая плоскость заготовки колеса, установленной в зажимном приспособлении, должна проходить через плоскость симметрии резцов протяжки.

Фасочный резец устанавливается перед чистовыми резцами. Вращение фасочный резец получает через систему зубчатых колес от шпинделя протяжки. Центр поворота резца совпадает с осью одного из приводных колес. Резец имеет паз, который позволяет ему перемещаться в радиальном направлении, а его поворот осуществляется с помощью приводных зубчатых колес. Первоначальная установка состоит в том, чтобы траектория движения фасочного резца составляла с образующей конуса впадины обрабатываемого колеса угол, равный приблизительно 20° (см. рис. 11.11, з). При этом сначала фаска должна сниматься в ножке зуба, а затем — в направлении к головке.

После того как регулировка фасочного резца 1 (рис. 11.14) заканчивается, его положение фиксируется калибром. Калибр 4 устанавливают на инструментальный шпиндель и посредством микрометрического винта 2 определяют радиальное, а упором 3 угловое положение резца. Установочные параметры резца записывают в карту наладки для последующей его установки.

На рис. 11.15 показан калибр для измерения радиуса резцов зуборезной головки после заточки, который необходим для компенсации размера зуба в связи с изменением диаметра зуборезной головки. Калибр 1 устанавливают в инструментальный шпиндель, а с помощью микрометрического винта 2 определяют радиус головки по последнему чистовому резцу 8 (см. рис. 11.11, а).

11.6. Нарезание по шаблону

Нарезание конических колес с прямыми зубьями по шаблону производят на специальных зубострогальных станках, работающих двумя резцами или одним резцом методом копирования. Метод нарезания по шаблону применяют для обработки крупномодульных зубчатых колес 8—9-й степени точности любого профиля (эвольвентного, циклоидного и др.) в индивидуальном и мелкосерийном производстве тяжелого машиностроения. Станки универсальные, имеют простую наладку, дешевый и универсальный, не требующий большого числа типоразмеров режущий инструмент. Станки экономично применять также в серийном производ-

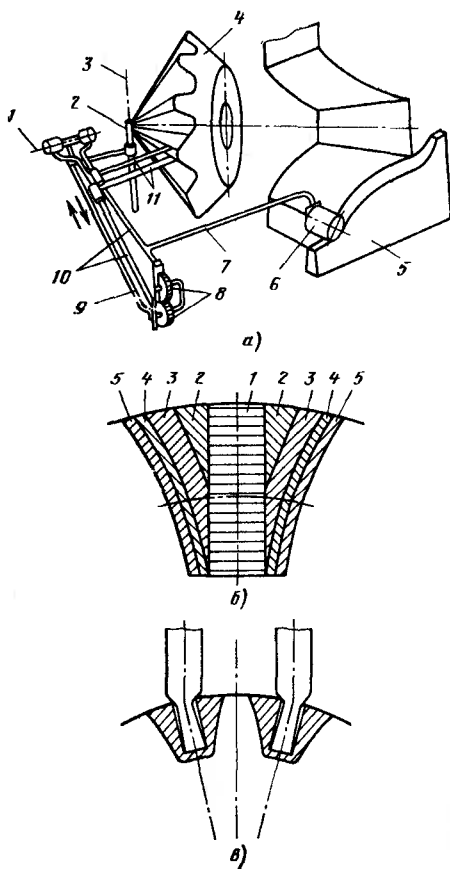
Рис. 11.16. Нарезание конических зубчатых колес по шаблону

стве, например в ремонтных цехах, где изготавливают зубчатые колеса, параметры зубьев которых изменяются в широких пределах.

Отечественная промышленность выпускает два типа станков: 5Е283 (обработка двумя резцами) и 52ТМ2 (обработка одним резцом). На станке 52ТМ2 можно также нарезать и цилиндрические зубчатые колеса.

Принципиальная схема станка для нарезания зубьев двумя резцами показана на рис. 11.16, а. Резцы 11 совершают возвратно-поступательное движение по направляющим 10 и могут поворачиваться относительно горизонтальной оси 1, закрепленной на инструментальной бабке 9. При работе станка бабка поворачивается относительно вертикальной оси 3, проходящей через центр станка 2 и вершину делительного конуса обрабатываемого колеса 4. На кронштейне 7 установлен ролик 6, который при повороте бабки инструмента относительно оси 3 катится по шаблону 5. В процессе обработки заготовка неподвижна, резцы совершают возвратно-поступательное движение для нарезания зуба по всей длине и движения подачи на заданную глубину. При движении подачи резцов на глубину ролик 6 катится по шаблону 5, в это время зубчатые колеса 8 раздвигают резцы 11, в результате чего на профиле зуба обрабатываемого колеса копируется форма шаблона в уменьшенном размере. Чистовые резцы профилируют зуб колеса скругленной вершиной режущей кромки. Оба резца, верхний и нижний, окончательно формируют зуб колеса от одного шаблона 5.

Крупномодульные зубчатые колеса нарезают за пять-семь рабочих ходов. На рис. 11.16, б показана типовая схема постепенного вырезания металла из впадины зуба. Первой операцией является прорезание впадины зуба 1 прорезным резцом или резцом V-образной формы на полную высоту зуба. Если первая операция производится прорезным резцом, то вторая операция — выравнивание впадины путем срезания уголков 2, 3 — осуществляется специальными резцами или резцом V-образной формы. Перед чистовым нарезанием зубьев выполняют черновое нарезание для выравнивания припуска 4 по высоте профиля под чистовую обработку зубьев 5. Для повышения точности чистовую обработку обычно производят за два рабочих хода. При черновом нарезании зубьев методом строгания применяют резцы различной формы: призматические, V-образные, ступенчатые и др. Для повышения производительности на станках с двумя резцами каж-



дым резцом призматической формы прорезают отдельную впадину (рис. 11.16, в) методом врезания.

При чистовом нарезании профиль зуба колеса получают с помощью шаблона большего размера. За теоретический профиль шаблона обычно принимают сферическую эвольвенту, чтобы получить октоидный профиль зубьев. Со станком поставляется комплект шаблонов, которые построены для определенного угла делительного конуса, угла зацепления и числа зубьев. Станки 5А283 позволяют обрабатывать зубчатые колеса с определенным числом зубьев одним шаблоном путем поворота его на определенный угол, а также перемещения шаблона в горизонтальном и вертикальном направлениях. Если необходимо произвести модификацию профиля зуба заготовки колеса, к основному шаблону прикрепляют дополнительный шаблон.

11.7. Станки для нарезания конических колес с прямыми зубьями

Для нарезания конических колес с прямыми зубьями применяют станки четырех типов: зубострогальные, зубофрезерные, зубопротяжные и станки, работающие по шаблону (табл. 11.1). Наибольшее применение в промышленности получили зубострогальные и зубофрезерные станки.

Станки различают в зависимости от класса точности: Н — нормальной точности; П — повышенной точности; В — высокой точности; А — особо высокой точности; С — особой точности. Станки классов Н и П применяют в общем машиностроении, классов В и А используют для нарезания высокоточных зубчатых колес. Станки класса С являются мастер-станками, т. е. служат для нарезания колес для высокоточных станков и других механизмов.

Заготовки прямозубых конических колес с малым, средним и крупным модулями диаметром до 800 мм обрабатывают двумя зубострогальными резцами методом обкатки. Зубострогальные станки 5236П предназначены для изготовления мелко модульных конических колес. Конические колеса среднего модуля изготавливают на современных станках 5С276П, выпущенных взамен станков 5А250. Станки 5С276П и 5С286 универсальны, позволяют производить нарезание зубьев двумя методами: чистовое — обкаткой, черновое — врезанием. Эти станки широко применяют в мелкосерийном производстве. В среднесерийном производстве черновое нарезание зубьев производят на специальных зубофрезерных станках ЕЗ-40 модульными фрезами. Специальные станки, предназначенные для черновой обработки, имеют жесткую конструкцию и высокую производительность.

Прямозубые конические колеса с модулем до 4 мм нарезают в целой заготовке. Если требуется высокая точность обработки, нарезание осуществляют за два рабочих хода. Зубчатые колеса с модулем свыше 4 мм обычно нарезают за две операции — черновую и чистовую за несколько ходов. Станки, работающие по методу обкатки, имеют жесткую конструкцию, обработка ведется двумя спаренными дисковыми фрезами большого диаметра, черновое и чистовое нарезание зубьев производится в целой заготовке за один ее установ. Число рабочих ходов зависит от модуля и требуемой точности. С помощью этих станков можно получить бочкообразную форму зубьев. Станки применяют в средне- и крупносерийном производстве.

Обработку прямозубых конических колес диаметром свыше 800 мм производят на зубострогальных станках 5Е283 и 52ТМ2 по шаблону. На станках 5Е283 обработка ведется двумя резцами, их производительность выше, чем станков 52ТМ2, где зуб обрабатывается одним резцом, причем сначала одна его сторона,

**11.1. Основные технические характеристики станков отечественного производства
для нарезания конических колес с прямыми зубьями**

Характеристика	Станки										
	зубострогальные						зубофрезерные			зубопротяжные	
	5З36П	5С276П	5С286П	5Е283	52ТМ2	5Т23В	5С237	5С267П	5С277П	5245	5С268- 5С269
Наибольший диаметр изготовляемого колеса, мм	125	500	800	1600	3200	125	125	320	500	180	320
Наибольший модуль, мм	2,5	10	16	30	40	1,5	2,5	8	12	5	8
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	20	80	150	270	500	16	20	50	80	25	50
Частота движения, дв. ход/мин, или частота вращения, мин ⁻¹	160—800	42—400	28—270	17—27	4—51	210—820	65—320	23—153	20—80	9,3—30	30
Диаметр дисковой фрезы или круговой протяжки, мм	—	—	—	—	—	—	150	278	450	533,4	635
Потребляемая мощность, кВт	1,1	4	7,5	7,5	19	1,1	2,2	4,0	5,5	6,2	11
Габаритные размеры станка (длина × ширина), мм	1620 × 1050	2885 × 1980	3235 × 2130	3785 × 2780	6000 × 3000	1620 × 1050	1990 × 1255	2885 × 1980	3225 × 2530	2450 × 2015	3700 × 3240
Масса станка, кг	3000	8750	15 500	19 000	43 000	3000	3000	8750	14 000	6250	9500

Примечание. Для зубострогальных станков указана частота движения, для зубофрезерных и зубопротяжных — частота вращения.

а затем другая. Для обработки каждой стороны зуба требуется отдельный шаблон. Зубопротяжные станки предназначены для работы в условиях массового производства. На станках 5245 нарезают зубья сразу в окончательный размер в целой заготовке. Черновая обработка зубьев не требуется. Станки 5С269 предназначены для чернового нарезания зубьев. В отличие от станков 5С268 для чистового нарезания их инструментальный шпиндель не может перемещаться в продольном направлении, благодаря чему они имеют более высокую жесткость. Станки всех трех типов могут работать как автоматы, а станки 5С269 и 5С268 соединяют в автоматическую линию из двух станков. Станки-автоматы успешно эксплуатируются на ЗИЛе, КАМАЗе и других заводах.

При выборе зуборезных станков для работы в условиях крупносерийного и массового производства их модуль должен быть на 2—3 мм выше модуля обрабатываемого колеса.

В табл. 11.2 приведены основные технические характеристики станков иностранных фирм для нарезания прямозубых конических колес.

Станки ZFTK 250/1 и ZFTK 500/2 фирмы «Модуль» (ГДР) имеют современную конструкцию, высокую производительность, универсальны, пригодны для работы в мелко-, средне- и крупносерийном производстве. На станках можно изготавливать обкатные и полуобкатные конические передачи с прямыми зубьями бочкообразной формы, а также муфты с торцовыми зубьями.

Зубофрезерные станки BF 203 фирмы «Клингельнберг» (ФРГ) имеют вертикальную компоновку, два шпинделя, каждый шпиндель работает независимо. Черновое нарезание зубьев осуществляется врезанием, чистовое — обкаткой. На этих станках можно получать бочкообразную форму зубьев. Станки пригодны для работы в серийном и массовом производстве.

Зубострогальные и зубофрезерные станки фирмы «Глисон» (США) последнего выпуска являются модернизацией на базе ранее выпускаемых станков, модели которых в таблице указаны в скобках. Зубострогальные станки 710 имеют вертикальную компоновку, жесткую конструкцию, окончательная обработка зубьев производится комбинированным методом за один установ в целой заготовке. На базе станка 710 выпускается станок 712 для обработки конического зуба зубчатого сектора с постоянным или переменным передаточным отношением, радиусом делительной окружности до 152 мм. Особенность зубострогальных станков 429 (14) состоит в том, что чистовая обработка зуба производится с двойным движением обкатки — при качании люльки вверх и вниз. На станках предусмотрено черновое нарезание зубьев врезанием и нарезание зубчатых колес с передней ступицей. На станках 434 (24) нарезание зубьев можно производить в две операции — черновую и чистовую. Станки 439 (104) и 442 (114) имеют высокую производительность, чистовая обработка зубьев производится комбинированным методом за один установ в целой заготовке. Станки универсальны, просты в наладке, применяются в серийном и массовом производстве.

Расчет параметров зубьев зубчатого колеса для обработки методом кругового протягивания отличается от стандартного расчета. Поэтому выбор станка производится не по наибольшему модулю обрабатываемого колеса, а по наибольшей высоте зуба, ширина зубчатого венца принимается по образующей конуса впадин. Станок-автомат 724 двухшпиндельный, с помощью одного шпинделя производится черновое нарезание зубьев, с помощью другого — чистовое. Применяются зуборезные головки-протяжки двух размеров. Головкой диаметром 406,4 мм (16") нарезают зубчатые колеса с высотой зуба до 11,4 мм и шириной зубчатого венца до 25,4 мм. Головкой диаметром 533,4 мм (21") обрабатывают зубчатые

**11.2. Основные технические характеристики зарубежных станков
для нарезания конических колес с прямыми зубьями**

Характеристика	«Модуль» (ГДР)			«Глисон» (США)							
	Зубофрезерные			Зубострогальные			Зубофрезерные		Зубопротяжные		
	ZFTK 250/1	ZFTK 500/2	BF203	710	429 (14)	434 (24)	439 (104)	442 (114)	724	725	726
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	315	620	238	216	432	886	216	406	152	152	152
Наибольший модуль (высота зуба), мм	10	12	10	6,4	8,5	20,3	8,5	10,2	(14,8)	(10,7)	(14,8)
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	45	90	60	36	89	152	35	63,5	28	25,4	28
Частота движения, дв. ход/мин, или частота вращения, мин ⁻¹	35,5—71	28—56	—	80—505	64—495	16—88	35—100	79—290	32,9—51	32,9—51	32,9—51
Диаметр дисковой фрезы или круговой протяжки, мм	355	450	600	—	—	—	275	381	406,4 или 533,4	533,4	533,4
Потребляемая мощность, кВт	4	5,5	6	2,72	4,1	11	6,8	13,6	11	11	7,35
Габаритные размеры станка (длина × ширина), мм	2650 × 1870	3365 × 3580	2850 × 2450	2030 × 1520	1420 × 410	1880—2670	2140 × 1556	1900 × 2860	3200 × 2260	3200 × 2260	3200 × 2260
Масса станка, кг	6500	12 000	7800	4990	6713	11 295	6580	10 750	9600	9600	8750

Примечание. Для зубострогальных станков указана частота движения, для зубофрезерных и зубопротяжных — частота вращения.

колеса с высотой зуба 14,8 мм, шириной зубчатого венца до 28 мм. На двухшпиндельном станке-автомате 725 шпиндели работают независимо, одновременно обрабатываются заготовки двух зубчатых колес в окончательный размер зубьев. Одношпиндельный полуавтомат 726 предназначен для обработки зубчатых колес малых серий.

11.8. Зажимные приспособления

Основными требованиями к зажимным приспособлениям для обработки и контроля конических зубчатых колес при их проектировании и разработке являются: высокая жесткость основных элементов приспособления, малый допуск концентричности установочных (базовых) поверхностей-шеек, отверстий, опорных торцов относительно посадочного конуса приспособления; высокая точность изготовления базовых поверхностей; постоянная сила зажима заготовки в приспособлении.

Чтобы выполнить эти требования, необходимо избегать чрезмерного вылета приспособления.

Установочные и другие основные размеры элементов зажимного приспособления должны всегда иметь допуск 0,005 мм, а при установке зажимных приспособлений на зуборезные, притирочные и контрольно-обкатные станки допуск радиального и торцового биения базовых поверхностей должен составлять 0,005—0,01 мм, для особоточных зубчатых колес эти допуски должны быть уменьшены. Для закрепления заготовки в приспособлении следует применять гидравлические патроны, они надежно обеспечивают постоянную силу зажима и к ним легко приспособить зажимные приспособления почти всех типов.

Зуборезные, притирочные и контрольно-обкатные станки для конических и гипоидных зубчатых колес имеют рабочий шпиндель с коническим отверстием для установки в него конического хвостовика зажимного приспособления. Коническое отверстие в шпинделе станка изготовляют с допуском на диаметр отверстия не более 0,0005 мм, допуск радиального и торцового биения 0,001—0,005 мм. Такая высокая точность достигается подбором высокоточных подшипников, а окончательное шлифование отверстия в шпинделе для повышения точности производят в сборе с бабкой заготовки.

Особенностью зажимных приспособлений 1 (рис. 11.17, а) для зубообрабатывающих и контрольно-обкатных станков является то, что их посадка в шпиндель 3 станка осуществляется на две базы: коническую поверхность 2 и торец 4. Чтобы обеспечить посадку на две базы посадочный конус зажимного приспособления следует изготовлять с правильным натягом. Натяг определяется зазором k между опорным торцом приспособления 1 и торцом шпинделя станка 3, когда приспособление установлено в отверстие шпинделя от руки. Зазор выбирают в пределах 0,1—0,3 мм в зависимости от размера конуса (табл. 11.3).

При полной затяжке крепежных винтов приспособления зазор между торцами устраняется полностью. Посадка на торец и коническую поверхность одновременно удлиняет срок службы приспособления и сохраняет точность размеров и формы отверстия в шпинделе станка.

В последнее время при изготовлении и контроле конических и гипоидных зубчатых колес получают широкое применение зажимные приспособления с разжимными центрирующими элементами, выполненными в виде цанг, мембран, кулачков и т. д. Эти приспособления характеризуются быстроедействием и удобством в обслуживании, обеспечивают точное центрирование заготовок, большую силу

11.3. Размеры конусных отверстий шпинделей станков для обработки гипоидных и конических зубчатых колес

Станки	Наибольший диаметр конусного отверстия, мм	Конусообразность	Зазор, мм	
			наименьший	наибольший
Станки Саратовского завода тяжелых зуборезных станков (СССР)				
5236П, 5Т23В, 5П23А, 5С23П; 5С286	31,267	Морзе 4	0,058	0,115
5230, 5С263, 5А250П, 5С26В, 5С270П, 5А27С4, 5С262Е, 5С272Е	100	1 : 20	0,12	0,22
5С268, 5С269, 5С273, 5С280П, 5281, 5С277П, 5С286П, 527В	153	1 : 20	0,12	0,22
5А284, 5А283	200	1 : 20	0,12	0,22
Станки фирмы «Глисон» (США)				
432 (102)	38,896	1 : 24	0,15	0,20
601, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 666	86,916	1 : 24	0,20	0,30
429(14), 439(104), 440(106), 442(114), 116, 122, 613, 614, 641, 724, 725, 726	99,219	1 : 19,69	0,15	0,25
434(24), 26, 28, 645, 650	152,400	1 : 16	0,10	0,15
Станки фирмы «Модуль» (ГДР)				
ZFTK 250/1, ZFTKK 250/1	80	1 : 20	0,15	0,25
ZRKK 500×10, ZFTKKR 500/2, ZFTKK 500/2, ZFKK 500×10	100	1 : 20	0,15	0,25
ZFTKK 500/2K	160	1 : 20	0,15	0,20

зажима, длительный срок службы базовых поверхностей, быструю и удобную установку заготовки в приспособлении, что особенно важно при автоматизации обработки.

Для контроля точности изготовления и в процессе эксплуатации зажимных приспособлений применяют специальный прибор и калибры типа пробок и втулок. Контрольный прибор (рис. 11.17, б) установлен на массивной подставке 6. Шпиндель 2, смонтированный на специальных подшипниках качения, имеет два различных по размеру конусных отверстия с одного и другого торца. Торцы открыты, что позволяет на одном приборе контролировать приспособления, имеющие два различных наибольших диаметра конуса. С помощью гидравлического патрона 4, приводимого в действие от гидравлического агрегата 5, проверяется функционирование цанговых и тарельчатых зажимных устройств.

На приборе проверяют радиальное, торцовое биение и размер базовых поверхностей приспособления, размер и правильность установки конической поверхности приспособления в шпиндель, работу зажимного устройства и т. д. При проверке точности приспособлений цангового типа применяется казенная контрольная калибр-пробка высокой точности, а приспособлений мембранного типа — калибр-кольцо. Эти контрольные средства устанавливаются в приспособлении вместо заготовки, затем, вращая шпиндель за маховичок 3, с помощью индикатора 1 фиксируют отклонения размеров. При производстве конических зубчатых колес этот прибор позволяет систематически в течение непродолжительного времени оценивать и поддерживать на высоком уровне точность установочных поверхностей и работоспособность зажимных приспособлений.

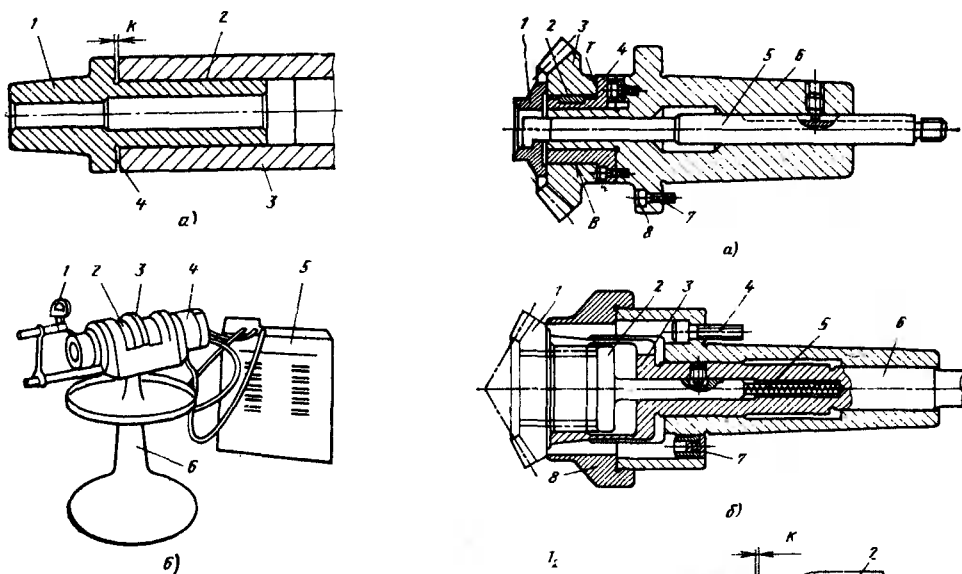


Рис. 11.17. Контроль зажимных приспособлений:

а — проверка зазора между торцами приспособления и шпинделя станка; *б* — прибор для контроля точности

Рис. 11.18. Зажимные приспособления для обработки конических колес с прямыми зубьями

Калибр-пробка служит для периодической проверки качества конического отверстия шпинделей станков и контрольного прибора и величины зазора k между торцами.

На рис. 11.18 приведены зажимные приспособления трех типов для обработки конических колес с прямыми зубьями. На рис. 11.18, *а* показано универсальное приспособление простой конструкции, с жестким центрированием, применяемое в единичном и серийном производстве. Заготовку колеса 3 устанавливают на съемный фланец 4 по внутреннему отверстию *В* с упором в торец *Т*. Шпонка 2 предохраняет заготовку колеса 3 от проворота во время резания. Зажим колеса в приспособлении осуществляется быстросъемной замковой шайбой 1, которая приводится в действие тягой 5 от гидроцилиндра. В шпиндель станка приспособление устанавливается на коническую поверхность 6 с опорой на торец 7 и закрепляется винтами 8. Меняя фланец 4, можно использовать зажимное приспособление для обработки деталей с другими базовыми размерами.

На рис. 11.18, *б*, *в* приведены зажимные приспособления цангового типа беззазорного центрирования при зубонарезании конических колес дифференциала автомобиля в условиях массового производства. Коническое колесо со ступицей 1 (см. рис. 11.18, *б*) базируют в приспособлении по внешнему диаметру ступицы с опорой на торец. Зажим колеса осуществляется цангой 3, которая приводится в действие тягой 6 гидроцилиндра. При разжиге цанги 3 выталкиватель 2 под действием пружины 5 выдвигает колесо из приспособления, кроме того, вы-

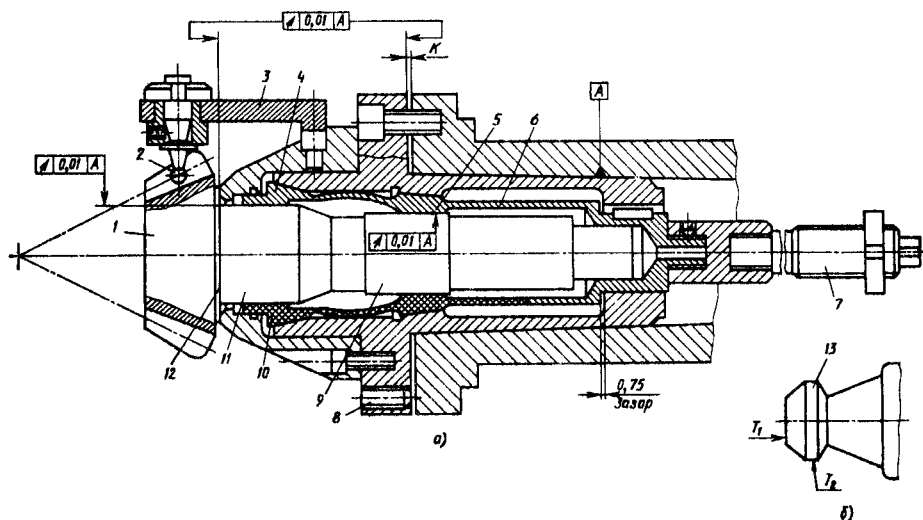


Рис. 11.19. Зажимное приспособление для обработки колеса-вала:

а — общий вид; б — проверка приспособления с помощью калибра

талкиватель предотвращает попадание мелкой стружки внутрь приспособления. Меняя сменное опорное кольцо 8 и цангу 3, можно использовать зажимное приспособление для обработки заготовок других размеров. Винты 4 предназначены для закрепления приспособления в шпиндель станка, а винт 7 — для съема приспособления.

Приспособление цангового типа для закрепления сателлита 3 дифференциала показано на рис. 11.18, в. Базовыми поверхностями сателлита являются внутреннее отверстие и сферический торец. Сателлит 3 закрепляют цангой 4, на которую воздействует шток 5, связанный с гидроцилиндром. Когда обработку зубьев производят за две операции — черновую и чистовую, распределение припуска под чистовую обработку осуществляют с помощью съемного шаблона 2 со сферическим наконечником. После закрепления заготовки в приспособлении шаблон снимают.

Систематический контроль точности приспособлений цангового типа в производственных условиях можно производить по точно обработанной контрольной заготовке 1 нарезаемого колеса. Контрольную заготовку зажимают в приспособлении вместо обрабатываемого колеса. Для проверки радиального биения T_2 на заготовке 1 шлифуют небольшой цилиндрический поясok для установки измерительного наконечника индикатора, торцовое (осевое) биение T_1 контролируют по шлифованному торцу. Радиальное T_2 и торцовое T_1 биение контрольной заготовки, зажатой в приспособлении вместо обрабатываемого колеса, не должно превышать 0,015 мм. Аналогично контролируют точность цангового приспособления при обработке конического колеса со ступицей.

Для нарезания конических и гипоидных колес с криволинейными зубьями в крупносерийном и массовом производстве также широко применяют приспособления с разжимными центрирующими элементами. На рис. 11.19, а показано приспособление цангового типа для закрепления конического колеса-вала 1 для автомобиля. Базирование колеса-вала производят по шейкам 9 и 11 и торцу 12

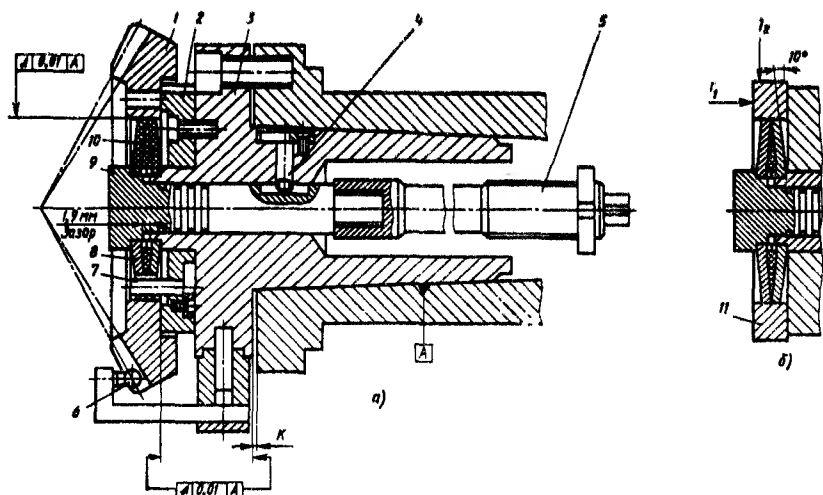


Рис. 11.20. Зажимное приспособление для обработки колеса-диска:

а — общий вид; б — проверка приспособления с помощью калибра

зубчатого венца. После установки колеса-вала в приспособление цанга 6 под действием штока 7 гидроцилиндра перемещается вправо. Сначала передний конец цанги 4 центрирует, зажимает заготовку за шейку 11 и прижимает к торцу 12. При дальнейшем перемещении цанги 6 средняя ее часть деформируется, после чего цанга 5 центрирует и зажимает заготовку за вторую шейку 9. Цанга 6 имеет два конусных участка с различными углами конуса. Участок цанги 4 имеет угол конуса 15° , а участок 5 — 7° . Шейка 11 зажимается раньше шейки 9 благодаря тому, что угол конуса на цанге 4 больше, чем на цанге 5.

Приспособление характеризуется быстродействием, точностью центрирования и надежностью зажима. Большой угол конуса передней цанги 4 способствует быстрому зажиму и центрированию шейки 11, расположенной ближе к зубчатому венцу, а меньший угол задней цанги позволяет сильнее закрепить заготовку за шейку 9. Преимущество цангового, а также мембранного приспособления в том, что заготовка устанавливается с зазором, поэтому ее удобно и легко вставить в приспособление и легко производить поворот при использовании установочного шаблона 3 со сферическим пальцем 2 для деления припуска. После установки заготовки шаблон 3 снимается. Съем приспособления из шпинделя станка производится с помощью винта 8.

Приспособление для колеса-вала надежно работает тогда, когда размер базовых шеек изменяется в пределах 0,025 мм. Если зазор шейки 9 составляет более чем 0,030 мм, то средняя часть цанги значительно удлинняется и недостаточно зажимает заготовку. Когда цанга новая, осевой зазор между торцами цанги и корпусом приспособления составляет 0,75 мм. По мере изнашивания цанги зазор уменьшается, при зазоре 0,13 мм цангу необходимо заменить новой.

На рис. 11.20, а показано приспособление с разжимным центрирующим элементом мембранного типа для закрепления колеса-диска 1. Центрирующими и зажимными элементами приспособления для закрепления колеса-диска 1 являются мембраны 8 тарельчатой формы. Опорой для колеса служит кольцо 2, за-

крепленное на корпусе 3 приспособления. Шток 9, соединенный через тягу 5 с гидроцилиндром, при осевом перемещении сжимает тарельчатые мембраны 8, которые, увеличиваясь в диаметре, сначала центрируют, а затем зажимают колесо 1. При дальнейшем увеличении силы зажима шток 9, мембраны 8 и колесо 1 перемещаются вправо до соприкосновения базового торца обрабатываемого колеса с опорным торцом кольца 2. Наружный диаметр мембран делают на 0,10—0,125 мм меньше номинального диаметра отверстия заготовки обрабатываемого колеса. Это значительно облегчает установку заготовки в приспособление. Максимально допустимый износ мембран по диаметру 0,35 мм. Для надежной работы приспособления между торцами штока 9 и корпусом 3 приспособления зазор должен составлять 1,9 мм. Шпилька 7 предохраняет поворот мембран 8.

Торец опорного кольца 2 (особенно если он имеет большую поверхность) рекомендуется путем прорезки неглубоких канавок разделить на отдельные небольшие площадки. Это позволяет уменьшить контактирующую площадь между торцами и облегчить поворот заготовки в приспособлении при распределении припуска. Для сбора грязи, мелкой стружки выполнены круговые канавки на штоке 9. В пазы 10 цангового приспособления (см. рис. 11.19, а) и пазы 10 мембраны 8 (см. рис. 11.20, а) мембранного приспособления заливают маслостойкую резину, предохраняющую от попадания грязи.

Шаблон 6 служит для распределения припуска перед чистовым нарезанием зубьев. После распределения припуска шаблон из приспособления удаляют. Шпонка 4 предотвращает вращение штока 9.

Применение зажимных приспособлений с безазорным центрированием с помощью разжимных элементов на операциях зубонарезания вместо приспособлений с жестким центрированием позволяет на 25—30 % повысить точность зубьев конических и гипоидных передач.

Систематический контроль точности зажимных приспособлений для обработки конических и гипоидных колес на зубообрабатывающих станках в производственных условиях производят по специальным каленым, точно изготовленным калибру-пробке 13 (см. рис. 11.19, б) и калибру-кольцу 11 (рис. 11.20, б). Калибры изготовляют того же диаметра, что и наружный диаметр заготовки обрабатываемого колеса. Торцовое T_1 и радиальное T_2 биения калибров 13 и 11, зажатых в приспособлениях вместо обрабатываемых заготовок зубчатых колес, не должны превышать 0,015 мм. Контроль точности установки зажимных приспособлений в станке обычно производят не реже одного раза в неделю. Приспособления с разжимными центрирующими элементами один раз в течение 2 мес. разбирают, очищают от грязи, проверяют износ их деталей, смазывают, собирают, а если необходимо, — меняют изношенные детали. После такой профилактической разборки и сборки перед установкой на станок приспособление необходимо проверить на контрольном приборе (см. рис. 11.17, б). Средний срок службы приспособлений цангового типа при двухсменной работе 6—8 мес., мембранного — 12 мес.

Для притирочных и контрольно-обкатных станков зажимные приспособления цангового и мембранного типа имеют конструктивные различия. Посадочный конус у приспособлений для колеса и шестерни вследствие небольших нагрузок, возникающих в процессе притирки и контроля, делают примерно в 2 раза короче (рис. 11.21, а), чем у зажимных приспособлений к зуборезным станкам. Кольца 1 и 3 под конуса цанги 2 не соединены между собой. При ремонте целесообразно менять оба кольца одновременно, шлифуют кольца раздельно (не в сборе) с гарантированным натягом 0,013 мм. Запрессовка колец производится при небольшом нагреве корпуса приспособления. После запрессовки кольца нужно

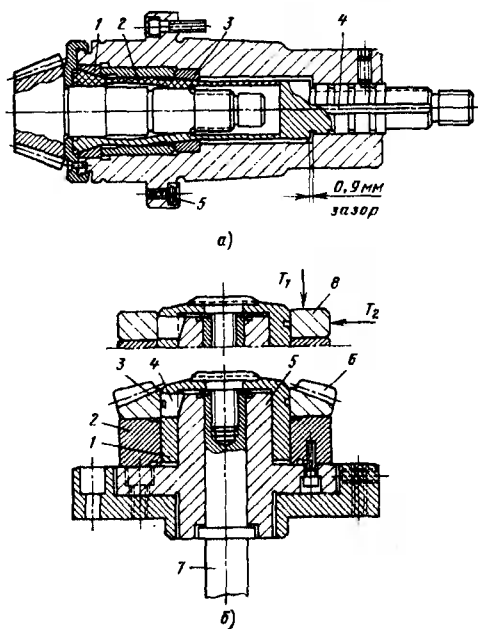


Рис. 11.21. Зажимные приспособления:

а — цангового типа с коротким конусом; б — кулачковое

проверить, нет ли вздутия на посадочном конусе приспособления, а также проверить биение конической поверхности кольца под цангу. Если имеется биение, то кольца не распрессовывают, уменьшают биение поворотом цанги 2, на конце которой имеются четыре шпоночных паза 4. С помощью винтов 5 приспособление вынимают из шпинделя станка.

Для механической обработки и контроля широко применяют разжимные многокулачковые приспособления фирмы «Тоблер» (Франция). Нарезаемое зубчатое колесо 6 (рис. 11.21, б) центрируют и зажимают подвижными кулачками 4 при перемещении втулки 1 штоком 7 от гидrocилиндра. Торце зубчатого колеса опи-

рается на торец кольца 2. Подвижные кулачки 4 имеют канавку, в которую входит пружинное кольцо 3, для прижима кулачков к конической поверхности паза. Дно паза в корпусе 5 расположено под углом 10° к оси приспособления. Диапазон развода кулачков до 0,5 мм, что значительно облегчает условия установки детали в приспособление. Многокулачковые приспособления изготовляют с высокой точностью. Для каждого приспособления поставляется калибр-кольцо 8, соответствующее наружному диаметру обрабатываемого колеса. Биение наружного диаметра T_2 и торца T_1 калибра-кольца 8, установленного вместо обрабатываемой заготовки колеса, не должно превышать 0,01 мм.

Из опыта известно, что стойкость многокулачковых зажимных приспособлений на зуборезных станках составляет свыше $2 \cdot 10^5$ деталей.

11.9. Режущий инструмент

Зуборезные инструменты — дисковые и пальцевые фрезы — сравнительно простой конструкции иногда изготовляют из легированной инструментальной стали 9ХС с твердостью HRC₃ 61—64.

Различают инструменты из быстрорежущей стали нормальной и повышенной производительности. К сталям, обеспечивающим нормальную производительность, относятся Р18, Р9, Р6М5. Инструменты, изготовленные из этих сталей, имеют твердость HRC₃ 62—65 и используются при скорости резания до 50—60 м/мин, красностойкость до 550—600 °С. Хорошие режущие свойства имеет инструмент из вольфрамомолибденовой стали Р6М5, ее рекомендуется применять взамен вольфрамовых сталей Р18 и Р9 в качестве материала для дисковых модульных фрез, зубострогальных резцов, резцов зуборезных головок.

К сталям, обеспечивающим повышенную производительность, относятся Р9К10, Р9Ф5, Р9М4К8. Легирующие элементы — кобальт, который повышает красностойкость до 630—670 °С, и ванадий, который увеличивает износостойкость.

Шлифуются инструменты из этих сталей хуже, чем из вольфрамовых. Быстро-режущая сталь Р9К10 обладает повышенными твердостью (HRC_s 64—66) и стойкостью; например, червячные фрезы, изготовленные из этой стали, работают при скорости резания 60—75 м/мин. Сталь Р9Ф5 экономично применять для изготовления чистовых резцов к зуборезным головкам.

Твердосплавные зуборезные инструменты имеют высокую твердость (HRA 87—92), большую теплостойкость (до 800—1000 °C) и износостойкость, работают на скорости резания 100—300 м/мин. Недостаток твердосплавного инструмента — повышенная хрупкость, что вызывает выкрашивание режущей кромки. Инструмент из твердых сплавов вольфрамовой группы ВК6-М, ВК8 применяют при обработке зубчатых колес из чугуна и цветных металлов. Сплавы титановольфрамовой группы Т5К10, Т14К8, Т15К6 используют при черновой обработке зубьев стальных зубчатых колес среднего и крупного модуля дисковыми модульными фрезами и чистовом зубонарезании мелко модульных колес.

Дисковые модульные фрезы. Для нарезания конических колес с прямыми зубьями применяют заточенные и острозаточенные дисковые модульные фрезы. Дисковые фрезы со шлифованным профилем зубьев не обеспечивают высокой точности изделий, их применяют для изготовления колес пониженной точности. Профиль зубьев фрезы соответствует эвольвенте, передний угол равен нулю. Фрезы с нешлифованным профилем применяют при черновом нарезании зубьев. Для улучшения условий резания черновых фрез передний угол выполняют равным 5—10°, для дробления стружки на профиле зубьев фрезы предусмотрены стружкоделительные канавки. Номера фрезы выбирают в зависимости от приведенного числа зубьев изготавливаемого колеса из комплектов восьми (модуль до 8 мм) и пятнадцати (модуль свыше 8 мм) дисковых фрез.

Для чернового нарезания зубьев зубчатых колес средних и крупных модулей экономичными являются сборные острозаточенные дисковые фрезы.

Значительное повышение производительности станка обеспечивают твердосплавные дисковые фрезы. При черновом нарезании зубьев цилиндрических зубчатых колес (опыт Уралмашзавода и ЧТЗ) сборными твердосплавными фрезами с пластинами из сплавов Т15К6, Т5К10, Т14К8 производительность повышается до 2—2,5 раз по сравнению с производительностью при нарезании червячными фрезами из быстрорежущей стали. Работа твердосплавным инструментом должна проводиться на станках повышенных жесткости и мощности.

На рис. 11.22, а показана схема чернового нарезания зубьев прямозубого колеса 4 твердосплавной дисковой модульной фрезой 3 с поворотными режущими пластинами 1, 2 на зуборезных станках фирмы «Гульд Эбергард» (США). Пластины установлены в пазы корпуса и закреплены винтами. При таком креплении пластины выдерживают нагрузку в 2—3 раза выше, чем при обычном креплении пластин в корпусе. Впадина зуба нарезаемого колеса имеет слегка ступенчатую форму. При небольшой ширине dna впадины зуба колеса (рис. 11.22, б) пластины 5, 7, обрабатывающие боковые стороны зуба, перекрывают дно впадины. При большой ширине dna впадины (рис. 11.22, в) пластины его не перекрывают, в этом случае по центру впадины во фрезе устанавливают дополнительные пластины 8, сохраняя суммарный угол профиля 6 фрезы.

Зубострогальные резцы (ГОСТ 5392—80Е) применяют для чистовой обработки прямозубых конических колес с модулем 0,3—20 мм (рис. 11.23). Резцы изготавливают четырех типов: 1 — длиной $L = 40$ мм; 2 — $L = 75$ мм; 3 — $L = 100$ мм; 4 — $L = 125$ мм. Чистовые резцы имеют призматическую форму с резьбовыми отверстиями, к резцедержателям резцы крепятся двумя винтами. База резца име-

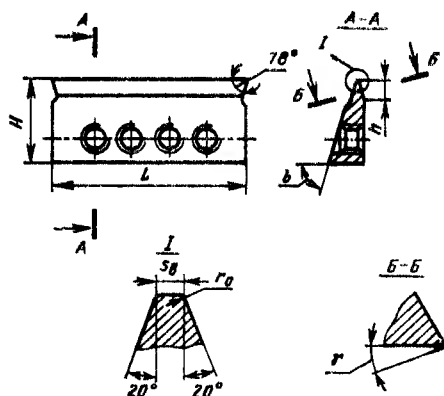
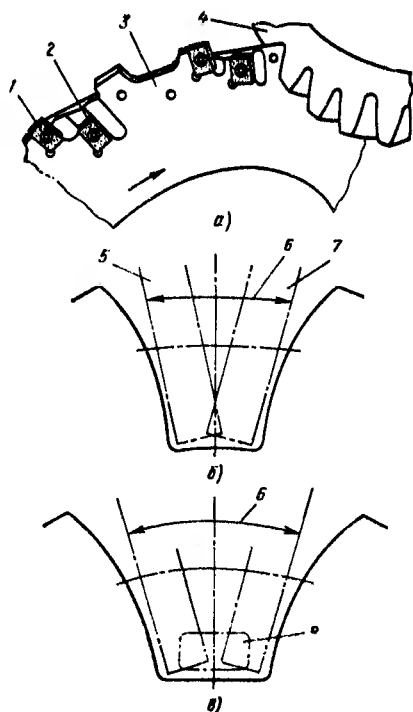


Рис. 11.23. Зуботрогальный резец

Рис. 11.22. Схема нарезания прямых зубьев конического колеса твердосплавной дисковой модульной фрезой с поворотными режущими пластинами

ет клиновую опорную плоскость с углом δ . Для резцов типа 1 δ равно 70 и 73°; типов 2 и 3 — 73°, типа 4—75°. Режущая кромка резца прямолинейная, угол профиля $\alpha = 20^\circ$. Высота режущей части h выбирается несколько больше высоты зуба обрабатываемого колеса, чтобы полностью обработать профиль зуба. Ширина носика резца $s_b \approx 0,4 m_{te}$ должна быть не менее половины ширины дна впадины у внешнего конца зуба и не более ширины дна впадины у внутреннего конца. Радиус закругления резца на рабочей стороне профиля соответствует $r_0 \approx 0,3 m_{te}$. Высота H для резцов типов: 1—27 мм; 2—33 мм; 3—43 мм; 4—60 и 75 мм.

Резцы изготовляют из быстрорежущей стали, при длине более 40 мм допускается сварная конструкция. Державку резцов изготовляют из сталей 45 или 40Х твердостью HRC₃ 35—40. Твердость резцов цельных и режущей части сварных резцов HRC₃ 62—65. Параметр шероховатости поверхности рабочей стороны профиля резцов не должен превышать $Ra = 0,32$ мкм.

Резцы работают в комплекте из двух резцов методом обкатки, один резец профилирует одну сторону зуба, другой — противоположную. При работе используют оба конца резцов. После затупления режущей кромки на одном конце резцов резцы меняют местами в резцедержателях и поворачивают на 180°, в результате чего начинают работать незатупленные кромки резцов.

Черновые резцы не стандартизованы. В единичном и мелкосерийном производстве чистовые резцы используют как черновые для черного нарезания зубьев методом врезания за несколько проходов на пониженных режимах резания.

Дисковые фрезы (головки зуборезные) (ГОСТ 24904-81Е) применяют для изготовления прямозубых колес с модулем 0,5—12 мм. Дисковые фрезы сборной конструкции диаметром 150, 278 и 450 мм. Фрезы диаметром 150 мм предназначены для нарезания конических колес с модулями от 0,5 до 3 мм, диаметром

278 мм с модулями от 1,5 до 8 мм и диаметром 450 мм — от 3 до 12 мм. Комплект фрез состоит из праворежущей (нижней) фрезы, которая вращается против часовой стрелки, если на нее смотреть с лицевой стороны, и леворежущей (верхней) фрезы, вращающейся по часовой стрелке.

Резцы фрез изготавливают из быстрорежущей стали твердостью HRC₆₂—65; корпус, диски и опорные кольца — из стали 40X или ХВГ твердостью HRC₄₀—45.

На рис. 11.24, а показан общий вид дисковой фрезы с $d_0 = 278$ мм. Затылованные резцы 3 устанавливают в корпус 4 и закрепляют диском 2 с пазами. В фрезе с $d_0 = 150$ мм резцы закрепляют двумя винтами (рис. 11.24, б). На шпиндель зубофрезерного станка фрезы устанавливают на коническую поверхность 6 и опорный торец 5. Фрезу со шпинделя станка снимают с помощью винтов 1. Дисковые фрезы диаметром 150 и 278 мм на шпинделе станка закрепляют одним центральным винтом, фрезы диаметром 450 мм — четырьмя винтами.

Для нарезания конических колес с бочкообразной формой зуба у резцов предусмотрен угол поднутрения β (рис. 11.24, в), равный 0, 1°30', 2°, 3° и 5°. С увеличением угла поднутрения длина пятна контакта на зубьях колеса уменьшается. Радиус закругления вершины резца r_0 зависит от ширины носика s_b , и может быть принято $r_0 = (0,5 \dots 0,4) s_b$. Высота режущей части h должна быть больше высоты зуба обрабатываемого колеса на 2—3 мм.

Зуборезные головки-протяжки применяют для нарезания зубьев прямозубых конических колес дифференциала легковых и грузовых автомобилей, тракторов и других сельскохозяйственных машин в условиях массового производства. Головки-протяжки изготавливают трех номинальных диаметров: 406,4, 533,4 и 635 мм (табл. 11.4) и трех типов: комбинированные, черновые и чистовые. Комбинированные зуборезные головки-протяжки (рис. 11.25) применяют для окончательной обработки зубьев конических колес с модулем до 5 мм за один установ в целой заготовке. Головки этого типа состоят из черновых (сегменты 1—10), получистовых (сегмент 11) и чистовых резцов (сегменты 13—16) и двух безрезцовых промежутков 5 и 7 (рис. 11.25, а), один для установки фасочного резца, другой для деления заготовки на зуб.

11.4. Основные параметры зуборезных головок-протяжек ВАЗа и фирмы «Глисон»

Тип головки	Номинальный диаметр головки		Наибольшая высота зуба, мм	Наибольшая длина зуба на образующей внутреннего конуса, мм	Теоретическое число делений	Число резцов в головке				Число резцов в сегменте	Число сегментов	Крутящий момент при заточке винтов, Н·м
	дюйм	мм				черновых	полу-чистовых	чистовых	чистовых			
Черновая	16	406,4	11,43	25,4	72	63	—	—	—	6	11	160
Чистовая	16	406,4	11,43	25,4	72	—	20	36	—	6	10	150
Комбинированная*1	21	533,4	10,67	25,4	90	50	5	20	—	5	15	150
Черновая*1	21	533,4	14,86	28,6	90	80	—	—	—	5	16	160
Чистовая*1	21	533,4	17,02	34,9	72	—	32	28	—	4	15	150
Комбинированная*2	25	635,0	12,7	27,0	108	60	6	24	—	6	15	150
Черновая*2	25	635,0	15,87	28,6	108	96	—	—	—	6	16	160
Чистовая*2	25	635,0	15,87	28,6	90	—	40	35	—	5	15	150

*1 На станках 5245.

*2 На станках 5С268 и 5С269.

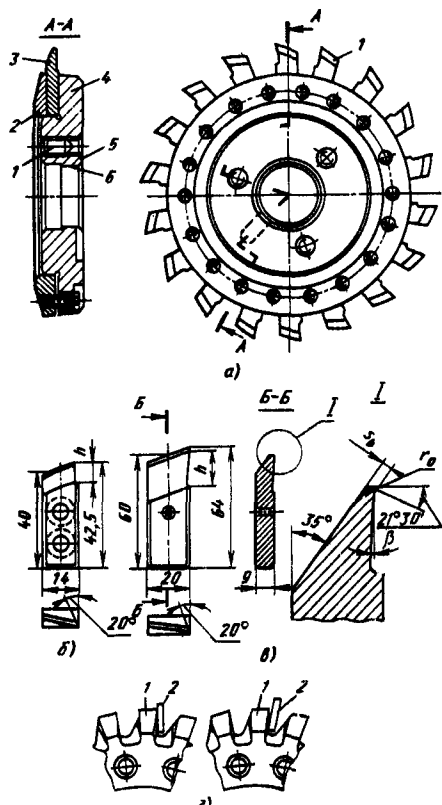


Рис. 11.24. Зуборезная головка:

а — общий вид; б, в — резцы головок диаметром соответственно 150 и 278 мм; г — схема контроля для головки

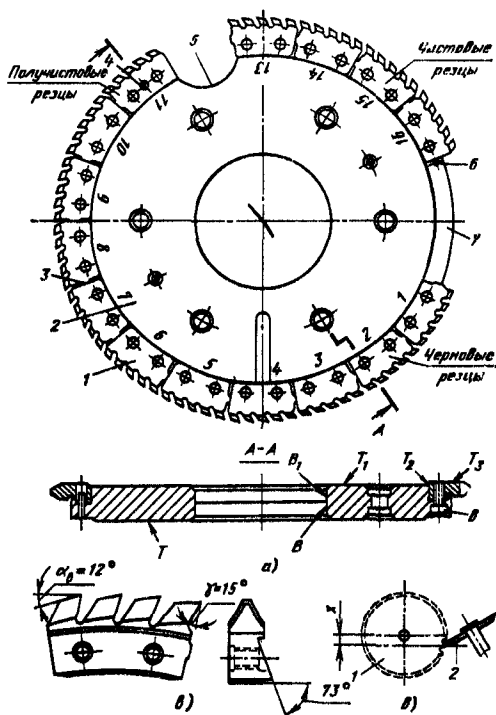


Рис. 11.25. Комбинированная зуборезная головка-протяжка:

а — общий вид; б — сегмент с резцами; в — схема заточки головки-протяжки

Резцы в протяжке затылованы, задние углы по вершине $\alpha_b = 12^\circ$ (рис. 11.25, б) и по боковой режущей кромке $\alpha_6 = 5^\circ$. Боковые поверхности резцов имеют вогнутую форму, образуемую дугами окружности одного радиуса. Для всех типоразмеров передний угол $\beta = 15^\circ$. Каждый резец срезае металл с боковых сторон и впадины зуба. Угол профиля резцов протяжки $\alpha = 22^\circ 30'$. Число резцов в сегменте меняется от 4 до 6 (см. табл. 11.5).

Сегменты 1 (см. рис. 11.25, а) резцов в корпусе протяжки 2 базируют по цилиндрической и конической поверхностям и закрепляют двумя винтами 8. Затягивают винты динамометрическим ключом с определенным крутящим моментом. Между собой сегменты контактируют по выступу 3. На шпиндель зубопротяжного станка зуборезные головки-протяжки устанавливают одновременно по конусному отверстию В и торцу Т.

При сборке головки-протяжки сначала собирают чистовые сегменты. Первым устанавливают сегмент 16 относительно контрольной шпильки 6, затем собирают остальные чистовые сегменты. Полуцистовой сегмент 11 устанавливают относительно контрольной шпильки 4, далее последовательно собирают сегменты с меньшими порядковыми номерами. После сборки перед отправкой на заточку головку-протяжку необходимо проконтролировать.

Черновые зуборезные головки-протяжки состоят из черновых резцов, вместо фасочного резца установлен дополнительный сегмент. Черновая головка-протяжка в процессе резания не совершает движения подачи на заготовку, резание достигается благодаря подъему черновых резцов в радиальном направлении. Благодаря этому станок для черновой обработки имеет большую жесткость, чем станок для чистовой обработки. Первый черновой резец короче и шире остальных, у последующих резцов высота зуба прогрессивно увеличивается, а толщина уменьшается. Первый резец снимает стружку толщиной около 0,25 мм, последний резец — толщиной 0,08 мм. У черновых головок-протяжек диаметром 406,4 мм на первом сегменте отсутствуют три первых зуба для увеличения промежутка при делении заготовки на зуб.

Чистовые зуборезные головки-протяжки имеют получистовые и чистовые резцы и два безрезцовых промежутка соответственно для установки фасочного резца и деления. Получистовые резцы имеют подъем в радиальном направлении. При работе получистовых резцов заготовка перемещается вверх, при движении ее вниз резание начинают совершать чистовые резцы. Если зубья колеса должны быть бочкообразной, а зубья шестерни не бочкообразной формы, то высота и толщина чистовых резцов протяжки для шестерни должны быть постоянными по всей окружности. У головок-протяжек для нарезания зубьев сопряженного колеса с продольной бочкообразностью первые чистовые резцы, которые начинают резание с внешнего торца зуба, имеют толщину несколько больше последующих, следовательно, впадина на внешнем торце зуба шире, чем на внутреннем. Аналогично увеличивают ширину впадины зуба на носке. Таким образом образуется бочкообразная форма по длине зуба. Первые четыре зуба у первого получистового сегмента чистовых головок-протяжек диаметром 406,4 мм отсутствуют. Это предусмотрено для того, чтобы увеличить промежуток для деления. Правильный профиль зубьев колеса при нарезании чистовыми головками-протяжками достигается благодаря согласованному перемещению протяжки (заготовки) и профиля чистовых резцов при вращении.

Заточка зубострогальных резцов выполняется по передней поверхности резца (см. рис. 11.23) с обоих концов на заточных или плоскошлифовальных станках. При обработке стальных зубчатых колес передняя поверхность чистовых резцов затачивается под углом γ , равным 20° , бронзовых и латунных колес — $5-10^\circ$, а колес из очень вязких материалов — $20-25^\circ$. Режущая кромка чистовых резцов должна быть прямолинейной без зазубрин и поднутрения. Черновые резцы затачивают с углом поднутрения, равным $5-7^\circ$. Параметр шероховатости передней поверхности режущей части не должен превышать $Ra = 0,32$ мкм. Передний угол резцов после заточки контролируют специальным калибром.

Заточка дисковых фрез (зуборезных головок) производится в сборе по передней поверхности резцов на специальных заточных станках. Передний угол $\gamma = 20^\circ$, параметр шероховатости передней поверхности $Rz \leq 1,6$ мкм. После заточки режущие кромки противоположащих резцов 1 (см. рис. 11.24, а) должны быть прямолинейны, параллельны и лежать в плоскости, проходящей через центр головки. При проверке контрольную линейку 2 плотно прижимают к режущей кромке одного из резцов. Если режущая кромка противоположащего резца плотно (без зазора) прилегает к линейке, то положение режущих кромок правильное. Зазор на головке или ножке не должен превышать 0,025 мм.

После сборки и заточки дисковых фрез допуск биения резцов посередине режущих кромок относительного опорного торца корпуса для колес с модулем до 4 мм не более 0,012 мм, с модулем до 12 мм — не более 0,025 мм. Допуск радиаль-

ного биения вершин резцов для фрез диаметром 150 мм — не более 0,03 мм; для фрез диаметром 278 и 450 — не более 0,04 мм. Диаметры фрез в комплекте после заточки не должны различаться более чем на 0,05 мм.

Заточка зуборезных головок-протяжек 1 (см. рис. 11.25, а) производится в сборе по передней поверхности резцов на специальных заточных станках тарельчатым шлифовальным кругом 2. На заточном станке протяжка устанавливается на коническую поверхность B_1 и торец T_1 (рис. 11.25, а). Передний угол γ , равный 15° , обеспечивается вертикальной установкой x станка.

После сборки и заточки при установке головки по конусному отверстию B и торцу T допустимое биение торца корпуса не более 0,005 мм. Допуск биения по поверхности T_3 от сегмента к сегменту для чистовых резцов не более 0,005 мм, полуциментованных и черновых резцов — не более 0,013 мм, допуск суммарного биения — соответственно не более 0,008 мм и 0,025 мм. Допуск радиального биения по поверхности T_3 для всех типов резцов от сегмента к сегменту не более 0,005 мм, допуск суммарного биения не более 0,013 мм. Параметр шероховатости передней поверхности резцов должен быть в пределах $Ra = 0,63 \dots 0,32$ мкм.

11.10. Обработка базовых поверхностей колес после термической обработки

Наиболее важными требованиями, которые предъявляют к зажимному приспособлению при шлифовании, являются точная установка и надежный зажим зубчатого колеса в процессе обработки.

Если закалка колес-валов ведется не в закалочных штампах, то после закалки требуется правка колеса-вала в прессах.

Перед правкой необходимо зачистить центровые фаски и удалить в них все забоины. Допуск биения шейки, расположенной рядом с зубчатым венцом, после правки — не более 0,025 мм, допуск биения второй шейки — не более 0,04 мм. Для авиационных и других нагруженных зубчатых колес правка после закалки не допускается. В этих случаях уменьшение деформации достигается путем закаливания колес-валов в закалочных штампах. Зубчатые колеса-валы длиной свыше 300 мм также рекомендуется закаливать в штампах.

Базовые шейки и опорный торец колеса-вала целесообразно шлифовать одновременно на многокруговом шлифовальном станке методом врезания. Этот метод повышает производительность станка и точность обработки. С опорного торца колеса-вала снимают минимальный припуск 0,05—0,10 мм. Для повышения качества зубчатого колеса по пятну контакта целесообразно торец оставлять нешлифованным. Снятие большого припуска с торца может вызвать изменение пятна контакта на зубьях колеса при окончательной сборке.

Зажимные приспособления для шлифования базовых поверхностей у колес-дисков и колес со ступицей разнообразны и зависят от размера и формы колеса, а также от числа выпускаемой продукции.

В условиях мелкосерийного производства неэкономично применять специальные приспособления для установки зубчатого колеса при шлифовании отверстия. В этих случаях на заготовке более точно обрабатывают дополнительные технологические базы — торцы или шейки — для установки по ним зубчатого колеса в приспособлении при шлифовании отверстия. Как правило, эти поверхности должны располагаться как можно ближе к зубьям, что обеспечивает правильное расположение зубьев, если технологические поверхности установлены точно. Когда эти установочные поверхности расположены близко к зубьям, то любые деформации

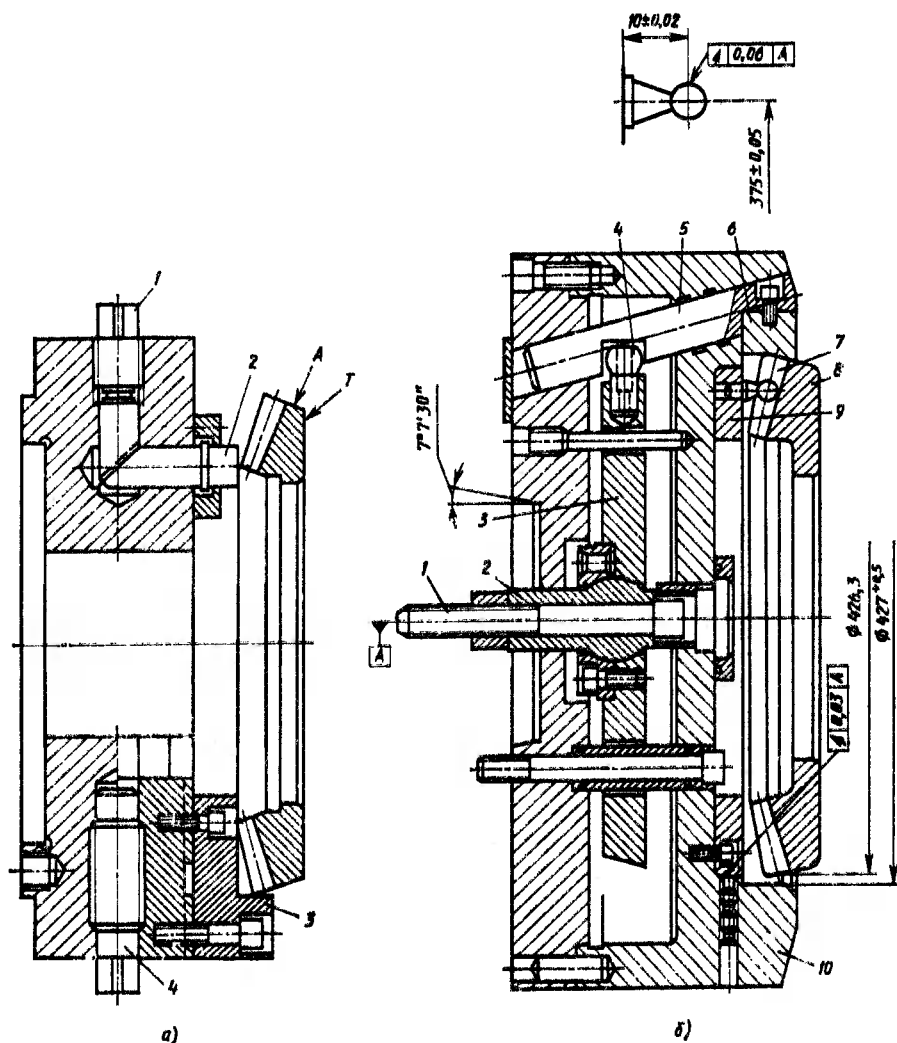


Рис. 11.26. Схемы установки конических колес в зажимных приспособлениях

ции на зубьях будут одинаково сказываться и на установочных поверхностях. У конических колес-дисков (рис. 11.26, а) установочными поверхностями обычно являются поверхности А и Т. Допуск биения поверхности Т (ближе к внешнему диаметру) после термической обработки не более 0,08 мм, поверхности А — 0,03—0,05 мм, эллипсность отверстия — не более 0,08 мм.

На рис. 11.27 показаны схемы установки прямозубых конических колес в зажимных приспособлениях при шлифовании базовых поверхностей после термической обработки на внутришлифовальных станках. Шлифование отверстия и сферического опорного торца сателлита дифференциала производится на шлифовальном автомате двумя кругами (рис. 11.27, а). В зажимное приспособление зубчатое колесо 1 устанавливают по делительному конусу на три сферических паль-

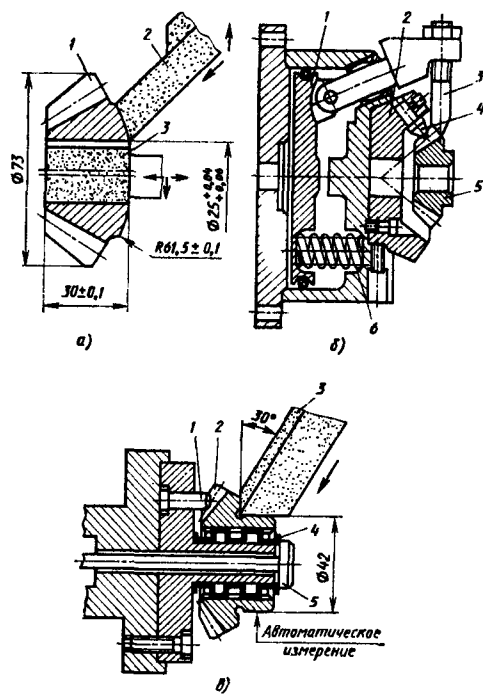


Рис. 11.27. Схемы установки прямозубых конических колес в зажимных приспособлениях при шлифовании базовых поверхностей

ца и более, а закрепление осуществляют по поверхности дополнительного конуса в трех точках. Отверстие обрабатывают шлифовальным кругом 3 диаметром 23 мм со скоростью резания $v = 51$ м/с, при этом снимают припуск 0,20 мм на диаметр. Достижимый параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,6$ мкм, допуск круглости и допуск конусности отверстия не более 2—3 мкм. Правка шлифовального круга производится в конце цикла для каждой заготовки. Сферическую поверхность шлифуют кругом 2 диаметром 300 мм ($v = 45$ м/с), снимаемый припуск 0,15 мм, достигаемый параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,8$ мкм. Правка шлифовального круга выполняется в конце цикла после шлифования каждых трех деталей. При шлифовании отверстия применяют электронное измерительное устройство активного

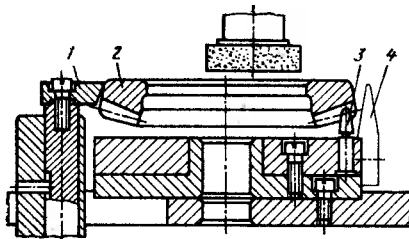
контроля, которое выключает размер детали. Основное время 13 с, штучное 25 с.

Когда шлифование отверстия и сферической опорной поверхности выполняют на разных станках, то при шлифовании сферической поверхности базирование производят по делительному конусу, а зажим целесообразно осуществлять по отверстию посредством цанговой оправки или разжимной втулки 4 (рис. 11,27, в).

На рис. 11.27, б показано приспособление для установки и закрепления конических колес со ступицей 5 диаметром 22—380 мм, которое используют при шлифовании отверстия и опорного торца ступицы. Базирование колеса в приспособлении осуществляют по делительному конусу на сферические пальцы 4. Закрепляют заготовку тремя прижимами 3. При перемещении поршня 1 по направлению от пневматического патрона вправо прижимы 3 освобождают заготовку. Под действием пружин 6 поршень 1 перемещается влево, прижимы 3 закрепляют заготовку. Приспособления используют при обработке зубчатых колес в мелко- и крупносерийном производстве. При обработке новой партии заготовок зубчатых колес в приспособлении обычно заменяют две детали: диск 2 и сферические пальцы 4, иногда заменяют прижимы 3, остальные детали приспособления не заменяют.

Приспособление для установки конического колеса со ступицей 2 при одновременном шлифовании ступицы и торца зубчатого венца шлифовальным кругом 3 показано на рис. 11.27, в. Базирование производят по делительному конусу на конические пальцы 1, а зажим — разжимной втулкой 4 при перемещении штока 5 от пневматического патрона. Внешний диаметр ступицы в процессе шлифования измеряется электронным устройством активного контроля.

Рис. 11.28. Схема установки гипоидного конического колеса с криволинейными зубьями в зажимном приспособлении на станках с вертикальной осью заготовки



Приспособления, показанные на рис. 11.26, применяют при шлифовании отверстий конических колес-дисков с криволинейными зубьями после термической обработки. Базовый торец шлифуют только в том случае, когда шлифуют профиль зубьев.

При обработке небольших партий шлифование базового отверстия у колес-дисков выполняют в четырехкулачковом зажимном приспособлении с выверкой по поверхностям *A* кулачком 2 вращением винта 1 и 7 перемещением кулачка 3 (см. рис. 11.26, а) с помощью винта 4. Если после термической обработки отверстие имеет небольшую деформацию (0,05 мм), то его можно использовать для выверки зубчатого колеса в радиальном направлении перед шлифованием отверстия.

В массовом и крупносерийном производстве при шлифовании базового отверстия у колес-дисков широко применяют мембранные или кулачковые приспособления с установкой от зубца по делительному конусу.

Приспособление, показанное на рис. 11.26, б, предназначено для шлифования отверстия у двух гипоидных конических колес с криволинейными зубьями: 1) $z_2 = 41$, $m_{te} = 10,81$ мм, диаметр сферических пальцев 17 мм; 2) $z_2 = 38$, $m_{te} = 11,2$ мм, диаметр сферических пальцев 19 мм. При переходе с изготовления одной детали на изготовление другой меняется только диск 9 со сферическими пальцами 7. Обрабатываемая заготовка зубчатого колеса 8 центрируется в зажимном приспособлении по делительному конусу на трех сферических пальцах 7, а зажимается тремя кулачками 6, приводимыми в действие от пневматического патрона с максимальной силой зажима $6 \cdot 10^4$ Н (сила, необходимая для зажима колеса во время шлифования, равна $4 \cdot 10^4$ Н). Шток патрона соединен с тягой 1, которая через сферическую втулку 2, диск 3, палец 4 со сферической головкой перемещает штангу 5 с зажимным кулачком 6. Передача движений от тяги 1 к зажимному кулачку 6 через детали сферической формы позволяет устранить перекосы в передающей системе. При установке в зажимном приспособлении зубчатое колесо сначала ориентируют по отверстию корпуса приспособления 10, при дальнейшем перемещении фиксация колеса осуществляется по трем сферическим пальцам 7. Для более точного ориентирования колеса относительно фиксирующих пальцев в корпусе 10 приспособления предусмотрены небольшой зазор и большая направляющая фаска. Зажимное приспособление статически сбалансировано.

В последнее время для шлифования отверстий после термической обработки у конических колес с криволинейными зубьями типа диска получают распространение внутришлифовальные станки с вертикальной осью заготовки (рис. 11.28). Заготовку колеса 2 устанавливают на конусные пальцы 3, которые контактируют с боковыми поверхностями зубьев колеса вблизи делительного конуса. Заготовку закрепляют тремя кулачками 1. Производительность автомата фирмы «Брайнт» (США) 135 дет/ч при 100 %-ной загрузке. Диаметр шлифуемого отверстия 138,10—138,12 мм, длина 12,7 мм, припуск на диаметр 0,38 мм, параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,5$ мкм. Станки с вертикальной компоновкой целесообразно использовать при обработке конических колес-дисков сравнительно большого

размера; они удобнее для загрузки и разгрузки по сравнению со станками горизонтальной компоновки.

При базировании заготовок конических колес в зажимном приспособлении применяют три—пять фиксирующих пальцев и более. Если базирование заготовки в приспособлении производят на трех пальцах, то необходимо применять направляющие планки 4 для предварительного ориентирования заготовки относительно фиксирующих пальцев. Для повышения срока службы фиксирующих пальцев с шариковыми или конической формы наконечниками их изготавливают из твердого сплава или покрывают карбидом вольфрама до получения твердости HRC₆ 65—68.

Качество зажимного приспособления определяется главным образом точностью изготовления и установки фиксирующих пальцев в приспособлении. Фиксирующие пальцы должны контактировать с заготовкой колеса в зоне делительного конуса и должны иметь минимальное биение в плоскости вращения (см. рис. 11.28).

11.11. Режимы резания

Режимы резания должны обеспечивать требуемую производительность и качество обработки при оптимальной стойкости режущего инструмента. При нарезании зубьев конических колес всех типов скорость резания непосредственно на производительность станка не влияет. Приведенные в таблицах значения времени обработки одного зуба даны с учетом времени полного цикла обработки, включая время на резание и вспомогательные ходы (отвод, подвод и деление заготовки на зуб). Режимы резания составлены с учетом того, что материал зубчатого колеса однородный, хорошо обрабатывается, станки и технологическая оснастка находятся в хорошем техническом состоянии, имеют требуемые жесткость и точность. Основными параметрами, которые необходимо учитывать при определении режимов резания, являются: модуль обрабатываемого колеса, ширина зубчатого венца, материал и твердость заготовки колеса, материал и конструкция режущего инструмента. При нарезании конических колес инструментом из быстрорежущей стали износ резцов по задней поверхности при чистовом зубонарезании составляет 0,2—0,4 мм, при черновом 0,8—1,0 мм.

Штучное время (мин), затрачиваемое на изготовление одной детали, $t_{ш} = t_0 + t_u + t_{об} + t_{от}$, где t_0 — основное время; t_u — вспомогательное время; $t_{об}$ — время обслуживания рабочего места; $t_{от}$ — время перерывов на отдых и естественные потребности. Основное время подсчитывают по формулам, остальное время определяют по нормативным таблицам с помощью коэффициентов в зависимости от основного времени.

Основное время (мин) при зубонарезании конических колес с прямыми и криволинейными зубьями $t_0 = t_z/60$, где t_z — время обработки одного зуба, с; z — число зубьев обрабатываемого колеса.

Скорость резания (м/мин) при зубострогании $v = 2L_{p,x} n/1000$; здесь $n = 1000 v/(2L_{p,x})$ — частота движения резцов, дв. ход/мин, где $L_{p,x}$ — длина рабочего хода резца, $L_{p,x} = b + (5...10)$, мм (b — ширина зубчатого венца, мм).

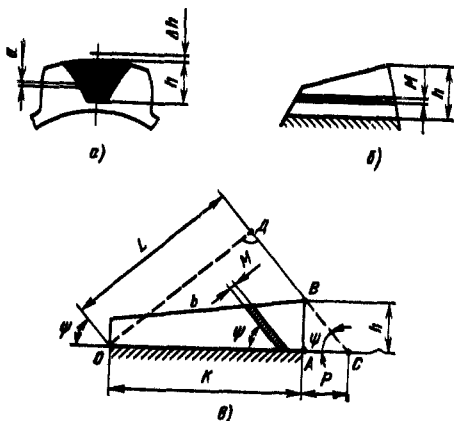
Режимы резания при зубострогании двумя резцами можно определить двумя методами — расчетным с использованием табличных коэффициентов и по таблицам.

Рассмотрим расчетный метод.

Черновое нарезание зубьев методом врезания. Параметры обрабатываемого колеса: $z = 20$, $m_{ie} = 5$ мм, $b = 40$ мм, $h = 10,94$ мм, материал — сталь 18ХГТ,

Рис. 11.29. Схемы резов резцов:

a — при черновом нарезании; *б* — при чистовом нарезании прямозубых конических колес; *в* — при нарезании конических колес с криволинейными зубьями



твердость НВ 180. Обработка производится трапециевидными резцами.

Частота движения резцов

$$n = \frac{1000v}{2L_{p,x}} = \frac{1000 \cdot 12}{2(40+8)} = 125 \text{ дв. ход/мин.}$$

Скорость резания v выбирают по табл. 11.5 в зависимости от обрабатываемого материала и его твердости.

11.5. Рекомендуемая скорость резания, м/мин, при черновом и чистовом зубострогании на станках 5А250, 5С27СП, 5С286П производства СССР и 12"В, 710, 429(14), 434(24) фирмы «Глисон»

Материал	Твердость материала НВ	Временное сопротивление $\sigma_b \cdot 10^{-3}$, Па	Резцы		
			трапециевидные	фасонные	стандартные
			при зубострогании		
			черновом	черновом	чистовом
18ХГТ	170—223	59,8—80,4	12—15	15—18	13—15
35ХМ	223—269	80,4—95,1	9—12	12—15	11—13
40ХНМ	269—321	95,1—109,8	6—9	9—12	9—11

1. Число двойных ходов резцов, необходимое для полной обработки высоты зуба колеса (рис. 11.29, *a*).

$$n' = \frac{h + \Delta h}{a} = \frac{10,94 + 2,06}{0,12} = 108 \text{ дв. ход,}$$

где h — полная высота зуба колеса на внешнем торце, мм; Δh — зазор, необходимый для деления заготовки, мм; a — толщина срезаемого слоя, мм (табл. 11.6).

11.6. Рекомендуемая толщина срезаемого слоя при черновом нарезании трапециевидными резцами методом врезания, мм

Модуль, мм	Твердость обрабатываемого материала НВ			Модуль, мм	Твердость обрабатываемого материала НВ		
	170—223	223—269	269—321		170—223	223—269	269—321
1—2	0,102	0,076	0,084	5—7	0,127	0,102	0,089
2,5—4	0,114	0,090	0,076	8—20	0,152	0,127	0,102

2. Суммарное число двойных ходов резцов, необходимое для обработки зуба за один цикл,

$$n'' = n' \frac{360^\circ}{293^\circ} = 108 \frac{360}{293} = 132 \text{ дв. ход/зуб,}$$

где 293° — угол поворота копира подачи [станок 429(14) фирмы «Глисон»] при черновом нарезании зуба. На угол $360^\circ - 293^\circ = 57^\circ$ копир поворачивается при подводе, отводе и делении заготовки на зуб; он зависит от конструкции копира подачи станка.

3. Время обработки одного зуба колеса (табл. 11.7)

$$t_z = \frac{n'' \cdot 60}{n} = \frac{132 \cdot 60}{125} = 63 \text{ с.}$$

11.7. Время обработки одного зуба, с, при черновом нарезании прямозубых конических колес трапециевидными и фасонными резцами методом врезания на зубострогальных станках 5А250, 5С27СП, 5С286П производства СССР и 12"В, 710, 429(14), 434(24) фирмы «Глисон»

Материал нарезаемого колеса	Твердость НВ	Число двойных ходов в минуту	Длина зуба, мм	Модуль, мм, не более								
				1,5	2,0	2,5	2,75	3	3,5	4	5	6
Стали 18ХГТ, 20НМ	156—207	405	15	7,7	9,0	10	11,9	13,6	15,5	—	—	—
		293	20	9,0	10,0	11,9	13,6	15,5	15,5	18,8	—	—
		256	25	—	—	—	15,5	18,8	22	22	24,5	32,2
		224	30	—	—	—	—	22	24,5	24,5	29	42
		196	40	—	—	—	—	—	29	29	42	42
		171	45	—	—	—	—	—	—	42	42	50
		142	50	—	—	—	—	—	—	—	50	60
		123	65	—	—	—	—	—	—	—	—	72
Сталь 35ХМ	230—286	293	15	13,6	15,5	15,5	18,8	22	24,5	—	—	—
		224	20	18,8	22	22	24,5	29	32,3	42	—	—
		171	25	—	—	—	32,2	42	42	50	50	—
		142	30	—	—	—	—	42	50	60	60	72
		123	40	—	—	—	—	—	50	60	72	85
		101	45	—	—	—	—	—	—	85	85	105
		82	50	—	—	—	—	—	—	—	105	131
		64	65	—	—	—	—	—	—	—	—	131
Серый чугун	—	405	15	7,7	7,7	7,7	10	11,9	—	—	—	—
		293	20	7,7	9	10	11,9	13,6	15,5	18,8	—	—
		224	25	—	—	—	13,6	15,5	18,8	22	24,5	29
		196	30	—	—	—	—	18,8	22	24,5	29	32,2
		171	40	—	—	—	—	—	24,5	29	32,2	42
		142	45	—	—	—	—	—	—	29	32,2	42
		123	50	—	—	—	—	—	—	—	42	50
		101	65	—	—	—	—	—	—	—	—	60

Примечание. Время обработки одного зуба указано для нарезания за один рабочий цикл.

4. Основное время

$$t_o = \frac{zt_z}{60} = \frac{20 \cdot 63}{60} = 21 \text{ мин.}$$

Чистовое нарезание зубьев методом обкатки двумя резцами. Режимы резания при чистовом нарезании зубьев определяют так же, как при черновом нарезании.

Частота движения резцов

$$n = \frac{1000v}{2L_{p.x}} = \frac{1000 \cdot 14}{2(40+8)} = 145 \text{ дв. ход/мин.}$$

Скорость резания v выбирают по табл. 11.5.

1. Число двойных ходов резцов n' , необходимое для обработки профиля одного зуба колеса (рис. 11.31, б),

$$n' = \frac{h}{M} = \frac{10,94}{0,30} = 36 \text{ дв.ход.},$$

где M — ширина реза одного резца (табл. 11.8), мм.

11.8. Рекомендуемая ширина реза M , мм, одного резца при чистовом нарезании прямозубых конических колес методом обкатки на станках 5А250, 5С27СП, 5С286П производства СССР и 12" В, 710, 429(14), 434(24) фирмы «Глисон»

Модуль, мм	Твердость обрабатываемого материала НВ			Модуль, мм	Твердость обрабатываемого материала НВ		
	170—223	223—269	269—321		170—223	223—269	269—321
1	0,152	0,127	0,10	8	0,38	0,33	0,305
2	0,178	0,127	0,10	10	0,406	0,355	0,33
3	0,203	0,152	0,127	12	0,43	0,406	0,355
4	0,230	0,178	0,152	14	0,46	0,43	0,406
5	0,305	0,254	0,23	16	0,508	0,46	0,43
6	0,305	0,254	0,23	20	0,533	0,48	0,46
7	0,355	0,305	0,28				

Примечание. Если предъявляются высокие требования к качеству поверхности, M (см. рис. 11.29, б) уменьшают приблизительно на 25%. Когда требования к шероховатости поверхности невысокие, ширину площадки и скорость резания увеличивают на 25%.

2. Суммарное число двойных ходов резцов, необходимое для обработки профиля зуба за один цикл,

$$n'' = n' \frac{360^\circ}{220^\circ} \frac{5}{4} = 36 \frac{360}{220} \frac{5}{4} = 73 \text{ дв. ход.},$$

где 220° — угол поворота копира подачи [станок 429 (14) фирмы «Глисон» (США)] при чистовом нарезании зуба. На угол $360^\circ - 220^\circ = 140^\circ$ поворачивается копир при подводе, делении и отводе заготовки; он зависит от конструкции копира подачи станка. Коэффициент $5/4$ является постоянным и учитывает потери времени при реверсировании люльки станка.

3. Время обработки одного зуба (табл. 11.9)

$$t_z = \frac{n'' \cdot 60}{n} = \frac{73 \cdot 60}{145} = 30 \text{ с.}$$

11.9. Время обработки одного зуба, с, при чистовом нарезании прямозубых конических колес методом обкатки на зубострогальных станках 5А250, 5С27СП, 5С286П производства СССР и 12" В, 710, 429(14), 434(24) фирмы «Глисон»

Материал нарезае- мого колеса	Твердость НВ	Число проходов в мин	Длина зуба, мм	Модуль, мм, не более										
				1,5	2,0	2,5	2,75	3	3,5	4	5	6	7	8
18ХГТ 20НМ	156—207	352	15	7,7	7,7	7,7	9	10	11,9	—	—	—	—	—
		293	20	9	9	9	10	11,9	13,6	13,6	—	—	—	
		256	25	—	—	—	11,9	13,6	15,5	15,5	18,8	—	—	
		224	30	—	—	—	—	15,5	15,5	18,8	22	22	—	
		196	40	—	—	—	—	—	18,8	22	22	24,5	29	
		171	45	—	—	—	—	—	—	24,5	24,5	29	32,3	
		142	50	—	—	—	—	—	—	—	32,2	32,2	42	
		123	65	—	—	—	—	—	—	—	—	42	50	
		101	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60	
35ХМ	230—286	293	15	9	9	9	10	11,9	13,6	—	—	—	—	
		224	20	11,9	11,9	11,9	13,6	15,5	15,5	18,8	—	—	—	
		171	25	—	—	—	18,8	22	22	24,5	24,5	—	—	
		142	30	—	—	—	—	24,5	24,5	29	32,2	32,2	—	
		123	40	—	—	—	—	—	29	32,2	42	42	50	
		101	45	—	—	—	—	—	—	42	42	50	60	
		82	50	—	—	—	—	—	—	—	50	60	72	
		64	65	—	—	—	—	—	—	—	—	72	85	
		64	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	105	
Серый чугун	—	405	15	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	—	—	—	—	
		293	20	7,7	7,7	7,7	9	9	10	11,9	—	—	—	
		224	25	—	—	—	11,9	11,9	13,6	13,6	15,5	—	—	
		196	30	—	—	—	—	13,6	15,5	15,5	18,8	22	—	
		171	40	—	—	—	—	—	18,8	18,8	22	22	24,5	
		142	45	—	—	—	—	—	—	22	24,5	29	29	
		123	50	—	—	—	—	—	—	—	29	32,2	32,2	
		101	65	—	—	—	—	—	—	—	—	42	42	
		82	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	

Примечание. Значения времени обработки одного зуба указаны для нарезания за один рабочий цикл.

4. Основное время

$$t_0 = \frac{z l_z}{60} = \frac{20 \cdot 30}{60} = 10 \text{ мин.}$$

Рекомендуются следующие припуски на толщину зуба под чистовое нарезание конических колес с прямыми зубьями:

Модуль, мм	2—3	3—6	6—10	10—12	12—16
Припуск, мм	0,6	0,10	1,2	1,3	1,5

Для определения времени t_z обработки одного зуба необходимо высоту h зуба обрабатываемого колеса умножить на коэффициент подачи K (табл. 11.10, 11.11). Затем полученную величину уточнить по паспортным данным станка. Например, зубчатое колесо с $m_{t0} = 5$ мм, $h = 10,94$ мм; материал—сталь 18ХГТ, твердость НВ 160—190, толщина срезаемого слоя 0,10 мм, скорость резания $v =$

11.10. Рекомендуемые скорость резания и коэффициент подачи K при чистовом нарезании прямозубых конических колес двумя дисковыми фрезами комбинированным методом на зубофрезерных станках 5С267П, 5С277П, 442(114)

Материал нарезае- мого колеса	Твердость НВ	Скорость резания, м/мин	K при числе резцов в дисковой фрезе									
			24		30			40				
			Толщина слоя, срезаемого одним резцом, мм									
			0,10	0,13	0,08	0,10	0,13	0,08	0,10	0,13		
Сталь	160—270	43,5	1,62	1,31	1,74	1,31	1,04	1,31	0,98	0,78		
		49,5	1,44	1,15	1,53	1,15	0,92	1,15	0,86	0,69		
	217—269	33	2,16	1,73	2,30	1,74	1,39	1,73	1,29	1,04		
		36,5	1,95	1,56	2,08	1,56	1,25	1,56	1,17	0,94		
		43,5	1,62	1,31	1,74	1,31	1,04	1,31	0,98	0,78		
	269—302	24	3,02	2,42	3,23	2,42	1,94	2,42	1,82	1,46		
		28	2,52	2,02	2,69	2,01	1,61	2,02	1,51	1,25		
		33	2,16	1,73	2,30	1,74	1,39	1,73	1,29	1,04		
Серый чугун	—	33	2,16	1,73	2,30	1,74	1,39	1,73	1,29	1,04		
		36,5	1,95	1,56	2,08	1,56	1,25	1,56	1,17	0,94		
Бронза и алюминий	—	66	1,07	0,86	1,15	0,86	0,69	0,86	0,64	0,52		
		75	0,94	0,75	1,00	0,75	0,60	0,75	0,56	0,45		

$= 43,5$ м/мин. Коэффициент подачи $K = 1,31$ с/мм, число резцов 30. Тогда $t_z = hK = 10,94 \cdot 1,31 = 14,3$ с.

Режимы резания при круговом протягивании приведены в табл. 11.12.

11.12. Шлифование зубьев

Конические зубчатые колеса имеют сложную конфигурацию, вследствие чего они подвержены значительному деформированию при термической обработке.

В связи с повышением угловых скоростей и необходимостью соблюдения плавности и бесшумности передач применяют отделку закаленных зубьев шлифованием.

Шлифованием достигается высокая степень точности конических колес средних размеров — с модулем до 6 мм и диаметром до 200 мм (разность соседних окружных шагов 5—12 мкм, накопленная погрешность окружных шагов 12—18 мкм, отклонение направления зубьев 8—12 мкм, биение по делительной окружности 15—20 мкм).

Технические характеристики станков 5870 и 5870М для шлифования зубьев прямозубых конических колес приведены в табл. 11.13.

Станок 5870 имеет один шпиндель с односторонним шлифовальным кругом. Станок 5870 М, имеющий два шпинделя, может шлифовать одновременно обе стороны зубьев. Применяют зубошлифовальные станки 105 фирмы «Глисон», KS-42 фирмы «Маатг», 60Т фирмы «Гарбек».

11.11. Зависимость высоты и длины зуба обрабатываемого колеса от числа зубьев фрезы

Число зубьев фрезы	Наибольшая высота зуба, мм	Наибольшая длина зуба, мм
20	14	25
30	19	35
40	22	45

11.12. Рекомендуемые скорость резания и время обработки одного зуба при черновом и чистовом нарезании прямозубых конических колес методом кругового протягивания на зубопротяжных станках 5245, 5С268, 5С269 производства СССР и 724, 725, 726 фирмы «Глисон»

Номинальный диаметр головки-протяжки		Нарезание зубьев	Наибольшая высота зуба	Наибольшая длина зуба	Скорость резания, м/мин	Время обра- ботки одного зуба, с
дюйм	мм		мм			
16	406,4	Черновое и чистовое	11,43	25,4	36—48	1,6—2,1
21	533,4	Черновое и чистовое	14,86	28,6	25—42	2,4—4,0
		Комбинированное	10,67	25,4		
25	635	Черновое и чистовое	15,87	28,6	24—42	2,9—5,0
		Комбинированное	12,7	27		

Главной особенностью станка 105 фирмы «Глисон» является то, что его шлифовальные круги не имеют относительного перемещения вдоль зубьев и поэтому на нем нельзя шлифовать колеса с рабочей шириной венца более 35 мм.

Большую точность обеспечивают станки KS-42 фирмы «Мааг». Их недостатком является то, что к ним должны быть приложены комплекты дорогостоящих делительных дисков, алмазов, обкатных барабанов, лент, сменных шестерен.

В табл. 11.14 приведены расчеты настройки станков 5870.

На станках KS-42 применяются те же шлифовальные круги, что и на зубошлифовальных станках для цилиндрических колес. На станках 105 фирмы «Глисон» применяются шлифовальные круги тарельчатой формы диаметром 267 мм с шириной кромки 1,5—8 мм. Их зернистость, твердость и связка такие же, как у кругов, применяемых на станках 5870.

Причины погрешностей основных элементов зубчатых колес при зубошлифовании. Все станки для шлифования зубьев прямозубых конических колес имеют длинные кинематические цепи и работают по методу единичного деления, что отрицательно отражается на точности шлифования. Кроме станка KS-42, все станки не имеют автоматической компенсации износа шлифовальных кругов. Ниже указаны причины различных погрешностей, возникающих при шлифовании прямозубых конических колес.

Разность соседних окружных шагов. Причины: низкая точность шагов последнего звена цепи деления — делительного диска или червячного колеса; низкая точность выполнения и нестабильность работы всех звеньев кинематической цепи деления; осыпание шлифовальных кругов между правками; большая разница шагов у заготовок; внешние факторы — толчки, сотрясения пола и т. д.

Накопленная погрешность окружных шагов. Причины: большая накопленная погрешность окружных шагов у последнего звена цепи деления станка; отсутствие плавности и неравномерность работы делительной цепи; большое биение торцов заготовки и оправки; большая накопленная погрешность шагов у заготовки; осыпание шлифовальных кругов.

11.13. Технические характеристики зубошлифовальных станков для шлифования прямозубых конических колес

Параметры станков и изготавливаемых зубчатых колес	5870	5870M	№ 105 «Глисон» (США)	КС-42 «Мааг» (Швейцария)	60-TS «Гарбек» (ФРГ)
Число зубьев заготовок зубчатых колес	До 200	12—100	До 175	—	—
Наибольшая высота зубчатого венца, мм	100	40	93	120	—
Модуль обрабатываемых зубчатых колес, мм	8	1,5—6	0,5—8,5	2,5—8,0	2—10
Длина образующей начального конуса, мм	20—175	40—100	19—196	28—212	54—200
Установочный угол бабки заготовки, °	4—90	21—90	9—90	7—90	5—90
Передаточное отношение пары i при угле между осями 90°	1 : 1; 2 : 1; 10 : 1	4 : 1	1 : 1; 6 : 1	8 : 1	1 : 1; 10 : 1
Диаметр, мм, делительной окружности колеса при угле между осями 90° и передаточном отношении:					
1 : 1	250	140	152	300	50—259
2 : 1	300	180	—	380	—
4 : 1	—	200	—	—	—
6 : 1	—	—	216	—	—
8 : 1	—	—	—	420	—
10 : 1	350	—	—	—	24—368
Наибольшая высота зубчатого венца, мм	100	40	93	120	—
Число зубьев	До 200	12—100	До 175	—	—
Бабка заготовки:					
расстояние A от торца шпинделя до центра станка, мм	60—360	70—265	32—229	—	100—470
размеры конического отверстия в шпинделе:					
наружный диаметр, мм	100	100	329	—	—
конусность	1 : 20	1 : 20	39	—	—
длина конуса, мм	150	150	152,4	—	—
диаметр сквозного отверстия, мм	78	60	62	—	89
Время обработки зуба за один рабочий цикл, с	—	—	1,6—3,5	—	—
Диаметр шлифовального круга, мм	250	250	267	220	—
Скорость шлифовального круга, м/с	25—52	33	17,5—25	21,4—26,7	—

Погрешность профиля. Причины: неточность настройки гитары обката; неравномерность работы цепи обката вследствие плохой сборки станка; отклонение от прямолинейности и направления движения боковых алмазов для правки кругов; усиленное и неравномерное осыпание кругов и несвоевременное восстановление их режущих поверхностей; неравномерность структуры шлифовальных кругов; неудовлетворительное базирование и отжимы заготовок при шлифовании; неточность установки длины образующей начального конуса на пиноли.

11.14. Порядок расчета настройки зубошлифовального станка 5870

Рассчитываемый параметр	Формула	Результат расчета
Отношение высоты головки зуба к внешнему конусному расстоянию	$A_{г.ш} = \frac{h_{г.ш}}{L_e};$	0,090
	$A_{г.н} = \frac{h_{г.н}}{L_e}$	0,065
Коэффициент: $B_{ш}$	По табл. 2 в паспорте к станку	11,3
B_k	То же	9,0
Отношение высоты ножки зуба к внешнему конусному расстоянию	$A_{н.ш} = \frac{h_{н.ш}}{L_e};$	0,070
	$A_{н.н} = \frac{h_{н.н}}{L_e}$	0,110
Коэффициент: $C_{ш}$	По табл. 2 в паспорте к станку	11,8
C_k	То же	18,5
Число зубьев, пропускаемых при делении при обработке: шестерни	$z_{ш} = \frac{(B_{ш} + C_{ш}) L_e}{80m};$	3,9 (принимают 5)
колеса	$z_{к} = \frac{(B_k + C_k) L_e}{80m}$	4,6 (принимают 5)
Уменьшение толщины зуба при повороте лимба перемещения делительного червяка на одно деление, мм	$\Delta s_{ш} = 0,000035d_{ш}$	0,0034
Передаточное число гитары деления	$\Delta s_k = 0,000035d_k$	0,0058
	$u_{д.ш} = \frac{2z_{ш}}{z_{ш}};$	$\frac{10}{12} \left(\text{подбираем } \frac{60}{72} \right)$
	$u_{д.к} = \frac{2z_{к}}{z_k}$	$\frac{10}{24} \left(\text{подбираем } \frac{40 \cdot 45}{60 \cdot 72} \right)$
Передаточное число гитары обкатки при $\alpha = 20^\circ$	$u_{об} = \frac{3,5z_l}{z}$	0,606947
Диаметр сменных шкивов $D_{шк}$ и длина ремней $L_{рем}$		При $v = 25-34$ м/с ($n = 2600$ мин ⁻¹) $D_{шк} = 98$ мм, $L_{рем} = 1120$ мм При $v = 38-52$ м/с ($n = 3960$ мин ⁻¹) $D_{шк} = 66$ мм, $L_{рем} = 1000$ мм

Биеение зубчатого венца. Причины: большое биеение делительного шпинделя и оправки; отжимы заготовки во время шлифования; большое радиальное биеение заготовки.

Отклонение направления зубьев — неправильная настройка угла конусности на станке; неправильная установка угла бабки изделия; неравномерный износ направляющих штосселя; велики зазоры у штосселей и направляющих.

11.13. Притирка

На отечественных автомобилестроительных заводах конические зубчатые колеса после нарезания зубьев подвергают обкатке под нагрузкой, термической обработке и притирке. Обкаткой зубчатых колес, не подвергающихся термической обработке, с помощью закаленного колеса достигается упрочнение поверхностного слоя, гладкость рабочей поверхности зубьев и некоторое улучшение геометрических параметров зацепления. После обкатки производится термическая обработка и затем подбор колес парами по пятну контакта и уровню шума. Иногда подбор пар производится до обкатки.

Притирке подвергают пары колес, не имеющие больших отклонений уровня шума, геометрических параметров зацепления и формы пятна контакта. Притиркой достигается: уменьшение шероховатости рабочей поверхности зубьев (это необходимо для повышения износостойкости поверхности); улучшение формы

11.15. Технические характеристики станков для притирки зубьев конических и гипоидных передач

Характеристика	5Н725 (СССР)	SKL «Эрликон» (Швейцария)	«Глисон» (США)					«Клингельберг» (ФРГ)	
			№ 17	№ 503	№ 516	№ 520	№ 504	LKR 90	LKR 630
Наибольший диаметр притираемого колеса на ведомом шпинделе, мм	500	410	407	266	609	762	914	540	630
Расстояние от торца ведущего шпинделя до оси ведомого, мм	150—300	145—265	159—267	152—228	—	—	—	95—325	—
Расстояние от торца ведомого шпинделя до оси ведущего, мм	145—250	145—240	155—273	114—178	—	—	—	130—300	—
Наибольшее гипоидное смещение ведомого шпинделя относительно оси ведущего, мм:									
вверх	75	65	76	95	152	152	190	—	100
вниз	75	75	76	95	152	152	190	—	100
Ведущий шпиндель:									
частота вращения, мин ⁻¹	1365	1200	1200	1500	1500	1500	450/900	497/994	—
наибольший диаметр конического отверстия в шпинделе, мм	1100	99,219	99,219	99,219	99,219	99,219	—	90—80	—
глубина конического отверстия, мм	152	140	152	76	76	76	73	100—130	—
диаметр цилиндрического сквозного отверстия, мм	80	90	52	63	—	—	—	—	—
Ведомый шпиндель:									
наибольший диаметр конического отверстия в шпинделе, мм	63,34	99,219	58,34	58,34	—	—	—	60	—
глубина конического отверстия, мм	152	140	152	76	—	—	73	164	—
диаметр цилиндрического сквозного отверстия, мм	52	54	52	55	—	—	—	—	—

пятна контакта (это способствует лучшему распределению нагрузки по поверхности зубьев); снижение погрешностей в элементах зацепления колес. Указанное воздействие процесса притирки вызывает понижение уровня шума пары колес на 4—6 дБ.

В отличие от цилиндрических конические зубчатые колеса притирают не специальным чугуном притиром, а в паре с применением притирочных паст того же состава, что и при притирке цилиндрических колес. Обработанная (подогнанная) таким образом коническая пара в массовом и серийном производстве, а иногда и в опытном и единичном производстве устанавливается в машину.

Обкатка под нагрузкой, притирка, контроль пятна контакта и уровня шума производятся на специальных станках: обкатных, притирочных и контрольных (табл. 11.15). В процессе притирки на специальных притирочных станках конические зубчатые колеса получают следующие движения: совместное вращение со скоростью 10—12 м/мин, качательное движение ведомого колеса по касательной к делительному конусу ведущего колеса, качательное движение в радиальном направлении и вдоль оси. В сумме указанные движения обеспечивают притирку всей боковой поверхности зубьев. Правильность монтажа определяется по форме и расположению пятна контакта на рабочих поверхностях зубьев.

Глава 12

ОБРАБОТКА КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ ЗУБЬЯМИ

12.1. Принцип образования зубьев

Обкатные гипоидные и конические передачи с криволинейными зубьями, включая передачи с нулевым углом наклона зубьев, нарезают путем воспроизведения станочного зацепления зубьев плоского воображаемого производящего колеса с зубьями обрабатываемого колеса при их взаимной обкатке. В процессе нарезания зубьев обкатных передач прямолинейные режущие кромки резцов 4 зуборезной головки 5 воспроизводят зубья воображаемого производящего колеса 1 (рис. 12.1, а). Вращение заготовки 3 согласовано с вращением люльки 2 станка, на которой установлена зуборезная головка. При совместном обкатывании зуборезной головки 5 и заготовки 3 вращающиеся резцы, занимая последовательные положения, формируют продольную кривизну и профиль зуба. Зубья шестерни и колеса одной передачи образуются одним и тем же плоским производящим колесом.

При нарезании зубьев полуобкатных передач шестерня и колесо не имеют общего производящего колеса. Для нарезания зубьев шестерни, имеющей значительно большую кривизну профиля зубьев, чем шестерня обкатной передачи, плоское производящее колесо заменяется конусным. Конусное производящее колесо, как и плоское, образуется зуборезным станком и зуборезной головкой. Его форма теоретически точно соответствует форме сопряженного колеса, имеющего реечный профиль зубьев. Шестерне 3 (рис. 12.1, б) сообщают движение обкатки с сопряженным колесом 1. Резцы зуборезной головки 2 при нарезании зубьев шестерни воспроизводят зубья не плоского производящего колеса, а сопряженного колеса 1.

Рис. 12.1. Схемы нарезания зубьев обкатных (а) и полуобкатных (б) передач

12.2. Технологические способы нарезания зубьев

Способ нарезания гипоидных и конических передач с криволинейными зубьями выбирают в зависимости от типа производства, конструкции зубчатых колес, требуемого качества, имеющегося оборудования, режущего инструмента и других факторов. Наиболее часто применяют следующие технологические способы чистового нарезания зубьев.

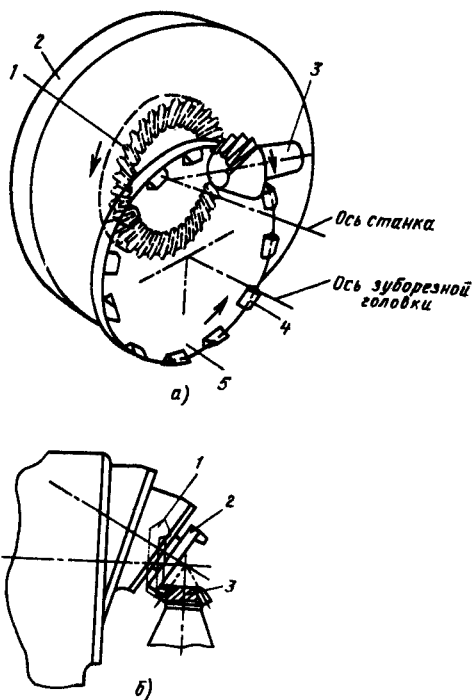
Двусторонний способ. Обе стороны впадины зубьев колеса 1, выпуклую и вогнутую, нарезают одновременно двусторонней зуборезной головкой (рис. 12.2, а). Ширина дна впадины зубьев постоянная, она определяется шириной развода наружных 3 и внутренних 2 резцов. Двусторонний способ универсален, его широко применяют для нарезания зубьев колеса методами обкатки, врезания или копирования в массовом и серийном производстве для достижения 6—8-й степени точности обработки зубьев (ГОСТ 1758—81).

Односторонний (поворотный) способ. Он имеет несколько разновидностей. Каждую сторону зубьев колеса (рис. 12.2, б) нарезают в отдельности двусторонней зуборезной головкой, развод наружных 3 и внутренних 2 резцов которой меньше ширины дна впадины зуба. После обработки одной стороны зуба разъединяют кинематическую цепь станка и поворачивают заготовку на угол λ вокруг ее оси для нарезания противоположной стороны зуба. Для каждой стороны зуба необходима отдельная наладка станка. Производительность этого способа невысокая, достигается 8—9-я степень точности обработки зубьев. Способ применяется для нарезания зубьев шестерни и колеса с большой шириной зубчатого венца методом обкатки в мелкосерийном производстве. В этом случае развод резцов двусторонней головки выполняют на 0,25 мм меньше ширины дна впадины, а после нарезания одной стороны зубьев необходимо произвести только поворот заготовки, не изменяя других наладок станка.

Односторонний способ применяют также для нарезания зубьев шестерни за две операции. Причем на первой операции двусторонней зуборезной головкой по целому металлу одновременно с прорезкой впадины производят окончательное нарезание одной стороны зубьев — выпуклой или вогнутой. Другую сторону зуба, чаще всего рабочую, нарезают односторонней головкой с изменением наладочных установок станка.

Когда односторонний (поворотный) способ применяют для нарезания зубьев шестерни и колеса, его называют двойным односторонним.

Способ постоянных установок. Обе стороны зубьев шестерни 1 (рис. 12.2, в) нарезают методом обкатки в отдельности односторонними зуборезными головка-



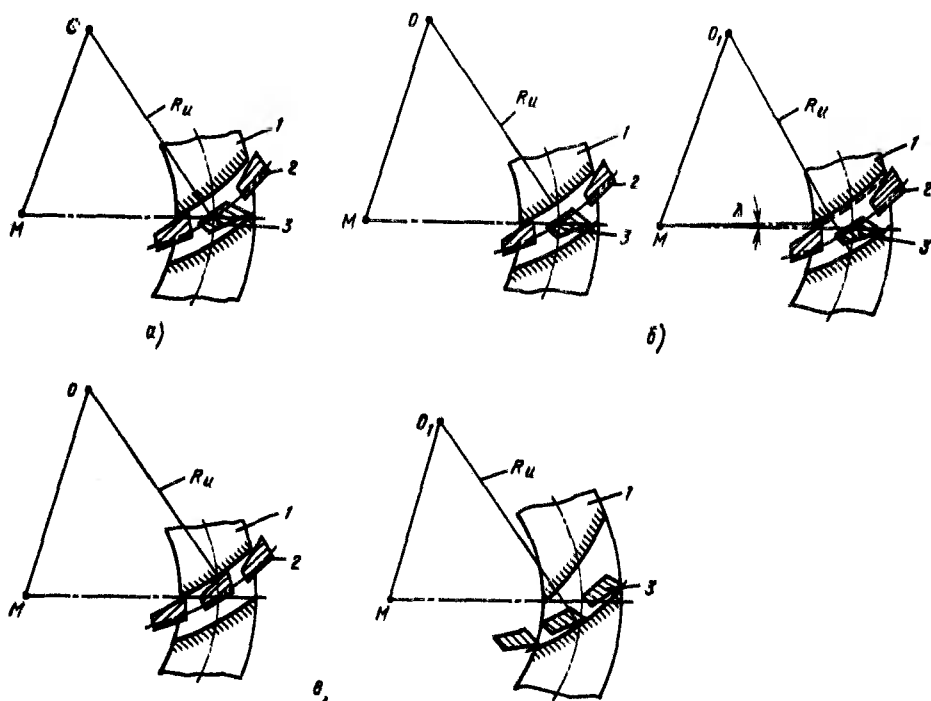


Рис. 12.2. Технологические способы нарезания зубьев:

а — двусторонний; б — односторонний (поворотный); в — постоянных установок; М — центр станка; О и О₁ — центры зуборезной головки; R_и — радиус расположения резцов

ми: вогнутую сторону — головками с наружными 3, а выпуклую — головками с внутренними 2 резцами. Нарезание зубьев производят по предварительно нарезанным впадинам. Для каждой стороны требуются различные наладочные установки станка. Ширину впадины зуба контролируют с помощью приспособления для разделения припуска. Этот способ применяют в основном для нарезания зубьев шестерни, когда необходимо обеспечить высокое качество (6—8-я степень точности). В первую очередь целесообразно нарезать нерабочую сторону зуба (выпуклую у шестерен с левым наклоном линии зуба), так как при нарезании зубьев рабочей стороны (вогнутой) у резцов увеличивается ширина вершины на величину снятого припуска, повышается стойкость резцов и качество обработки зубьев. Кроме того, если при контроле выявляется неудовлетворительное расположение пятна контакта на рабочей стороне зуба, то его легко исправить повторным нарезанием с установкой шестерни по нерабочей стороне зуба.

В массовом производстве для обработки каждой стороны зуба применяют отдельный станок и отдельную зуборезную головку, в серийном производстве нарезание зубьев производят на одном станке с переналадкой.

Двойной двусторонний способ. Обе стороны зубьев колеса и шестерни обрабатывают одновременно за одну операцию из целой заготовки. Ширина дна впадины зубьев шестерни и колеса постоянна по длине зуба. Необходимы только две зуборезные головки: одна для нарезания зубьев шестерни, другая — для нарезания зубьев колеса. Заготовка и зубья имеют специальную конструкцию, рас-

Рис. 12.3. Схема достижения равномерной ширины дна впадины зубьев:

a — изменение стандартных пропорций зубьев; *b* — поворот линии конуса впадины

считанную на применение этого способа. Это высокопроизводительный способ ранее широко применялся для нарезания обкаткой мелко модульных конических и гипоидных передач с модулем до 2,5 мм.

В последнее время Саратовское производственное объединение (СПО) и фирма «Глисон» значительно усовершенствовали двойной двусторонний способ. Разработана новая методика расчета для проектирования зубчатого зацепления и определения наладочных параметров станка, что позволило оптимизировать размер, форму и расположение пятна контакта.

Изменениями стандартных пропорций зубьев конических и гипоидных передач: конусности высоты зуба 1, конусности дна впадины 2, конусности впадины зуба 4 по делительной плоскости, конусности толщины зуба 3 — путем варьирования диаметра зуборезной головки и угла наклона линии зуба обеспечивают максимальную ширину дна впадины зуба, равномерную по всей ширине зубчатого венца (рис. 12.3, *a*). Эти изменения позволяют увеличить развод резцов и значительно повысить их стойкость при двойном двустороннем способе.

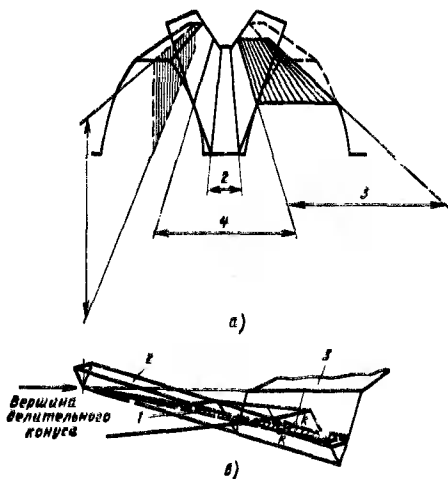
Равномерной по длине зуба ширины впадины как на шестерне, так и на колесе достигают поворотом линии конуса впадины зуба, сущность которого состоит в регулировании высоты ножек зуба на внешнем и внутреннем торцах.

На рис. 12.3, *b* показана пропорционально уменьшающаяся к вершине делительного конуса ширина дна впадины 1 при стандартных пропорциях зубьев и равномерная ширина дна впадины зубьев 2, полученная в результате поворота линии конуса впадин вокруг оси *kk* в середине зубчатого венца 3. Хотя линию конуса впадин можно поворачивать вокруг любой точки по длине зуба на образующей конуса впадин, обычно предпочитают поворот выполнять в середине зубчатого венца, так как в этом случае сохраняется толщина и рабочая высота зуба в середине венца и предотвращаются подрезание ножки зуба на внутреннем торце и заострение головки зуба на внешнем. При этом сумма углов ($^{\circ}$) ножек шестерни θ_{f1} и колеса θ_{f2} выражается следующей формулой:

$$(\theta_{f1} + \theta_{f2}) = \frac{90}{z/dR_e \operatorname{tg} \alpha \cos \beta_m} \left(1 - \frac{R_m \sin \alpha_m}{r_u} \right),$$

где r_u — номинальный радиус зуборезной головки.

Следует отметить, что расчет пропорций зубьев при нарезании двойным двусторонним способом изменяется по сравнению со стандартным расчетом, а расчет прочности зуба остается без изменения, потому что он ведется по сечению зуба в середине зубчатого венца, высота и толщина которого неизменны. Для реализации этого способа СПО и фирма «Глисон» (США) создали новые зуборезные станки 5С26В, 527В, СТ-113 и 641, 645, 650 и 655, которые для устранения диагонального расположения пятна контакта снабжены механизмом винтового движения. Под винтовым движением понимают перемещение обрабатываемой заготовки



вдоль своей оси, согласованное с качанием люльки. Винтовое движение совместно с наклоном фрезы обеспечивает необходимое изменение угла профиля по длине зуба. Обычно винтовое движение используют только при чистовом нарезании зубьев шестерни.

Обкатные конические и гипоидные передачи, а также шестерни полуобкатных передач с модулем менее 4 мм обычно нарезают двойным двусторонним способом за один цикл обкатки. Одинарный цикл обкатки характеризуется тем, что направление вращения зуборезной головки соответствует направлению линии зуба обрабатываемой шестерни или колеса. Качание люльки производится снизу вверх при нарезании зубьев шестерни или колеса с правым направлением линии зуба и сверху вниз при обработке шестерни или колеса с левым направлением линии зуба.

Для обкатных конических и гипоидных передач с модулем более 4 мм применяют двойной цикл обкатки. При этом первую часть обработки — черновое прорезание впадин у обкатных шестерен и колес с углом делительного конуса более 25° — выполняют комбинированным методом, включающим врезание при установке зуборезной головки ниже точки начала обкатки и последующую обкатку. Если угол делительного конуса менее 25° , то черновая обработка зубьев производится только обкаткой. Обкаткой производится также черновая часть цикла при нарезании зубьев шестерен полуобкатных передач.

Вторая часть обработки — чистовое профилирование зубьев — осуществляется методом обкатки. При этом направление вращения зуборезной головки выбирают таким, чтобы осуществлялось попутное резание. Чтобы наиболее полно ис-

12.1. Циклы зубонарезания при обработке двойным двусторонним способом

Цикл	Направление резания зуба	Зубонарезание	Направление потока стружки	Расположение заусенца	Направление силы резания	Качание люльки при нарезании зубьев с направлением		Направление вращения головки при нарезании зубьев с направлением*1	
						левым	правым	левым	правым
Одинарный обкатки	К внутреннему торцу зуба	Попутное	К внешнему торцу зуба	У внешнего торца зуба	К торцу зажимного приспособления	Сверху вниз	Снизу вверх	Левое	Правое
Двойной обкатки шестерен и колес обкатных передач	К внешнему торцу зуба*2	Попутное*2	К внутреннему торцу зуба*2	У внутреннего торца зуба	К торцу зажимного приспособления*3	Снизу вверх*2	Сверху вниз*2	Правое	Левое
Двойной обкатки шестерен полуобкатных передач	К внутреннему торцу зуба*2	Попутное*2	К внешнему торцу зуба*2	У внешнего торца зуба	К торцу зажимного приспособления*3	Сверху вниз*2	Снизу вверх*2	Левое	Правое

*1 Зуборезная головка правого направления при вращении по часовой стрелке, если смотреть на нее со стороны опорного торца, и левого направления при вращении против часовой стрелки.

*2 Параметры для чистовой части цикла.

*3 Параметры для черновой части цикла.

пользовать врезную часть цикла при нарезании шестерен и колес обкатных передач, обработку начинают с внешнего торца зуба (см. рис. 12.7, в). При нарезании зубьев шестерен полуобкатных передач черновую часть цикла производят обкаткой от внутреннего конца зуба к внешнему, а чистовую — от внешнего к внутреннему (рис. 12.7, г). Основные параметры зубонарезания при обработке двойным двусторонним способом с одинарным и двойным циклом обработки приведены в табл. 12.1.

Несмотря на то, что при двойном двустороннем способе не обеспечивается такого высокого качества пятна контакта, как при способе постоянных установок, высокая производительность, стабильность размеров впадины и плавность радиуса закругления в месте сопряжения ножки зуба с дном впадины явились причиной его широкого распространения не только в среднесерийном, но также в крупносерийном и массовом производстве. Ограниченное количество потребного зуборезного оборудования и режущего инструмента (для обработки сопряженной пары необходимо иметь только два зуборезных станка и две зуборезные головки) создает предпосылки для широкого применения двойного двустороннего способа обработки в гибких технологических процессах. При обработке этим способом может быть достигнута 7—8-я степень точности.

12.3. Черновое нарезание зубьев методами врезания и обкатки

Черновое нарезание зубьев конических и гипоидных передач производят двумя методами — врезания и обкатки.

При нарезании зубьев методом врезания обрабатываемое колесо 2 (рис. 12.4, а) неподвижно, а зуборезная головка 1 вращается и, перемещаясь вдоль своей оси, прорезает впадину зубьев. В некоторых конструкциях зуборезных станков перемещается бабка заготовки, осуществляя движение подачи врезания. Двусторонними или трехсторонними зуборезными головками одновременно обрабатывают обе стороны зуба. Резцы головки копируют свой профиль во впадине зуба. После достижения требуемой глубины впадины зуба зуборезная головка отводится, а заготовка поворачивается для обработки следующего зуба. Период стойкости трехсторонней головки выше на 50—75 %, чем двусторонней. Метод врезания применяют для черновой обработки зубьев колес с углом делительного конуса более 68°. Направление вращения зуборезной головки совпадает с направлением линии зуба колеса. Резание производится от внутреннего конца зуба к внешнему. Силы резания прижимают заготовку к торцу зажимного приспособления.

В крупносерийном и массовом производстве для черновой обработки зубьев методом врезания применяют специальные высокопроизводительные станки: 5С262Е, 5281 производства СССР; 601, 666, 606, 608 фирмы «Глисон» (США); ZFKK 500×10 фирмы «Модуль» (ГДР). Эти станки имеют высокую жесткость и короткую кинематическую цепь, черновая обработка на них производится в 2—3 раза быстрее, чем на универсальных станках. В зависимости от глубины резания и нагрузки на резцы на станках можно автоматически по заранее выбранному закону изменять подачу врезания.

Чтобы избежать касания вершинами чистовых резцов дна впадины зубьев, черновую обработку методом врезания и обкатки производят на глубину, большую теоретической высоты зуба на величину, указанную ниже:

Внешний окружной модуль, мм	Менее 2,5	2,5—10	Более 10
Увеличение высоты зуба, мм	0,10	0,15	0,25

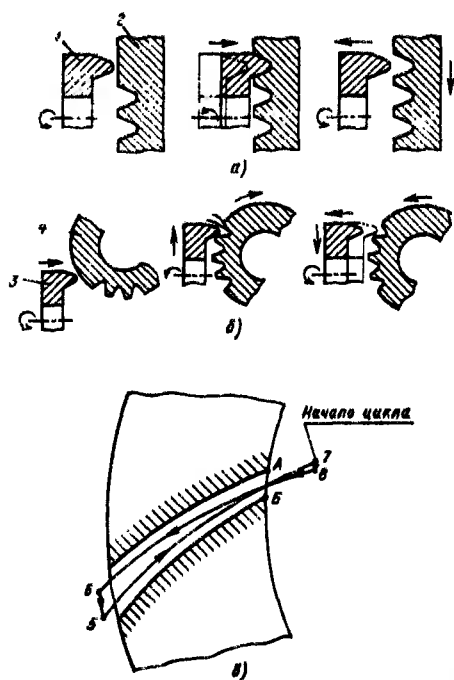


Рис. 12.4. Схемы нарезания зубьев:

а — методом резания; б — методом обкатки; в — с использованием механизма двойной обкатки

У высоконагруженных конических и гипоидных передач для предотвращения концентрации напряжений дно впадины зубьев целесообразно обрабатывать резцами чистовой головки. В этом случае черновое зубонарезание производят на меньшую глубину, чем чистовое.

Метод обкатки применяют для черного нарезания зубьев шестерен и колес с углом делительного конуса менее 68° . Нарезание зубьев производят двусторонними зуборезными головками 3 (рис. 12.4, б), закрепленными на люльке станка. При совместном обкатывании заготовки 4 и люльки с зуборезной головкой 3 ее резцы, занимая последовательные положения, формируют октоидный профиль зубьев и их продольную кривизну в форме дуги окружности. Нарезание зубьев выполняют обычно при качании люльки в одном направлении вверх или вниз. Для устр

нения зазоров в кинематической разности производят снизу вверх. В конце цикла резания зуборезная головка отводится от заготовки, срабатывает реверсивный механизм, изменяющий направление вращения люльки, и включается делительный механизм, который поворачивает заготовку колеса на один зуб. Зуборезная головка совместно с люлькой ускоренно перемещается в исходное положение. Ширина дна впадины зубьев постоянна по всей длине, благодаря чему припуск под чистовое нарезание зубьев шестерни неравномерен по длине: у внешнего торца он больше, чем у внутреннего.

Новые конструкции зуборезных стайков 5С273 производства СССР, 440(106), 116, 641, 645, 675 фирмы «Глисон», ZFT K K 500/2V фирмы «Модуль» имеют механизм двойной обкатки, который позволяет производить черновую обработку зубьев шестерни за один установ при качании люльки в двух направлениях вверх и вниз. На рис. 12.4, в показана впадина зубьев шестерни с левым наклоном линии зуба и нормальной формой сужения. При обкатке снизу вверх благодаря замедлению угловой скорости шестерни при постоянной угловой скорости люльки производится резание по целому металлу от точки 8 к точке 6 с получением угла наклона линии зуба меньше среднего расчетного. В конце обкатки производится реверсирование люльки и сообщается дополнительный поворот шестерни, после которого инструмент будет находиться в точке 7. При качании люльки сверху вниз осуществляют резание из точки 5 в точку 7. Ускоренное вращение шестерни в этот период обеспечивает угол наклона линии зуба больше среднего значения. Ширина развода вершин резцов в головке должна быть меньше ширины впадины зуба АБ у внутреннего торца. С помощью двойной обкатки получают равномерный по длине зуба припуск под чистовое зубонарезание с отклонением не более 0,15 мм, обеспечивая тем самым более высокую стойкость чистовых резцов и качество об-

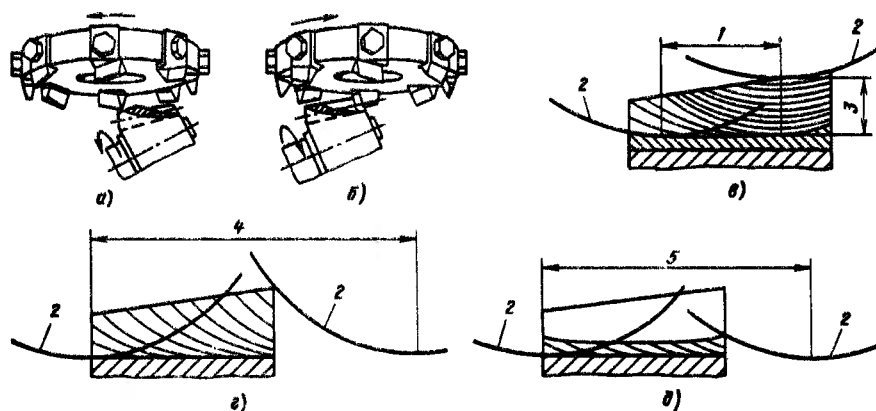


Рис. 12.5. Схемы нарезания зубьев:

а — попутного нарезания; *б* — встречного зубонарезания; *в* — врезания и ускоренной обкатки; *г* — обкатки; *д* — двойной обкатки

работки зубьев. Время цикла обработки с двойной обкаткой несколько меньше времени обычного цикла с ускоренным возвратом люльки на холостом ходу.

Черновое нарезание зубьев шестерни методом обкатки можно производить зуборезными головками правого и левого вращения. Более высокая стойкость зуборезной головки и качество поверхности зубьев достигается при попутном зубонарезании (рис. 12.5, *а*), при котором толщина стружки в начале резания максимальная, а в конце — минимальная. Режущие кромки свободно врезаются в металл, и создаются благоприятные условия для резания. При встречном зубонарезании толщина стружки в начале резания минимальная, а в конце — максимальная (рис. 12.5, *б*). В начале резания режущие кромки, особенно если они затуплены, не сразу вступают в резание, а скользят по поверхности, уплотняют ее и подвергаются интенсивному изнашиванию. Встречное зубонарезание иногда применяют для изготовления зубчатых колес из вязких сталей. Благодаря сглаживающему действию резцов параметр шероховатости поверхности зубьев уменьшается.

Для оптимизации нагрузки на резцы и повышения производительности черновое нарезание можно производить с переменным движением подачи обкатки, ускоряя его в начале и конце резания, где толщина стружки и мощность резания имеют минимальное значение. Движение подачи осуществляют так, чтобы количество металла, снимаемого в начале, середине и конце резания, не изменилось. Этот метод особенно эффективен при черновом нарезании зубьев шестерен гиподных передач, имеющих большую ширину зубчатого венца. При черновом нарезании с переменной скоростью обкатки производительность станка увеличивается на 20—40 %.

Черновое нарезание зубьев обкатных шестерен и колес при передаточном числе пары менее 3:1 целесообразно осуществлять врезанием с последующей обкаткой. Врезанием, которое производят при установке зуборезной головки ниже точки начала обкатки, из впадины зубьев удаляют наибольшую часть металла. Последующая обкатка служит для профилирования боковых поверхностей зубьев и выравнивания припуска под чистовое нарезание. Обработку зубьев выполняют на зуборезных станках, работающих по методу обкатки, и конструкция копира

подачи которых изменена. Производительность станка при черновой обработке повышается на 20—30 %.

С целью повышения производительности черновой обработки зубьев фирма «Глисон» разработала специализированные станки 613 для чернового нарезания шестерен конических и гипоидных передач с числом зубьев 6—25 и высотой зуба до 19 мм. На этих станках, имеющих жесткую конструкцию станины и укороченную на 50% кинематическую цепь по сравнению с обычными станками, черновое нарезание зубьев производят за две операции.

На первой операции трехсторонней зуборезной головкой производят врезание на часть высоты зуба 3 (рис. 12.5, в) и последующую обкатку в направлении от внешнего к внутреннему торцу зуба. При этом из впадин зубьев удаляют до 60% металла. Путь обкатки 1 при таком методе обработки значительно меньше, чем путь 4 (рис. 12.5, г) при обычной обкатке. Так как на выпуклой и вогнутой сторонах зубьев шестерен образуется различный припуск, то на второй операции чернового нарезания, которая выполняется на другом станке, с помощью двойной обкатки двусторонней зуборезной головкой формируется впадина зубьев необходимой глубины и выравнивается припуск под чистовое зубонарезание на обеих сторонах зубьев до 0,15—0,20 мм (рис. 12.5, д). Путь обкатки 5 на второй операции несколько больше, чем на первой операции.

При применении чернового зубонарезания за две операции производительность обработки увеличивается в 2 раза. Зуборезные станки 613, как и станки 614 для чистового нарезания зубьев, имеют вертикальное расположение шпинделя бабки заготовки. Эта компоновка удобна для автоматизации. Парно объединенные транспортом с манипуляторами, эти станки образуют высокопроизводительную автоматическую линию 950, на которой нарезание зубьев шестерен обкатных и полуобкатных передач производят за четыре операции (две черновые и две чистовые).

Эффективным средством повышения стойкости зуборезного инструмента и производительности станка при черновом нарезании конических и гипоидных передач является увеличение номинального диаметра зуборезной головки на одну ступень по сравнению с общепринятыми рекомендациями. Согласно этим рекомендациям, номинальный диаметр зуборезной головки для чернового и чистового нарезания зубьев шестерни и колеса принимают одинаковым и определяют в зависимости от конусного расстояния, ширины зубчатого венца и других параметров. Как показал опыт, в ряде случаев при черновом нарезании зубьев номинальный диаметр целесообразно выбирать в зависимости от степени сужения зуба (отношение нормальной ширины вершины зуба на внешнем торце к нормальной ширине на внутреннем торце). Расчетная степень сужения не должна превышать 1,35—1,4. Увеличение номинального диаметра на одну ступень позволяет повысить на 25—35 % производительность станка и в 1,7—2,5 раза стойкость зуборезных головок.

12.4. Чистовое нарезание зубьев методами копирования, обкатки и врезания

Методом копирования производят обработку зубьев колес полуобкатных передач в крупносерийном и массовом производстве. Заготовка 2 (рис. 12.6, а, б) во время обработки неподвижна, а зуборезная головка-протяжка 1, вращаясь вокруг своей оси, благодаря последовательному изменению радиального расположения резцов за один оборот обрабатывает впадину зубьев заготовки 2. Радиус режущих кромок наружных 3 резцов равномерно возрастает, а внутренних 4

Рис. 12.6. Нарезание зубьев колес полуобкатных передач методом копирования

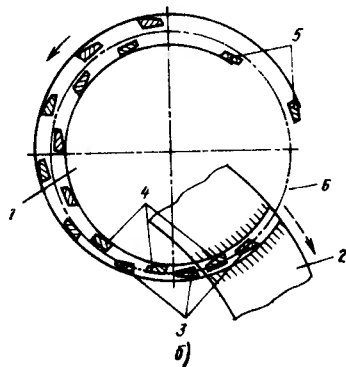
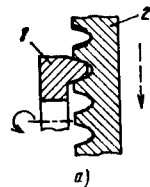
резцов — уменьшается. Первые режущие резцы располагают с небольшим угловым шагом, а последние калибрующие резцы 5 удалены друг от друга на расстояние, обеспечивающее их раздельное участие в резании. Деление колеса на один зуб производят во время прохождения во впадине зубьев безрезцового участка 6 головки.

Обработку зубьев методом копирования производят на специализированных зубопротяжных станках 5С272Е, 5281Б, 5С261МП производства СССР, 609, 610 фирмы «Глисон», ZRKK 500×10 фирмы «Модуль», имеющих повышенную жесткость и короткую кинематическую цепь. Производительность зубопротяжных станков в 3—5 раз выше производительности станков, работающих методом обкатки. Точность обработки методом копирования выше на 10—20%, чем методом обкатки. Стойкость режущего инструмента соответственно также выше в 2—3 раза.

Полуобкатные конические и гипоидные передачи, чистовое нарезание зубьев которых производят описанным методом копирования, называют полуобкатными передачами Формейт. Эти передачи применяют главным образом в грузовых автомобилях и тракторах. Так как в полуобкатных передачах Формейт оси зуборезных головок, используемых для нарезания зубьев шестерни и колеса, непараллельны друг другу, то пятно контакта имеет склонность приобретать диагональную форму, которая в значительной степени ухудшает эксплуатационные свойства передач. Исправление диагональной формы пятна контакта с помощью наладочных установок станка и инструмента сложно и трудоемко, не всегда удается получить требуемое качество пятна контакта.

Для обеспечения параллельного расположения осей зуборезных головок колеса и шестерни при нарезании зубьев колеса зуборезная головка получает дополнительное осевое перемещение совместно с инструментальным шпинделем от кулачка. При прохождении каждого резца во впадине зубьев колеса зуборезная головка-протяжка перемещается в осевом направлении и быстро возвращается в исходное положение до входа во впадину следующего резца. В результате комбинации вращательного и возвратно-поступательного движений головки резцы перемещаются по касательной к плоскости впадин зубьев колеса. Зуборезная головка-протяжка имеет восемь резцов. Полуобкатные передачи, зубья колеса которых обрабатывают на специальных станках с возвратно-поступательным движением инструментального шпинделя, называют передачами Геликсформ. Эти передачи применяют для изготовления гипоидных передач легковых автомобилей и легких грузовиков. Основное преимущество полуобкатных передач Геликсформ состоит в том, что пятно контакта не склонно к образованию диагональной формы, оно имеет прямоугольную форму, более устойчиво к смещениям базовых расстояний под нагрузкой, неточностям изготовления и сборки.

Припуски по толщине зуба под чистовое нарезание методом копирования ведомых колес полуобкатных гипоидных и конических передач следующие:



Внешний окружной модуль, мм	До 5	5—10	10—13
Припуск, мм	0,2—0,25	0,3—0,4	0,5—0,7

Чистовое нарезание зубьев методом обкатки производят на универсальных зуборезных станках двусторонними и односторонними зуборезными головками. Двусторонними головками нарезают обычно зубья колеса — одновременно обе стороны, а односторонними обрабатывают зубья шестерни — отдельно каждую сторону. Цикл обработки зубьев методом обкатки показан на рис. 12.4, б.

В массовом и крупносерийном производстве чистовое нарезание зубьев конических колес с шириной зубчатого венца $b \geq 38$ мм целесообразно производить зуборезными головками с уменьшенным числом резцов, спроектированными так, что в резании всегда участвует только один резец — внутренний или наружный. При этом число резцов в головке $K \leq \pi d_{\text{ном}} \cos \beta_m / b$, где $d_{\text{ном}}$ — номинальный диаметр зуборезной головки; β_m — средний угол наклона линии зуба.

Головки, у которых в резании участвует только один резец, обеспечивают высокую точность обработки и низкий параметр шероховатости боковых поверхностей зубьев, хотя их стойкость уменьшается на 10—15 % по сравнению со стойкостью головок с увеличенным числом резцов. При нарезании зубьев шестерен можно использовать односторонние зуборезные головки правого и левого вращения. При попутном нарезании зубьев стойкость режущего инструмента повышается по сравнению со стойкостью при встречном нарезании.

Универсальные зуборезные станки выполняют двух вариантов — с ненаклоняемым и наклоняемым инструментальным шпинделем. Станки 5П23А, 5С26В, 5С26З, 527В, 5С27З, 5А27С4П производства СССР, 440 (106), 116, 613, 614, 641, 645 фирмы «Глисон» и ZFTKK 250/1, ZFTKK 500/2 фирмы «Модуль» имеют наклоняемый инструментальный шпиндель. Они обладают большими технологическими возможностями и позволяют использовать ограниченную номенклатуру режущего инструмента. Если угол наклона инструментального шпинделя станка превышает 15° , то его можно использовать для нарезания шестерен полуобкатных передач без применения механизма модификации обкатки. Конструкция узла шпинделя инструмента станков фирмы «Глисон» обеспечивает наклон зуборезной головки на угол до 30° . Центр зуборезной головки, расположенный в плоскости вершин резцов, при наклоне всегда остается в плоскости центра станка. Это позволяет упростить расчет наладочных данных станка и уменьшить объем подналадок при корректировании формы и расположения пятна контакта.

Зуборезные станки 5С280П, 527В, 5С27П, 5М27В производства СССР и 116, 641, 645, 650, 655 фирмы «Глисон» снабжают механизмом модифицированной обкатки, с помощью которого изменяют скорость обкатки люльки при постоянной частоте вращения заготовки. Замедляя обкатывание люльки в начале резания и ускоряя его в конце или наоборот, добиваются увеличения снятия припуска на одном конце зуба и уменьшения на другом. Модифицированный обкат применяют для исправления диагонального расположения пятна контакта при нарезании зубьев шестерни односторонними резцовыми головками.

Под чистовое зубонарезание обкатных гипоидных и конических передач с круговыми зубьями оставляют следующие припуски по толщине зуба:

Внешний окружной модуль, мм	2—3	3—5	5—7	7—10	10—12	12—16
Припуск, мм	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4

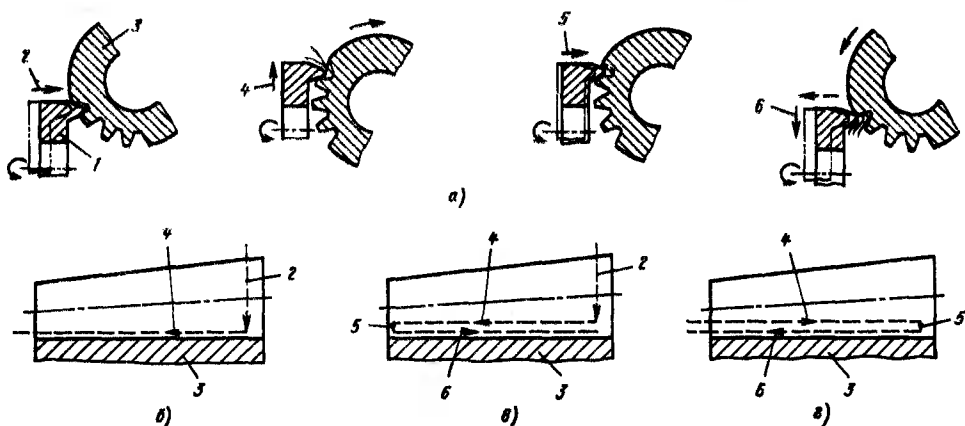


Рис. 12.7. Комбинированный метод нарезания зубьев:

а — схема нарезания; б — схема врезания и обкатки; в — схема врезания и двойной обкатки; г — схема двойной обкатки

В единичном и мелкосерийном производстве чистовое нарезание ведомых колес полуобкатных передач Формейт можно производить методом врезания на универсальных зуборезных станках 641, 645, 650, 655 фирмы «Глисон» (США). Направление вращения зуборезной головки соответствует направлению линии зуба. Резание производят от внутреннего конца зуба к внешнему, сила резания прижимает обрабатываемое колесо к торцу зажимного приспособления. Первоначально врезание осуществляют с небольшой скоростью резания и большой подачей. Когда глубина впадины достигает примерно 90 % высоты зуба, скорость движения подачи врезания уменьшают, а скорость резания повышают до скорости чистового резания. В течение всего цикла нарезания люлька станка, заготовка и зажимное приспособление жестко закреплены. После окончания обработки одной впадины зуба зажим освобождается и заготовка поворачивается на один шаг для нарезания следующей впадины.

Специализированные зуборезные станки 5С272В и 601, 666 фирмы «Глисон» (США) позволяют производить чистовую обработку зубьев методом врезания в целой заготовке в условиях массового и крупносерийного производства. На станках 666 за один установ заготовки предусмотрен двойной цикл обработки, при котором острозаточенными резцовыми головками за первый оборот колеса производят черновое зубонарезание, а за второй оборот — чистовое с соответствующим изменением режимов резания.

12.5. Комбинированный метод нарезания зубьев

Этот метод применяют для обработки зубьев шестерен и колес обкатных передач, а также шестерен полуобкатных передач с модулем свыше 2,5 мм из целой заготовки за один установ (рис. 12.7, а). У заготовки 3 начинают нарезать зубья при расположении люльки с зуборезной головкой 1 ниже (или выше) центра качения. Вращающаяся зуборезная головка врезается в заготовку на внешнем торце, скорость подачи врезания 2 уменьшается с увеличением глубины резания. Методом врезания производят впадину зубьев почти на полную глубину.

При достижении врезанием 2 установленной глубины впадины зуба для обкатных зубчатых шестерен и колес с модулем менее 4 мм, а также шестерен и колес с большими модулями, имеющих невысокую точность (9—10-я степень точности), производится (рис. 12.7, а, б) чистовая обработка зубьев методом обкатки 4 при качании люльки вверх (или вниз). По такому циклу могут работать зуборезные станки 5С26В, 5С26З, 5С280П, 527В, 5С27П, 5С270П, 5С27З, 641, 645, 650, 655 фирмы «Глисон» (США), мод. ZFTKK 250/1, ZFTKK 500/2 фирмы «Модуль» (ГДР).

Для изготовления зубчатых колес высокого качества (7—8-я степень точности) нарезание зубьев комбинированным методом производят с двойным циклом обкатки. После врезания 2 (рис. 12.7, а, б) зуборезной головки в заготовку производят черновую обкатку 4 зубьев при качании люльки вверх (или вниз). В крайнем верхнем (или нижнем) положении осуществляют врезание 5 на небольшую глубину, скорость подачи обкатки и скорость резания изменяют до значений, соответствующих чистовому нарезанию. При качании люльки вниз (или вверх) выполняют чистовую обработку 6 обеих сторон зубьев. При нарезании зубьев шестерен полуобкатных передач, а также шестерен с углом делительного конуса менее 25° двойной цикл обкатки целесообразно осуществлять без врезания. При этом черновую обкатку 4 производят от внутреннего к внешнему торцу, а чистовую 6 — от внешнего к внутреннему (рис. 12.7, з).

Комбинированным методом с двойным циклом обкатки можно обрабатывать зубчатые колеса и зуборезными станками 5С26В, 527В, 5С270П, 5С280П производства СССР, 641, 645, 650, 655 фирмы «Глисон» и ZFTKK 500/2 фирмы «Модуль».

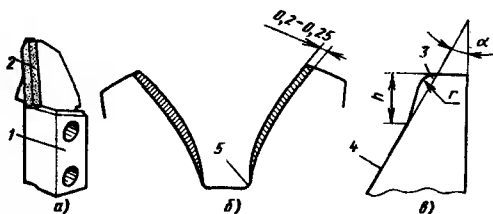
12.6. Нарезание зубьев твердосплавными зуборезными головками

В последнее время все более возрастают требования к точности изготовления зубьев закаленных конических и гипоидных передач. Шлифование профиля зуба в течение многих лет удовлетворяло этим требованиям и широко использовалось в авиационной и станкостроительной, где требовались высокая точность и взаимозаменяемость зубчатых колес. Однако шлифование профилей зубьев конических и гипоидных передач — дорогостоящий процесс, требующий специализированного высокоточного оборудования, которым располагают лишь отдельные изготовители зубчатых колес. Для обеспечения изготовления зубчатых колес с высокой точностью (6-я степень точности) разработан способ зубонарезания закаленных конических и гипоидных передач. Нарезание закаленных до твердости HRC_{58—62} круговых зубьев твердосплавными зуборезными головками является процессом окончательной отделки поверхностей зубьев. Для нарезания используют стандартные станки 5М27З, 5С 280П производства СССР и 641, 642, 645, 650, 655 и 675 фирмы «Глисон». Так как нагрузки при нарезании закаленных колес более низкие, чем при черновой обработке незакаленных колес, то применяют обычные зажимные приспособления.

Для конических и гипоидных передач с внешним диаметром колеса до 762 мм в качестве режущего инструмента применяют стандартные двусторонние и односторонние зуборезные головки, к резцам которых припаивают твердосплавные пластины. Передачи с внешним диаметром колеса свыше 965 до 2540 мм нарезают резцами с твердосплавными пластинами, установленными в универсальных зуборезных головках (рис. 12.8, а). Эти зуборезные головки изготовляют с номинальным диаметром 640, 800 и 1000 мм. Зуборезные головки с диаметром 640 мм квадратные и имеют 8 резцов, а головки с диаметром 800 мм и 1000 мм шестигранные

Рис. 12.8. Нарезание зубьев закаленных конических и гипоидных передач твердосплавными зуборезными головками:

а — резец универсальной головки; *б* — схема расположения припуска; *в* — геометрические параметры реза для чернового нарезания зубьев



и имеют по 12 резцов. С помощью клиньев и резцов можно регулировать угол профиля реза в диапазоне $\pm 3^\circ$.

Твердосплавные пластины 2 резцов 1 затачивают алмазным шлифовальным кругом с отрицательным передним углом до 30° . Отрицательные передние углы обеспечивают продолжительный срок службы резцов и высокое качество обработанной поверхности ($Ra = 0,25 \dots 0,5$ мкм). Затачивают резцы по передней поверхности на специальных заточных или плоскошлифовальных станках с использованием зажимных приспособлений, обеспечивающих точную установку передних поверхностей комплекта резцов относительно шлифовального круга. Резцы затачивают, если их износ по задней поверхности составляет 0,25—0,30 мм.

Припуск, снимаемый во время нарезания зубьев закаленных колес, обычно составляет 0,2—0,25 мм на сторону зуба (рис. 12.8, б). Как правило, твердосплавная зуборезная головка производит обработку только боковых поверхностей зубьев и не касается дна впадины зуба. В связи с этим при черновом нарезании в ножке зуба с помощью резцов с усиком выполняют подрезку 5. Чтобы избежать чрезмерной подрезки зуба, отрицательно влияющей на прочность зубьев, высоту h (рис. 12.8, в) и радиус закругления r усика 3 на режущей кромке 4 необходимо тщательно контролировать.

Нарезание зубьев выполняют при скорости резания порядка 36 м/мин обычно за два рабочих хода, во время каждого рабочего хода снимают припуск до 0,125 мм на сторону зуба. Наиболее благоприятной подачей на резец при обкатке является подача, в 1,5 раза меньшая подачи при обычной чистовой обработке.

Нарезание зубьев закаленных колес конических и гипоидных передач твердосплавными зуборезными головками исправляет погрешности шагов и биение зубчатого венца после термообработки, значительно снижает уровень шума. Обеспечивают стабильное качество зубчатых колес и взаимозаменяемость элементов передачи.

12.7. Снятие фасок с острых кромок зубьев

В процессе зубонарезания на торцах зубьев конических и гипоидных передач образуются острые кромки и заусенцы, которые ухудшают качество зацепления, вызывают повышенный уровень шума, снижают срок службы в результате скола острых кромок на зубьях. Поэтому при изготовлении высококачественных зубчатых передач снятие фасок и заусенцев с торцов зубьев является обязательным.

Снятие фасок с острых кромок зубьев заготовок шестерен и колес конических и гипоидных передач производят обычно перед чистовым зубонарезанием. Как правило, фаски снимают на внутреннем торце с выпуклой стороны зуба 1 (рис. 12.9, а) и на внешнем торце с вогнутой стороны 2 зуба как у шестерни, так и колеса. Известно несколько способов снятия фасок с острых кромок зубьев.

Снятие фасок с острых кромок на внешнем и внутреннем торцах зубьев заготовок ведомых колес в ряде случаев производят одновременно с черновым наре-

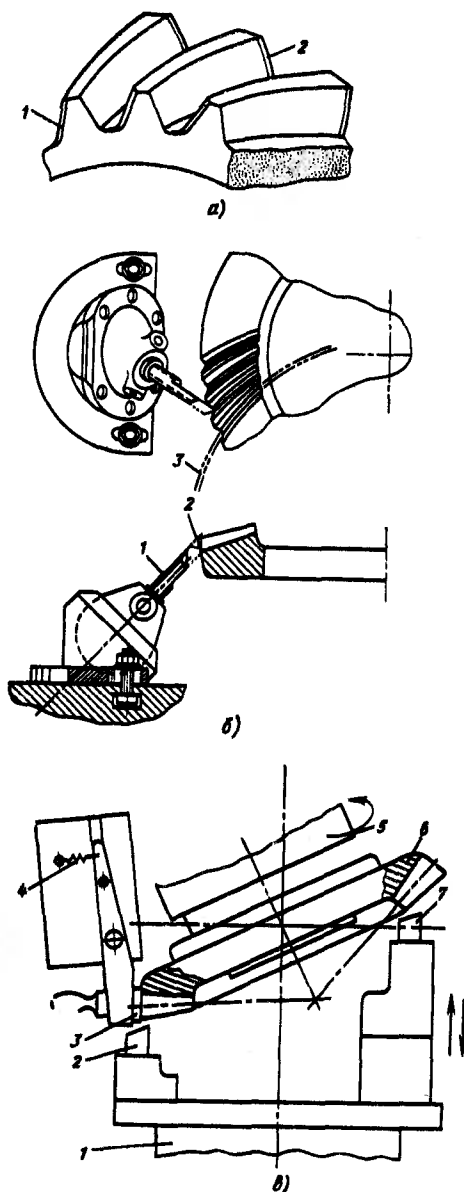


Рис. 12.9. Снятие фасок с острых кромок зубьев конических и гипоидных передач:

а — зубчатое колесо со снятыми фасками; *б, в* — снятие фасок соответственно на зуборезном и строгальном станке

занием зубьев на зуборезных станках. Так как при этом способе снятие фасок и нарезание зубьев выполняются за один установ заготовки, то обеспечивается равномерная фаска на всех зубьях колеса.

На рис. 12.9, *б* показана схема снятия фасок на зуборезном станке одновременно с нарезанием зубьев. Фасочный резец *1* периодически совершает возвратно-поступательное движение. Во время рабочего хода резец *1* снимает фаску *2* с вогнутой стороны зубьев на внешнем торце колеса. Для того чтобы фасочный резец не касался резцовой головки, он не должен пересекать траекторию движения *3* резцов головки.

Черновые зуборезные станки для нарезания зубьев шестерен могут поставляться со специальной приставкой с индивидуальным приводом для снятия фасок с острых кромок на внешнем и внутреннем торцах зубьев. После чернового нарезания зубьев шестерню устанавливают на приставку. Снятие фасок на приставке производят одновременно с нарезанием зубьев у другой шестерни.

Преимущественно снятие фасок выполняют на специальных станках на отдельной операции. Снятие фасок с острых кромок зубьев на внешнем и внутреннем торце шестерни или колеса можно производить на универсальном строгальном станке С-479. На этом станке зубчатое колесо *б* (рис. 12.9, *в*) устанавливают под углом к оси ползуна *1*. Резец *2* предназначен для снятия фасок на внешнем торце, а резец *7* — на внутреннем. Вращение шпинделя

заготовки *5* с колесом *б* согласовано с возвратно-поступательным движением ползуна *1*. Одному двойному ходу ползуна соответствует поворот заготовки колеса на один зуб. Резец *3*, поджимаемый пружиной *4* к внешнему торцу, служит для снятия заусенцев. Станок имеет высокую производительность и применяется в крупносерийном и массовом производстве.

Схема снятия фасок на внешнем и внутреннем торцах зубьев шестерни на зубофасочном станке Ст-1664 конструкции ЗИЛ приведена на рис. 12.10, *а*. Обработку производят двумя одновитковыми многозубыми фрезами методом непрерыв-

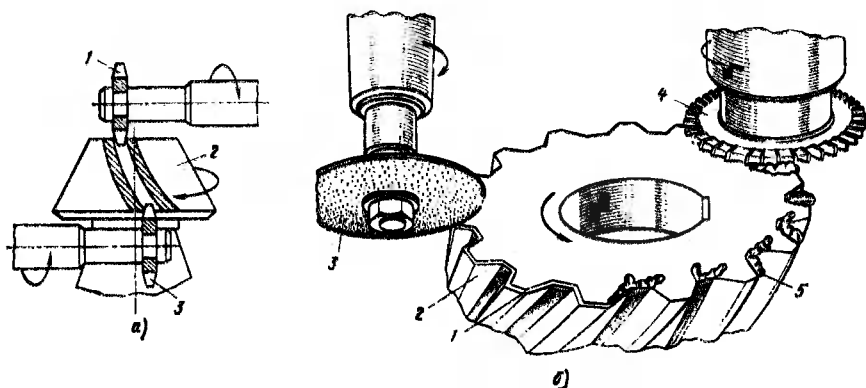


Рис. 12.10. Схемы снятия фасок с острых кромок зубьев:
 а — двумя одновитковыми фрезами; б — шлифовальным кругом и дисковой фрезой

ного деления, установив шестерню 2 по шейке с опорой в торец. Верхняя фреза 1 снимает фаски на внутреннем торце зуба шестерни 2, а нижняя фреза 3 — на внешнем торце. Верхняя и нижняя одновитковые фрезы имеют различные осевые шаги, углы рабочего профиля и направление винтовой линии зубьев. Благодаря измененному шагу каждый зуб одновитковой фрезы снимает стружку в определенной зоне профиля зуба шестерни. Весь припуск снимается за один оборот фрезы. Во время работы шестерня и фрезы согласованно вращаются, за один оборот фрезы шестерня поворачивается на один зуб. Фрезы, помимо вращения, перемещаются на шестерню для осуществления резания и отводятся назад для съема и установки шестерни. Аналогичным образом снимают фаски с острых кромок зубьев колеса на зубофасочном станке Ст-1665 конструкции ЗИЛ.

Снятие фасок с острых кромок незакаленных и закаленных конических и гипоидных зубчатых колес можно выполнять дисковым шлифовальным кругом малого диаметра на вулканитовой или пластмассовой основе. В процессе обработки заготовка зубчатого колеса непрерывно вращается, а шлифовальная головка с кругом поджимается к ней с определенной силой и перемещается по контуру зубьев. Фаски снимают по всему контуру зуба — с боковых сторон, дна впадины и вершины зуба. Размер фаски регулируют изменением частоты вращения заготовки колеса и силы прижима шлифовального круга. Этот метод прост и универсален, его целесообразно использовать в единичном и серийном производстве. По этому методу работают отечественные станки 5Б525 и 5527, имеющие вертикальную компоновку и отдельный привод заготовки и инструмента. Инструмент устанавливают на шпинделях с электрическим приводом, обеспечивающих при небольших затратах мощности высокую частоту вращения. Станки оборудованы системой отсоса пыли.

Если детали имеют несколько поверхностей, с которых необходимо снять фаски, то применяют несколько инструментов или станки с несколькими рабочими позициями. На рис. 12.10, б показана схема одновременного снятия фасок и удаления заусенцев. Фаски 1 снимают по всему контуру зуба заготовки конического колеса 2 шлифовальным кругом 3. Заусенцы 5, которые образуются на торцах зубьев в процессе зубонарезания, удаляют дисковой торцевой фрезой 4.

12.8. Станки для нарезания зубьев конических колес

В последнее время создана гамма зуборезных станков с наклоняемым инструментальным шпинделем, включающая две размерные цепочки: одна на базе станка 5С26В для колес диаметром до 320 мм, другая — на базе станка 527В для колес диаметром до 500 мм.

Зуборезный станок 5С26В (табл. 12.2) и его модификация 5С26П нормальной точности предназначены для чистового нарезания зубьев гипоидных и конических передач, в том числе ведущих шестерен полуобкатных передач и зубчатых колес с нулевым углом наклона линии зуба. В этом станке, как и в станке 527В, число передач кинематической цепи между люлькой и шпинделем бабки изделия составляет 9—10 вместо 16—18 в ранее выпускаемых станках 525, 528, 5А27СА, что увеличивает точность обработки благодаря исключению дифференциалов в цепи обкатки и введению привода с верхним расположением. В люльке и механизме шпинделя бабки изделия используются гипоидные передачи, обеспечивающие более высокие по сравнению с червячными передачами износостойкость и угловую скорость качания люльки. На базовом станке 5С26П и на станках 5С263 и 5С270П этой размерной цепочки можно выполнять обработку методом обкатки, врезания и комбинированным с периодическим делением заготовки. Станок может быть использован в мелкосерийном, крупносерийном и массовом производствах.

Зуборезные станки 5С263 и 5С270П выполнены на базе станка 5С26В. Станок 5С263 предназначен для чернового нарезания главным образом ведущих шестерен под последующую чистовую обработку на станке 5С26В. Неравномерность припуска под чистовое зубонарезание на обеих сторонах зуба составляет 0,2—0,3 мм. С помощью специального механизма управления обеспечиваются необходимые угол качания люльки и путь движения подачи на врезание. Этот механизм управляет изменением подачи при обкатке или врезании в начале и конце резания. Станок применяют в основном в массовом производстве.

Станок 5С270П предназначен для чистового и чернового нарезания зубьев гипоидных и конических колес в условиях единичного, серийного и массового производства. В отличие от инструментального шпинделя станков 5С26В и 5С263, который может наклоняться на угол до 30°, у инструментального шпинделя станка 5С270П наклон не предусмотрен.

Зуборезный станок 527В предназначен для чистового нарезания зубьев гипоидных и конических передач методом обкатки и применяется главным образом в массовом и крупносерийном производстве. В станках 527В и его модификациях 5С27П и 5М27В применен двухшаговый однозаходный червяк на бабке заготовки, позволяющий при устранении зазора в червячной паре сохранять постоянное межосевое расстояние. Червяк люльки — однозаходный, одношаговый вследствие наличия механизма модифицированной обкатки. Чтобы обеспечить высокую точность кинематических цепей станка, сменные шестерни деления и обкатки выполняют по 4-й степени точности (ГОСТ 1643—81). Компоновка станков 527В и 5С268 и их модификаций, при которой установка бабки заготовки производится непосредственно на столе станка без промежуточной плиты, повышает их жесткость.

Специализированный станок 5С273 входит в цепочку станков, выполненных на базе станка 527В. Он предназначен для чернового нарезания зубьев шестерни. В станках возможен наклон инструментального шпинделя на угол 0—30°, наличие механизма двойной обкатки позволяет производить обработку при качании люльки вверх и вниз.

12.2. Основные технические характеристики станков отечественного производства для нарезания гипоидных и конических колес с круговыми зубьями

Характеристика	Зуборезные станки							
	5П20А	5С26В	5С26З	5С270П	5А27С4, 5А27С4П	527В, 5С27П	5М27В	5С27З
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	125	320	320	500	500	500	500	500
Наибольший окружной модуль, мм	2,5	8	8	8	10	12	12	12
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	20	50	50	80	70	80	80	80
Диаметры зуборезных головок, мм	20—90	60— 250	60— 250	100— 400	150— 350	160— 400	160—400	160—400
Частота вращения, мин ⁻¹	110— 550	24— 225	24— 225	26— 210	34— 218	21— 160	15—177	21—160
Потребляемая мощность, кВт	3	11,42	10,78	12,72	6,75	11,3	18,2	11,3
Габаритные размеры станка (длина × ширина), мм	1295 × ×945	2940 × ×2090	2620 × ×1600	2885 × ×1980	2470 × ×1500	3235 × ×2180	3265 × ×2180	3100 × ×1900
Масса станка, кг	1800	9770	9000	8750	8000	15 500	16 500	13 500

Характеристика	Зуборезные станки					Зубопротяжные станки		
	5С280П	5А284	5С262Е	5Б231	5281	5С261МП	5С272Е	5281В
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	800	1600	320	500	800	320	500	800
Наибольший окружной модуль, мм	16	30	6	10	16	6	10	16
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	125	235	—	65	100	—	65	100
Диаметры зуборезных головок, мм	160— 500	450— 900	125— 250	190— 315	190— 460	125— 250	190—315	190—460
Частота вращения, мин ⁻¹	18— 135	8,4— 62,5	26— 166	25— 252	21— 232	3—25	3—64	2,3— 17,9
Потребляемая мощность, кВт	16,22	27,4	10,72	9,3	14,6	8,22	7	10,6
Габаритные размеры станка (длина × ширина), мм	3235 × ×2180	4600 × ×3500	2615 × ×1865	2300 × ×1850	3070 × ×2580	2505 × ×1855	2300 × ×1850	3070 × ×2500
Масса станка, кг	15 000	35 000	7000	7000	14 000	8000	7000	14 000

Зуборезный станок 5П23А предназначен для нарезания зубьев мелко модульных колес, имеет устройство для наклона инструментального шпинделя и механизм винтового движения. На станке можно выполнять нарезание зубьев двойным двусторонним способом. Заготовки зубчатых колес с небольшим углом дели-

тельного конуса обрабатывают на станке методом обкатки, а колес с большим углом — комбинированным методом.

Станок 5A27C4 и его модификацию 5A27C4П повышенной точности выполняют с наклоняемым инструментальным шпинделем, что позволяет производить нарезание зубьев шестерен полуобкатных передач, а также обработку обкатных передач при ограниченной номенклатуре резцовых головок. На станках можно производить черновое и чистовое нарезание методами врезания и обкатки. Черновое нарезание с большими нагрузками может привести к потере точности станков.

В универсальном зуборезном станке 5C280П есть механизм модификации обкатки, но без наклона инструментального шпинделя. На станке можно осуществлять обработку методом обкатки, врезания или комбинированным. Станок предназначен для нарезания зубьев в условиях единичного, серийного и массового производства.

Универсальным является также и станок 5A284, который предназначен для чистового нарезания зубьев методом обкатки. Станок может быть использован для чернового нарезания зубьев шестерен с малым числом зубьев методом врезания. На станке можно производить корректировку пятна контакта посредством включения механизма модификации обкатки. Этот механизм позволяет ускорять или замедлять качание люльки во время обкатки профиля зуба.

Станки 5C262E, 5B231, 5281, 5C261МП, 5C272E, 5281Б являются специализированными, их применяют только для обработки зубьев колес. Зуборезные станки 5C262E, 5B231 и 5281 предназначены для чернового нарезания зубьев методом врезания, а зубопротяжные станки 5C261МП, 5C272E и 5281Б — для нарезания зубьев колес полуобкатных передач методом копирования. Станки 5C262E и 5C261МП применяют главным образом для нарезания зубьев гипоидных и конических передач легковых автомобилей, а станки 5B231 и 5C272E — для передач грузовых автомобилей. Саратовское СПО для обработки конических зубчатых колес разработало станок СТ-113 с ЧПУ.

В табл. 12.3 приведены технические характеристики зуборезных станков, выпускаемых фирмой «Глисон». Зуборезные станки 423 (102) 440 (106) являются универсальными и предназначены для нарезания зубьев конических и гипоидных колес с круговыми зубьями в условиях среднесерийного, крупносерийного и массового производства. В станках возможен наклон инструментального шпинделя на угол до 30°. Предусмотрен механизм винтового движения, обеспечивающий корректировку пятна контакта при обработке двусторонним способом.

Зуборезные станки 613 и 614 — специализированные и служат для нарезания зубьев ведущих шестерен с числом зубьев не более 25. Станок 613 предназначен для чернового нарезания зубьев; он имеет механизм двойной обкатки. Станок 614 применяют для чистового нарезания зубьев шестерен с высокой скоростью методом постоянных установок. Работает он вместе со станком 613 и имеет механизм винтового движения.

Продукционный станок 116 — полуавтомат. Его применяют для чернового и чистового нарезания зубьев шестерен и колес полуобкатных и обкатных передач методами обкатки и комбинированным в крупносерийном и массовом производстве. Зуборезный станок 122 является модификацией станка 116, однако он более универсален и позволяет производить нарезание зубьев методами врезания, обкатки, копирования и комбинированным. На этом станке можно выполнять нарезание зубьев двойным двусторонним способом за один установ из целой заготовки. Станок целесообразно использовать в мелкосерийном производстве.

12.3. Основные технические характеристики зуборезных станков фирмы «Глисон» для нарезания гипоидных и конических колес с круговыми зубьями

Характеристика	423 (102)	440 (106)	613, 614	116	122	641	645
Наибольший диаметр заготовки колеса, мм	117	216	177,8	457	457	406	711
Наибольший окружной модуль, мм	1,6	6,4	—	12,7	12,7	12,7	16,9
Наибольшая высота зуба, мм	1,9	14,3	19	25,4	25,4	25,4	31,7
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	11	32	44,5	70	70	66	117
Диаметр зуборезных головок,	1,1—3,5	3,5—7,5	3,5—9	5—12	5—12	2,75—12	9—18
Частота вращения, мин ⁻¹	—	54—413	600	17—115	17—115	30—250	19—171
Потребляемая мощность, кВт	1	6	13	5	9,6	12,5	21
Габаритные размеры станка (длина × ширина), мм	1000 × 670	2130 × 1550	2900 × 2310	3040 × 2360	2560 × 1980	3330 × 2160	4800 × 3120
Масса станка, кг	1463	7030	10 886	11 500	10 750	12 292	24 748
Характеристика	650	655	675	606, 607	608, 609	601	666
Наибольший диаметр заготовки колеса, мм	846	1270	2540	267	508	267	660
Наибольший окружной модуль, мм	23,5	25,4	42	10	—	10	16,9
Наибольшая высота зуба, мм	31,7	55,6	—	—	32	19	32
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	127	203	305	41	76	41	107
Диаметр зуборезных головок,	9—18	12—25,2	16—39,3	5—9	9—18	2—9	7,5—18
Частота вращения, мин ⁻¹	12—160	9—160	4—96	34—270	—	57—260	20—220
Потребляемая мощность, кВт	22	26	70	9	12	10,2	20
Габаритные размеры станка (длина × ширина), мм	4800 × 3120	4060 × 2410	8480 × 6760	2330 × 1910	3000 × 2200	2340 × 1910	2660 × 3270
Масса станка, кг	24 748	34 927	108 800	6600	8050	7915	—

Высокопроизводительные обкатные станки 641 и 645 сконструированы с учетом последних достижений в области обработки зубчатых колес. Универсальность этих станков позволяет производить обработку конических и гипоидных зубчатых колес методами обкатки, врезания и комбинированным. Большим преимуществом этих станков является возможность производить обработку шестерен и колес обкатных и полуобкатных передач за один установ из целой заготовки. Станки имеют наклоняемый инструментальный шпиндель, механизмы винтового движения и модифицированной обкатки, двухскоростной привод главного движения, высокоскоростной механизм деления. У станка 641 по сравнению с базовым

станком предыдущего поколения 116 на 50 % увеличена мощность главного привода, на 40 % увеличена масса практически при тех же габаритных размерах. Зуборезные станки 641, 645 предназначены для нарезания зубьев конических и гипоидных передач легковых и грузовых автомобилей, тракторов, автобусов в серийном, крупносерийном и массовом производстве.

Зуборезные станки 650 и 655 имеют конструкцию, аналогичную конструкции станков 641 и 645, и предназначены для нарезания зубьев крупномодульных конических и гипоидных передач. У инструментального шпинделя этих станков не предусмотрены наклон и механизм винтового движения. Для сокращения времени отладки формы и расположения пятна контакта у станков предусмотрен механизм модифицированной обкатки. Станки 641, 645, 650 и 655 выполняют с программируемым контроллером.

Зуборезный станок 675 предназначен для нарезания зубчатых колес диаметром до 2540 мм методами обкатки и врезания. Станок может быть использован для нарезания зубчатых колес за один установ из целой заготовки, а также за две операции — черновую и чистовую.

Зуборезные станки 606 и 607 применяют для нарезания зубьев полуобкатных передач Геликсформ за две операции — черновую и чистовую. Станки имеют жесткую конструкцию, при которой шпиндель инструмента и бабки заготовки расположены под углом 45° к основанию станины и объединены в короткую автоматическую линию. Станок 606 служит для чернового нарезания зубьев методом врезания, а станок 607 — для чистового нарезания методом копирования с дополнительным осевым перемещением зуборезной головки совместно с инструментальным шпинделем. Станки применяются в крупносерийном и массовом производстве для изготовления колес легковых автомобилей и легких грузовиков.

Зуборезные станки 608 и 609 также объединены в автоматическую линию и предназначены соответственно для чернового (методом врезания) и чистового (методом копирования) нарезания зубьев ведомых колес полуобкатных передач Формейт в условиях массового производства. Они предназначены главным образом для нарезания колес грузовых автомобилей, тракторов тягачей.

Специализированные зуборезные станки мод. 601 и 606 предназначены для нарезания ведомых колес полуобкатных конических и гипоидных передач Формейт методами врезания и копирования.

Фирма «Глисон» (США) разработала новый универсальный зуборезный станок G-MAXX 2010 с ЧПУ для обработки конических и гипоидных колес диаметром до 250 мм методом обкатки.

На зуборезных станках ZFTKK 250/1K, ZFTKK 500/2K (табл. 12.4) работают по методу Курвекс. Этот метод нарезания равновысоких зубьев обкатных и гипоидных передач разработан для мелкосерийного и среднесерийного производства, где геометрические параметры деталей и их число в партии существенно изменяются. Для метода Курвекс характерно нарезание зубьев универсальными зуборезными головками, состоящими из двух частей соответственно с наружными и внутренними резцами, оси которых смещены относительно друг друга.

Универсальные зуборезные станки ZFTKK 250/1U, ZFTKK 500/2U предназначены для чистового нарезания шестерен и колес обкатных передач, а также шестерен полуобкатных передач. Предусмотрен наклон инструментального шпинделя на угол $0-34^\circ$. Зуборезный станок ZFTKK 500/2W применяют для чернового и чистового нарезания зубьев. Угол наклона инструментального шпинделя этого станка до 8° . Станок ZFTKK 500/2V предназначен для чернового нарезания зубьев с двойной обкаткой при качании люльки вверх и вниз. Инструментальный

**12.4. Основные технические характеристики станков фирмы «Модуль» (ГДР)
для нарезания конических и гипондных колес с круговыми зубьями**

Характеристика	Зуборезные станки						Зубопротажный станок
	ZFTKK 250/1K	ZFTKK 250/1U	ZFTKK 500/2U	ZFTKK 500/2W, ZFTKK 500/2V	ZFKK 500×10/1	ZFTKK 500/2K	ZRKK 500×10/1
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	250	250	540	540	500	630	500
Наибольший окружной модуль, мм	8,5	8	16	16	13	13	13
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	40	40	78	78	71	95	71
Диаметр зуборезных головок, мм	75—212	88,9—228,6	152,4—406,4	152,4—406,4	152,4—406,4	150—300	152,4—406,4
Частота вращения, мин ⁻¹	71—224	45—180	56—280	45—224	28—112	35,5—180	7,1—22,4
Потребляемая мощность, кВт	11,5	10,0	14,5	21,5	11,7	21,5	9,3
Габаритные размеры станка (длина × ширина), мм	2650 × 1870	2650 × 1870	3365 × 3550	3365 × 3550	2800 × 2300	3365 × 3550	2800 × 2300
Масса станка, кг	6500	6500	12 000	12 000	10 000	12 000	10 000

шпиндель в процессе обработки может поворачиваться и изменять координаты резцовой головки.

Специализированные станки ZFKK 500×10/1, ZRKK 500×10/1 предназначены для нарезания зубьев ведомых колес соответственно методами врезания и копирования.

12.9. Зуборезные головки

Зуборезные головки по метрической системе выполняют: цельными с номинальным диаметром 20—80 мм; сборными с номинальным диаметром 100—1000 мм для нарезания круговых зубьев конических колес; сборными с номинальным диаметром 160—500 мм и углами профилей резцов: наружных — 10—26° и внутренних — 14—36° для нарезания гипондных зубчатых колес.

Цельные зуборезные головки (ГОСТ 11902—77) изготавливают двусторонними с наружными 2 и внутренними 1 резцами, установленными поочередно, праворежущими и леворежущими (рис. 12.11, а). Головки бывают двух типов: 1 — с нормальным; 2 — с увеличенным числом резцов. Материал головок — быстрорежущая сталь с твердостью рабочей части инструмента HRC₃ 62—65. Цельные зуборезные головки изготавливают нормальной и повышенной точности, для них установлены следующие номера резцов: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 30, 36, 42. Параметр шероховатости поверхностей на рабочих сторонах резцов и передних поверхностей резцов у головок нормальной точности $Ra \leq 0,63$ мкм, у головок повышенной точности $Ra \leq 0,32$ мкм. Допуск торцового биения вершин резцов головок нормальной точности от резца к резцу 0,015 мм, в пределах одного оборота 0,025 мм и головок повышенной точности от резца к резцу 0,010 мм и в пределах оборота 0,020 мм. Допуск радиального биения резцов посередине режущих кромок головок нормальной точности 0,010 мм, повышенной точ-

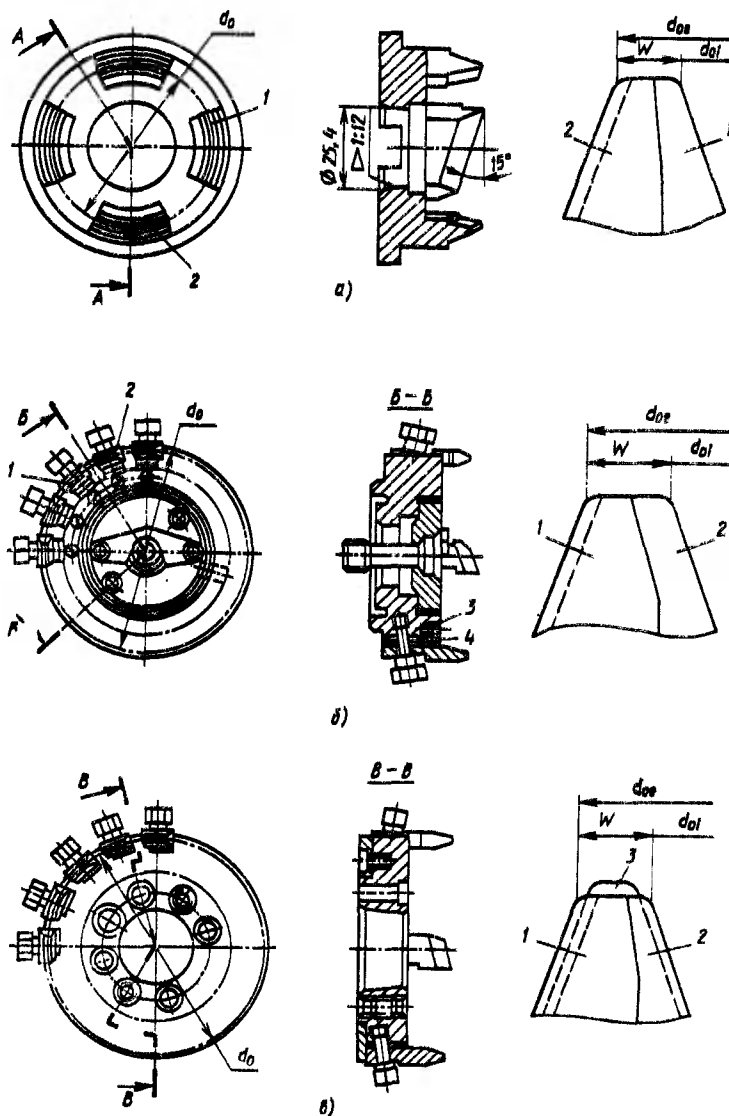


Рис. 12.11. Головки зуборезные праворежущие:
а — цельные; б — сборные чистовые; в — сборные черновые

ности 0,005 мм. Диаметр посадочного конического отверстия цельных головок 25,4 мм. В табл. 12.5 приведены параметры цельных зуборезных головок.

Сборные чистовые зуборезные головки для конических и гипоидных колес (ОСТ 2 И45-4—79 и ОСТ2 И45-5—79) нормальной и повышенной степеней точности с номинальными диаметрами 100—1000 мм изготавливают трех типов: двусторонние; односторонние с наружными резцами; односторонние с внутренними резцами. праворежущие и леворежущие (рис. 12.11, б).

12.5. Основные геометрические параметры, мм, цельных зуборезных головок

Номинальный диаметр d_0	Развод резцов W	Число наружных и внутренних резцов типа		Параметры обрабатываемых колес	
		1	2	Наибольшая внешняя высота зуба h_e	Наибольший нормальный модуль m_n
20	0,2—0,7	4	—	3	0,80
25	0,2—0,8	4	—	3	1,00
32	0,32—1,0	4	8	4	1,25
40	0,32—1,3	4	8	5	1,50
50	0,32—1,6	4	12	6	2,00
60	0,32—1,8	4	12	7	2,25
80	0,32—2,0	8	16	8	2,50

Резцы чистовых головок наружные 1 и внутренние 2 изготавливают из быстрорежущей стали твердостью HRC₆ 56—62. Возможно точное радиальное регулирование с помощью клиньев 4 и регулировочных винтов 3. Параметр шероховатости задних поверхностей на рабочих сторонах резцов и на передней поверхности у чистовых головок нормальной точности $Rz \leq 3,2$ мкм, у головок повышенной точности $Rz \leq 1,6$ мкм. Параметры сборных чистовых зуборезных головок и точностные показатели головок приведены в табл. 12.6 и 12.7.

12.6. Основные геометрические параметры, мм, сборных чистовых зуборезных головок

Номинальный диаметр головки d_0	Двусторонние головки		Односторонние головки			Наибольший нормальный модуль обрабатываемого колеса m_n
	Развод резцов W	Число резцов	Образующий диаметр наружных резцов	Образующий диаметр внутренних резцов	Число резцов	
100	0,4—2,6	8	89—107	89—107	8	4,0
125	0,4—2,8	12	107—133	107—133	12	4,5
160	0,6—3,6	12	131—174	133—176	12; 16	5,0
200	0,6—4,0	16	171—214	175—218	16; 20	6,0
250	0,6—5,2	20	214—288	218—292	20; 24	8,0
320	1,0—6,5	20	287—347	294—354	20; 24	10,0
400	1,0—8,0	28	346—416	354—424	28; 32	13,0
500	1,0—10,0	32	415—509	425—519	28; 32; 36	16,0
630	2,0—12,0	32	604—642	618—654	32	20,0
800	2,0—16,0	40	764—818	783—837	40	26,0
1000	3,2—20,0	40	954—1020	979—1045	40	30,0

Сборные черновые зуборезные головки для конических колес с круговыми зубьями (ОСТ 2 И45-12—86 и ОСТ 2 И45-13—86) с номинальным диаметром 160—500 мм изготавливают двусторонними и трехсторонними, праворежущими или леворежущими (табл. 12.8). У двусторонних зуборезных головок наружные и внутренние резцы в процессе резания обрабатывают одновременно боковую сторону и часть дна впадины зуба. Трехсторонние зуборезные головки имеют наружные 1 (рис. 12.11, а), внутренние 2 и средние 3 резцы. Наружные и внутренние резцы предназначены для обработки только боковых сторон зуба и не касаются

12.7. Основные показатели точности, мм, сборных чистовых и черновых зуборезных головок

Номинальный диаметр d_0	Торцовое биение по вершинам резцов						Радиальное биение посередине режущих кромок		
	от резца к резцу			в пределах одного оборота					
	Чистовые головки точности		Черновые головки	Чистовые головки точности		Черновые головки	Чистовые головки точности		Черновые головки
	нормальной	повышенной		нормальной	повышенной		нормальной	повышенной	
100; 125	0,010	0,005	—	0,030	0,016	—	0,0025	0,0016	0,030
160; 200	0,012	0,007	0,025	0,030	0,020	0,050	0,0025	0,0016	0,030
250; 320	0,015	0,010	0,025	0,035	0,025	0,055	0,0025	0,0016	0,030
400; 500	0,020	0,010	0,030	0,040	0,030	0,060	0,004	0,0025	0,040
630—1000	0,025	—	—	0,050	—	—	0,006	—	—

12.8. Основные геометрические параметры, мм, сборных черновых зуборезных головок

Номинальный диаметр d_0	Двусторонние головки		Трехсторонние головки			Наибольший нормальный модуль обрабатываемого колеса m_n
	Развод резцов W	Число резцов	Пределы разводов резцов W	Число наружных и внутренних резцов	Число средних резцов	
160	0,6—3,2	16	2,6—3,2	8	8	5,0
200	0,6—3,6	20	2,6—3,6	10	10	6,0
250	0,5—4,6	24	2,6—4,6	12	12	8,0
320	1,0—6,0	32	2,6—6,0	16	16	10,0
400	1,0—7,0	36	2,6—7,0	18	18	13,0
500	1,0—9,0	40	2,6—9,0	20	20	16,0

дна впадин. Средние резцы устанавливают на 0,20—0,25 мм выше наружных и внутренних, они обрабатывают только впадины зуба. Число средних резцов в головке равно половине числа резцов. Корпуса двусторонних и трехсторонних головок одинаковой конструкции. Параметр шероховатости задних поверхностей на рабочих сторонах профиля $Rz \leq 1,6$ мкм, на передней поверхности $Rz \leq 3,2$ мкм. Резцы черновых головок не имеют регулировки в корпусе, их изготовляют из быстрорежущей стали твердостью HRC₆ 62—65.

В отечественной промышленности применяется также дюймовая система номинальных диаметров (табл. 12.9). Зуборезные головки выполняют цельными, сборными и сегментными. Головки с номинальным диаметром до 2" изготовляют цельными, головки диаметром 3,5" и выше—сборными, головки диаметром 7 $\frac{1}{2}$ " , 9" и 12" — сегментными.

Для черногого нарезания зубьев, кроме черновых зуборезных головок ROUGHAC, применяют также головки RIDGAC и WEDGAC. Черновые зуборезные головки изготовляют двусторонними и трехсторонними. На рис. 12.12, а показана сборная черновая двусторонняя зуборезная головка ROUGHAC. Наружные 1 и внутренние 2 резцы расположены в пазах корпуса 9 поочередно. Точное радиальное регулирование резцов в головке производят клиньями 7 с по-

12.9. Основные геометрические параметры (в дюймах) зуборезных головок

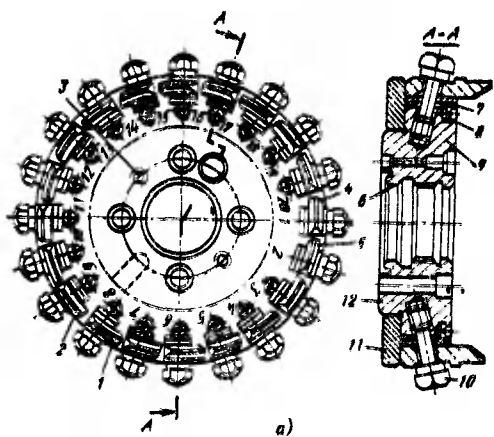
Номинальный диаметр d_0		Параметры обрабатываемых колес		
мм	дюйм	Внешнее конусное расстояние R_e	Наибольшая ширина зубчатого венца b	Наибольшая внешняя высота зуба h_e
12,7	0,5	6—13	5	1,75
27,94	1,1	13—19	6,5	3,5
38,1	1,5	19—25	8	5
50,8	2,0	25—38	11	5
69,85	2,75	32—45	14	6,5
88,9	3,5	38—70	19	9
114,3	4,5	63—76	25	9,5
127,0	5,0	65—80	28	9,5
152,4	6,0	70—89	32	9,5
190,5	7,5	89—102	38	13,0
228,6	9,0	102—133	48	14,5
304,8	12,0	133—190	64	19,5
406,4	16,0	190—381	89	19,5
457,2	18,0	190—381	102	19,5
457,2	18,0	190—381	102	14,5—33,5

мощью винтов 8. Регулировку осуществляют относительно базовых резцов — наружного 5 и внутреннего 4, клинья которых закреплены штифтами.

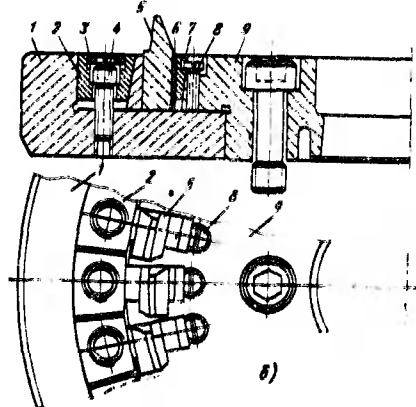
Винты 10 для крепления резцов расположены под углом 10° относительно опорного торца, чем достигается более точная их установка в корпусе головки по сравнению с установкой резцов, винты которых расположены перпендикулярно опорному торцу. Закаленное кольцо 11 воспринимает нагрузки, действующие на резец в осевом направлении в процессе резания. На шпиндель зуборезного станка головку устанавливают по конусу 6 с опорой на торец 12 и закрепляют четырьмя винтами. Винты 3 служат для съема головки со станка.

Черновая зуборезная головка WEDGAC, разработанная на ЗИЛе, имеет большую массу и повышенную жесткость (рис. 12.12, б). В радиальных пазах массивного закаленного корпуса 9 (сталь 9ХС, HRC₉ 55—60) установлено большое число резцов 5 с подкладками 6, регулировочными клиньями 7 и винтами 8. Последние служат для точного регулирования резцов в радиальном направлении относительно оси вращения головки. Корпус головки жестко закреплен в обойме 1, внутренняя цилиндрическая поверхность которой контактирует с поверхностью зажимных клиньев 2. Осевое перемещение винта 4 в клине ограничено резьбовой гайкой 3. Применение черновых зуборезных головок WEDGAC за счет увеличенной массы, большего числа резцов и высокой надежности их клинкового закрепления в корпусе позволяет повысить производительность на 25—30 % и период стойкости резцов в 1,1—1,3 раза по сравнению с головками ROUGHAC.

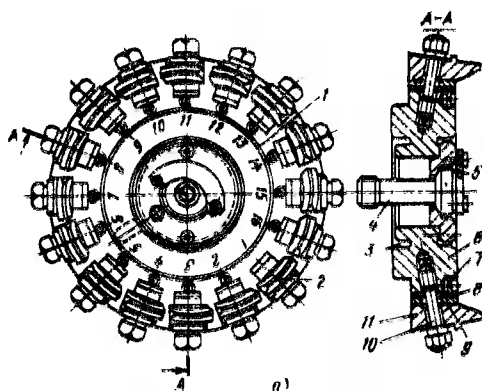
Наиболее высокие режущие свойства среди чистовых зуборезных головок имеют головки HARDAC (рис. 12.13, а), которые изготавливают односторонними и двусторонними с номинальными диаметрами 5", 6", 7,5", 9" и 12". Корпус 6 зуборезной головки закален, его твердость HRC₉ 57, радиальные пазы корпуса отшлифованы с высокой точностью. На шпинделе станка головку закрепляют центральным винтом 4 со сферической опорой. Этот же винт, воздействуя на сергу 5, обеспечивает съем резцовой головки со станка. Винты 10 для крепления резцов в пазах корпуса расположены под углом 10° к поверхности опорного торца. Чистовые резцы 11 устанавливают на две опоры, вследствие чего достигается более точ-



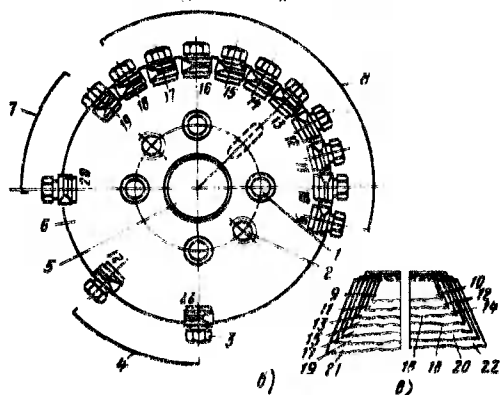
а)



б)



а)



б)

Рис. 12.12. Черновые двусторонние зуборезные головки:
а — ROUGHAC; б — WEDG-AC

Рис. 12.13. Чистовые зуборезные головки:
а — HARDAC; б — головка-протяжка; в — схема расположения резцов

ная и более жесткая установка в пазе корпуса, чем резцов с одной опорой. Изготовление регулировочных клиньев 8 с винтами 7 и подкладок 9 обеспечивает отклонение образующих диаметров не более 0,127 мм (табл. 12.10) и позволяет сохранить неизменными форму и расположение пятна контакта на зубьях обрабатываемых колес при замене головки без дополнительной подналадки станка. Кольцевая канавка 3 предотвращает изнашивание шпинделя и деформирование корпуса головки при установке ее на станок. Точность установки и закрепления головки на станке контролируют индикатором по контрольной канавке 1, торцовое биение головки не должно превышать 0,001 мм. Крутящий момент при затяжке центрального винта головки к шпинделю зуборезного станка для головки HARDAC 5" и 6" равен 69 Н·м, для головок 7,5" — 12" — 103,6 Н·м.

С целью обеспечения малой шероховатости поверхности зубьев у чистовых зуборезных головок HARDAC контролируют отклонение угла профиля резцов относительно базового резца 2. Отклонение угла профиля режущих кромок резцов на их рабочей длине не должно превышать 0,001 мм. Если отклонение угла профиля какого-либо резца выходит за пределы допуска, то производят корректиров-

**12.10. Допуски, мм, на параметры сборки и регулирования резцов
зуборезных головок ВАЗа и фирмы «Глисон»**

Параметр	Черновая головка	Чистовая головка HARDAC
Отклонение углов профиля резцов:		
в комплекте	0,013	0,0013
разных комплектов	0,038	0,0076
Развод резцов в головке разных комплектов	0,127	—
Диаметр режущих кромок резцов разных комплектов	—	0,127
Радиальное биение регулируемых резцов в головке:		
от резца к резцу	0,005	0,0003
в пределах одного оборота	0,007	—
Радиальное биение нерегулируемых резцов в головке:		
от резца к резцу	0,025	—
в пределах одного оборота	0,038	—
Торцовое биение вершин резцов:		
от резца к резцу	0,050	0,050
в пределах одного оборота	0,076	0,076
Погрешность шагов:		
от резца к резцу	0,025	0,025
в пределах одного оборота	0,038	0,038

Примечание. Контроль зуборезных головок производят на приборах 5778Е, 5778В и 528 фирмы «Глисон». Если будут выявлены повышенные отклонения расположения резцов относительно базового резца 2 (см. рис. 12.13), следует проверить, нет ли заусенцев или забоин на поверхности головки, подкладок, клиньев и шпинделя. Зуборезные головки и входящие в нее детали следует очистить от стружки и масла перед началом сборки. Необходимо также проверить контрольное оборотование, посадочные поверхности зуборезной головки и шпинделя, индикаторы и т. д.

ку с помощью регулировочных клиньев 8, которые изготавливают с различной толщиной широкой части клина при одинаковой толщине узкой части. Отклонение толщины широкой части клиньев от номинального размера маркируют на торце клина: $\pm 1/4$ ($\pm 0,0006$ мм); $\pm 1/2$ ($\pm 0,0013$ мм); $\pm 3/4$ ($\pm 0,0018$ мм); ... ± 2 ($\pm 0,0051$ мм).

Для чистового нарезания зубьев колеса полуобкатных конических и гипоидных передач методом копирования применяют зуборезные головки-протяжки, которые за один оборот обрабатывают одну впадину зубьев колеса. Образующий радиус боковых режущих кромок внутренних резцов, начиная с первого, уменьшается пропорционально снимаемому припуску, а образующий радиус наружных резцов соответственно возрастает. Зуборезные головки Formate изготавливают с номинальными диаметрами 5"; 6"; 7,5"; 9" и 12" со вставными резцами или сегментами, имеющими два — четыре резца. Припуск, снимаемый одним резцом, принимают равным 0,02—0,04 мм. Разность образующих радиусов первого и последнего наружных или внутренних резцов равна припуску на сторону зуба 0,2—0,4 мм. Последние два резца в головке являются калибрующими, их высота на 0,05—0,10 мм меньше высоты предшествующих режущих. Для повышения точности обработки зубьев калибрующие резцы устанавливают друг от друга и от последнего режущего резца на расстоянии, превышающем ширину зубчатого венца обрабатываемого колеса. Каждый калибрующий резец вступает в резание

после того, как предшествующий прекращает резание. Режущие резцы располагают как можно ближе один к другому, чтобы на определенном участке корпуса разместить большое число резцов. Между первым режущим и последним калибрующим резцами предусмотрено расстояние для деления заготовки на один шаг.

Зуборезная головка-протяжка Formate конструкции ЗИЛ состоит из дискового корпуса 6 (рис. 12.13, б) с центральным конусным отверстием 5. На шпиндель зуборезного станка головку устанавливают на коническое отверстие и опорный торец. Зуборезную головку-протяжку закрепляют четырьмя винтами, которые вставляют в отверстия 1. Резьбовые отверстия 2 служат для выжимных винтов, используемых при съеме головки со станка.

В радиальных пазах корпуса расположены поочередно наружные и внутренние прецизионные подкладки и резцы. Каждый резец закрепляют зажимным винтом 3, который расположен под углом 10° к опорной плоскости зуборезной головки.

Резцы в головке разбиты на три группы: получистовые 8 (резцы 9—18), чистовые 7 (резцы 19, 20) и калибрующие 4 (резцы 21, 22). Схема расположения резцов в головке по высоте и радиусу показана на рис. 12.13, в. Такая схема обеспечивает при резании стабильный и равномерный припуск под калибрующие резцы, что дает возможность обрабатывать зубчатые колеса с высокой точностью зубьев и малым параметром шероховатости боковых поверхностей зубьев.

Зуборезные головки-протяжки Helixform изготавливают с номинальными диаметрами 5''; 6'', 7,5'', 9'' и 12''. Корпус головки закален до твердости HRC 57, радиальные пазы под резцы шлифованы с высокой точностью.

Для повышения жесткости головки резцы устанавливают без клиньев и подкладок. На торец корпуса головки резцы базируют на две поверхности. Базовые размеры пазов в головке под резцы одинаковые, образующие диаметры головки изменяются за счет базовых размеров резцов. В процессе резания резец совершает два движения — вращательное и осевое. Число резцов в головке ограничено. Теоретически в головке десять резцов, два резца заменены промежутком для деления, восемь резцов режущих, из них четыре наружных и четыре внутренних. Первые резцы получистовые, последние два (внутренний и наружный) — чистовые. Припуск на резец 0,05 мм, суммарный припуск на толщину зуба 0,40 мм.

Преимущество головок-протяжек Helixform по сравнению с протяжками Formate сегментного типа заключается в следующем: резцы дешевле и проще в изготовлении; срок службы резцов благодаря более широкой режущей части значительно больше; корпус головки может быть использован взамен головок сегментного типа.

Отклонение углов профиля двух чистовых резцов должно быть в пределах 0,007 мм от комплекта к комплекту. Отклонение развода резцов двух чистовых резцов должно быть не более 0,013 мм. Погрешность шага от резца к резцу 0,025 мм, в пределах одного оборота — 0,038 мм.

Для обеспечения более жесткой установки чистовых и черновых зуборезных головок на станок у шпинделя зуборезного станка увеличивают площадь опорного торца. На рис. 12.14, а показана схема установки чистовой зуборезной головки 3 HARDAC на шпиндель 1 зуборезного станка. Старая конструкция опорного торца шпинделя показана линией 2. Высокая точность расположения резцов в зуборезной головке в значительной степени зависит от точности изготовления базовых поверхностей корпуса зуборезной головки и шпинделя зуборезного станка (табл. 12.11).

12.11. Основные размеры посадочных поверхностей зуборезных головок и концов шпинделей зуборезных станков

Тип зуборезной головки	Диаметр посадочного конусного отверстия, дюйм (мм)	Диаметр конусного отверстия головки в плоскости опорного торца, мм	Диаметр шпинделя станка в плоскости опорного торца, мм	Зазор между опорными торцами головки и шпинделя станка, мм
HARDAC	$2\frac{19}{64}$ (58,34)* ¹	58,2254—58,2232	$58,2285 \pm 0,0005$	0,076—0,127
Helixform	$2\frac{19}{64}$ (58,34)* ¹	58,2243—58,2211	$58,2285 \pm 0,0005$	0,102—0,178
Formate	5 (127,0)* ¹	126,9730—126,9700	$126,9774 \pm 0,0005$	0,102—0,178
WEDGAC RIDGAC	$2\frac{19}{64}$ (58,34)* ¹	58,2232—58,2201	$58,2285 \pm 0,0005$	0,127—0,203
ROUGHAC	$2\frac{19}{64}$ (58,34)* ¹	58,2222—58,2190	$58,2285 \pm 0,0005$	0,152—0,229
Круговые зуборезные головки-протяжки	$2\frac{19}{64}$ (58,34)* ¹	58,2222—58,2190	$58,2285 \pm 0,0005$	0,152—0,229
	$6\frac{7}{8}$ (174,62)* ²	174,6174—174,6199	$174,6276 \pm 0,0005$	0,178—0,254

*¹ Угол конуса 1°11'11".*² Угол конуса 1°11'37".

Для контроля точности зуборезных головок при изготовлении и эксплуатации применяют специальные приспособления, которые настраивают по точно изготовленным калибрам: калибру-кольцу и калибру-пробке. В качестве примера на рис. 12.14, б, в приведены допустимые отклонения посадочных поверхностей шпинделя станка и зуборезной головки с диаметром отверстия 127 мм.

Одновременно с новой гаммой зуборезных станков Саратовское СПО и фирма «Глисон» (США) разработали систему острозаточенных зуборезных головок, позволяющую значительно снизить затраты на инструмент и упростить технологию изготовления резцов. Острозаточенные зуборезные головки предназначены для нарезания зубьев конических и гипоидных колес и разделяются на чистовые, черновые, двусторонние и трехсторонние.

Зуборезные головки имеют массивный корпус 4 (рис. 12.15, а), в котором выполнены прецизионные радиальные пазы под резцы. Корпус установлен в зажимном кольце 5 по посадке с натягом 0,076—0,381 мм. Для удобства обслуживания зуборезных головок диаметром 5", 6", 7,5" и 9", которые обычно устанавливают и снимают со станка без применения специальных подъемных устройств, на верхней и нижней поверхностях зажимного кольца 5 выполняют насечку. В радиальных пазах корпуса двусторонних головок устанавливают острозаточенные наружные 3 и внутренние 1 резцы, а в трехсторонних — наружные, внутренние и средние 2. Резцы закрепляют с помощью прокладок 6 и винтов 7, головка которых входит в Т-образный паз, профрезерованный в прокладке (рис. 12.15, а, б). Для

ем определенного крутящего момента, проверяют радиальное биение режущих кромок. Если имеются отклонения, то резец перемещают вертикально до достижения необходимого положения режущей кромки. Радиальное биение режущих кромок чистовых резцов после заточки и сборки должно быть не более 0,0025 мм, черновых не более 0,025 мм. Для каждого номинального диаметра изготавливают четыре черновые и четыре чистовые зуборезные головки: две двусторонние — леворежущую и праворежущую и две трехсторонние — леворежущую и праворежущую (табл. 12.12). В черновых трехсторонних зуборезных головках последовательность расположения резцов следующая: наружный, средний, внутренний, средний, наружный и т.д.; в чистовых — наружный, внутренний, средний, наружный и т.д.

12.12. Основные геометрические параметры, мм, острозаточенных зуборезных головок

Номинальный диаметр d_0		Наибольшая внешняя вы- сота зуба обрабатывае- мого колеса h_e	Развод резцов W	Толщина резца T_b	Ширина резца W_b	Высота установки резца над головкой H	Общая высота резцовой головки
дюйм	мм						
Черновые головки							
5; 6	127; 152,4	12,7	0,76—3,30	9,6	13,3	15,2	101,6
7,5; 9	190,5; 228,6	14,2	0,76—3,81	10,7	14,2	16,5	101,6
10,5; 12; 14	266,7; 304,8; 355,6	19,2	1,02—7,62	12,7	19,0	22,9	101,6
16; 18	406,2; 457,2	30,4	1,02—8,90	19,0	27,9	36,8	123,2
Чистовые головки							
5	127	8,9	1,27—3,81	9,6	10,2	14,0	101,6
6	152,4	11,4	1,27—3,81	9,6	11,4	15,2	101,6
7,5	190,5	14,0	1,78—5,08	9,6	14,0	17,8	101,6
9	228,6	16,5	1,78—6,35	10,7	16,5	20,3	101,6
10,5	226,7	19,0	1,78—7,62	12,7	19,0	24,1	107,9
12	304,8	19,0	1,78—7,62	12,7	19,0	24,1	107,9
14	355,6	21,6	2,54—8,89	14,7	21,6	26,7	111,1
16	406,2	21,6	2,54—8,89	14,7	21,6	26,7	123,8

Основные преимущества применения резцовых головок с острозаточенными резцами по сравнению с затылованными — низкая стоимость и простота изготовления резцов, их повышенная стойкость, более высокая производительность станка за счет большего числа резцов.

Стойкость острозаточенных резцов, определяемая числом обработанных заготовок за весь срок службы, повышается в 2—5 раз благодаря увеличению числа повторных заточек до 40—45 вместо 15—17 у затылованных резцов.

В процессе резания резцы зуборезных головок изнашиваются главным образом по задней и передней поверхностям. Для восстановления режущих свойств затылованные резцы периодически затачивают по передней поверхности в сборе с зуборезной головкой на специальных заточных станках. Для заточки зуборезных головок в массовом и крупносерийном производстве применяют высокопроизводительные станки с автоматической подачей и правой шлифовальной круга 3666, Ст-1185 (ЗИЛ) и 13А, 528 фирмы «Глисон». Острозаточенные резцы затачивают в

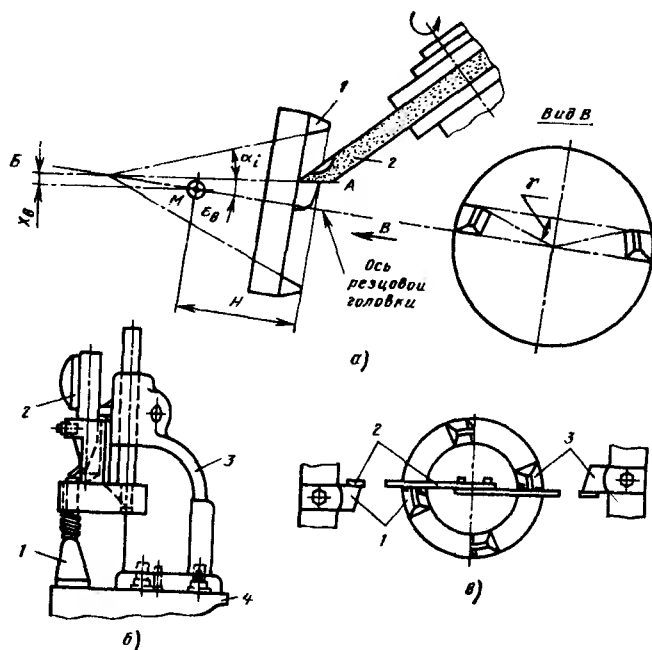


Рис. 12.16. Заточка зуборезных головок:

a — схема заточки зуборезной головки с внутренними резцами; *б* — контроль высоты резцов; *в* — проверка параллельности и прямолинейности резцов

разобранном виде комплектно по вершине и боковым поверхностям на профильно-шлифовальных станках.

При нормальной эксплуатации зуборезные головки снимают со станка для заточки резцов при увеличении шероховатости поверхности профилей зубьев обрабатываемых колес, когда износ по задней поверхности чистовых резцов достигает 0,25—0,35 мм, а задней поверхности черновых резцов — 0,8—1,2 мм.

При заточке передний угол наружных и внутренних затылованных резцов черновых и чистовых головок принимают равным $\gamma = 20^\circ$. Для уменьшения шероховатости поверхности зубьев при обработке вязких материалов передний угол рекомендуется увеличивать. Средние резцы трехсторонних зуборезных головок затачивают под углом 13° . На рис. 12.16, *a* показана схема установки зуборезной головки на заточном станке при заточке внутренних резцов. Переднюю поверхность резцов 1 устанавливают в плоскости заточки *АВ* шлифовального круга 2. Угол наклона оси зуборезной головки ϵ и вертикальное смещение заточного станка *X* определяют по формулам:

для внутренних резцов

$$\operatorname{tg} \epsilon_v = \sin \gamma \operatorname{tg} \alpha_i; \quad X_v = \sin \epsilon_v \left(H - \frac{d_i}{2 \operatorname{tg} \alpha_i} \right);$$

для наружных резцов

$$\operatorname{tg} \epsilon_n = \sin \gamma \operatorname{tg} \alpha_e; \quad X_n = \sin \epsilon_n \left(H + \frac{d_e}{2 \operatorname{tg} \alpha_e} \right),$$

где d_i , d_e — образующие диаметры внутренних, наружных резцов; H — расстояние от оси поворота *M* до плоскости вершин резцов; α_i , α_e — угол профиля внутренних, наружных резцов.

Во время заточки зуборезная головка неподвижна, а шлифовальный круг вращается и совершает колебательное движение перпендикулярно поверхности резца, а также автоматически подается на резец для снятия затупленного слоя. Перед заточкой целесообразно измерить максимальный износ резцов и записать его в карточку, которая должна быть предусмотрена для каждого комплекта резцов. Толщина слоя металла, снимаемого с передней поверхности резцов при заточке, должна соответствовать значению, указанному в карточке. В процессе заточки у зуборезной головки специальным приспособлением проверяют высоту наружных, внутренних и средних резцов (рис. 12.16, б). При перемещении основания приспособления 3 по торцу головки 4 индикатором 2 проверяют высоту резцов 1. Разность высот вершин соседних наружных и внутренних резцов не должна превышать 0,03 мм, колебание высоты указанных резцов внутри одной головки должно быть не более 0,1 мм. Средние резцы в трехсторонних зуборезных головках затачивают так, чтобы они были выше наружных и внутренних на 0,25 мм.

Режущие кромки противолежащих резцов чистовой головки должны быть прямолинейны, параллельны и лежать в плоскости, проходящей через центр зуборезной головки. Проверку производят контрольной линейкой 2 (рис. 12.16, в), один конец которой совмещают с режущей кромкой наружного или внутреннего резца 1. Противоположный конец контрольной линейки должен совпадать с режущей кромкой противолежащего одноименного резца 3. Контроль выполняют щупом толщиной 0,02—0,03 мм. У передней поверхности чистовых резцовых головок после заточки должен быть параметр шероховатости $Ra = 0,15 \dots 0,25$ мкм.

При заточке зуборезных головок-протяжек особое внимание следует уделять последним двум калибрующим резцам, так как от их качества зависят шероховатость поверхности зубьев, форма и расположение пятна контакта. Разность высот калибрующих резцов, которые ниже предшествующих режущих, не должна превышать 0,013 мм. Внутренние и наружные резцы головок-протяжек Formate и Helixform имеют одинаковые передние углы $\gamma = 25^\circ$. Угол 25° обеспечивает меньшую шероховатость боковой поверхности зубьев и больший период стойкости головки по сравнению с углом заточки 20° . При проверке контрольной линейкой отклонение прилегания линейки к режущим кромкам двух чистовых резцов после заточки должно быть не более 0,025 мм.

Одним из перспективных направлений повышения производительности обработки и стойкости зубострогальных, зуборезных, блочных резцов круговых протяжек, а также резцов дисковых фрез является нанесение на режущие поверхности износостойких покрытий. Наибольшее распространение получило покрытие нитридом титана с использованием ионно-плазменной технологии, наиболее производительной по сравнению с другими технологиями нанесения покрытия.

Покрытие наносят в вакуумной камере. Предварительно очищенные зуборезные инструменты подвергают в камере дополнительной очистке путем бомбардировки ионами. Титан испаряется в тигле с помощью электронно-лучевой пушки. Ионизированный аргон и химически активный газ подводятся в камеру при температуре 300—500 °С. Осаждение частиц плазменного потока с высокой энергией обеспечивает толщину покрытия 2—5 мкм и твердость поверхности HRC₂ 80—85 вместо HRC₂ 60—64 у закаленного быстрорежущего резца без покрытия. Чтобы обеспечить хорошее сцепление нитрида титана с подложкой, покрываемую поверхность инструмента следует тщательно очистить. Инструмент, покрытый нитридом титана, имеет очень твердый, тонкий и износостойкий слой, а также низкий коэффициент трения. Это увеличивает стойкость зуборезного инструмента. Покрытого нитридом титана, в 1,5—2 раза и более по сравнению со стойкостью

обычного инструмента. Инструмент с покрытием можно использовать при работе на более высоких режимах резания — при увеличении скорости резания на 30—50 % и сохранении подачи на резец или сохранении скорости резания и увеличении подачи на резец на 10—20 %.

12.10. Режимы резания

Режимы резания при изготовлении конических колес с круговыми зубьями выбирают так же, как режимы резания при изготовлении конических колес с прямыми зубьями (см. гл. 11). Режимы резания должны обеспечивать требуемую производительность станков и высокое качество обработки при оптимальной стойкости режущего инструмента. Необходимо учитывать, что конические и гипоидные передачи с круговыми зубьями по сравнению с прямозубыми коническими передачами передают большие нагрузки, работают при больших окружных скоростях, к ним предъявляют более высокие требования в отношении бесшумности работы и плавности зацепления.

Режимы резания при обработке конических и гипоидных колес с круговыми зубьями можно выбирать по таблицам и расчетным путем, причем в последнем случае можно определять режимы резания для более широкого диапазона обрабатываемых колес.

Табличный метод. Режимы резания (табл. 12.13, 12.14) даны для работы стандартными зуборезными головками по ГОСТ 11902—77, ОСТ2 И45-4—79, ОСТ2 И45-5—79, ОСТ2 И45-12—86 и ОСТ2 И45-13—86. Если принятая зуборезная головка имеет большее или меньшее число резцов, чем аналогичная стандартная, необходимо произвести пересчет времени обработки одного зуба t_z по формуле

$$t_z = \frac{N}{N_1} t_{z \text{ табл.}}$$

где N — число резцов в стандартной головке; N_1 — число резцов в используемой головке; $t_{z \text{ табл.}}$ — время обработки одного зуба по табл. 12.13—12.15.

При обработке зубьев колеса и шестерни сначала выбирают время обработки одного зуба при чистовом нарезании зубьев. Затем приступают к выбору времени обработки одного зуба при черновом зубонарезании. Когда чистовое нарезание зубьев колеса производят методом копирования, а черновое методом врезания и оба станка соединены между собой в линию для обеспечения высокой производительности и лучшей корректировки припуска под чистовое нарезание зубьев, время обработки одного зуба при черновом и чистовом нарезании зубьев следует выбирать одинаковым. Если черновые и чистовые станки не соединены в линию, а обрабатываемость материала неудовлетворительна, рекомендуется при черновом нарезании время обработки зуба принимать больше, чем при чистовом.

Скорость резания при черновом нарезании зубьев вследствие большей нагрузки при резании меньше на 15—20 %, чем при чистовом нарезании. Когда черновое нарезание зубьев колеса и шестерни осуществляют методом обкатки на чистовом станке, табличное время увеличивают в 1,5 раза. При нарезании конических колес высокой точности время обработки одного зуба увеличивают на 10—15 %.

Режимы резания приведены в табл. 12.15, 12.16.

Скорость резания при обработке зубьев заготовок из стали 18ХГТ (HB 160—212) или эквивалентной ей по обрабатываемости должна составлять: при черновом нарезании методом врезания — 30—35 м/мин, методом обкатки — 35—

12.13. Рекомендуемые значения времени обработки одного зуба и скорости резания при черновом нарезании конических и гипоидных колес с круговыми зубьями методами врезания и обкатки стандартными зуборезными головками на станках 5С263, 5С273 производства СССР, 116, 613 фирмы «Глисон» ZFTKK 500/2V фирмы «Модуль»

Обрабатываемый материал, его твердость	Модуль	Приближительная длина зуба	Время обработки одного зуба, с			Скорость резания, м/мин
			Колесо*1	Колесо и шестерня*2	Шестерни*3	
	мм					
18ХГТ, НВ 160—212	3	19	8,6	17,2/17,2	17,2	35—45
	3,5	22	10	17,2/17,2	20,1	
	4	30	11,3	18,8/22,6	26,4	
	5	38	12,9	23/25,8	34,4	
	6,5	45	15	30,1/34,4	39,6	
	7,5	50	17,2	34,5/45,8	51,7	
	8,5	50	20	45,8/51,7	57,5	
45ХН, НВ 235—269	3	19	11,3	17,2/19,3	22,6	30—35
	3,5	22	12,9	19,3/22,6	25,8	
	4	30	15	23/25,8	30,1	
	5	38	17,2	29,6/34,5	39,4	
	6,5	45	19,7	34,5/44,5	49,3	
	7,5	50	22,6	45,4/51,7	64,5	
	8,5	50	25,8	58,2/64,5	77,5	
45ХН, НВ 269—302	3	19	17,2	22,2/24,6	29,6	25—30
	3,5	22	19,7	24,6/29,6	34,5	
	4	30	22,6	32,3/38,7	45,4	
	5	38	23,4	39/46,8	51,7	
	6,5	45	27,3	46,8/62,5	70,2	
	7,5	50	35,2	66,3/80	45,3*4	
	8,5	50	40	80/50,2*4	50,2*4	

^{*1} Метод врезания.

^{*2} Метод обкатки. В числителе — значения для передаточного числа от 1:1 до 3:1, в знаменателе — для передаточного числа 3:1 и выше.

^{*3} Гипоидная передача.

^{*4} Обработки за два рабочих цикла.

45 м/мин; при чистовом нарезании методом копирования — 7—10 м/мин, методом обкатки — 50—60 м/мин.

Расчетный метод. Параметры обрабатываемой пары: $z_2 = 43$, $z_1 = 14$, $m_n = 6$ мм, $b = 42$ мм, $h = 11,33$ мм, $\beta_m = 35^\circ$. Материал — сталь 18ХГТ, НВ 160—205, номинальный диаметр зуборезной головки 228,6 мм (9").

Черновое нарезание зубьев колеса методом врезания производят на зуборезном станке для чистового нарезания зубьев, например на станке 527В.

Число резцов, необходимое для нарезания полной высоты зуба обрабатываемого колеса,

$$K_p = \frac{h + \Delta h}{a} = \frac{11,33 + 1,0}{0,075} = 164,$$

12.14. Рекомендуемые значения времени обработки одного зуба и скорости резания при чистовом нарезании конических и гипонидных колес с круговыми зубьями методом обкатки стандартными зуборезными головками на станках 5С268, 527В производства СССР, 116, 614, 641 фирмы «Глисон», ZFTKK 500/2, ZFKK 500×10/1 фирмы «Модуль»

Обрабатываемый материал, твердость	Модуль	Приближительная длина зуба	Время обработки одного зуба, с		Скорость резания, м/мин
			Колесо	Шестерня*2	
	мм				
18ХГТ, НВ 160—212	3	19	14,2	14,2/18,9	50—60
	3,5	22	16,6	16,6/18,9	
	4	28	19,3	19,3/22,6	
	4,5	31	22,6	19,3/22,6	
	5	38	22,6	22,6/26,4	
	5,5	44	26,4*1	26,4/26,4	
	6,5	44	30,1*1	26,4/30,1	
	7	50	34,5*1	29,6/34,5	
	8,5	50	39,4*1	34,5/44,2	
	10	55	49,3*1	44,2/49,3	
45ХН, НВ 212—269	3	19	17,2	17,2/20,1	45—50
	3,5	22	20,1	20,1/23,0	
	4	28	22,6	22,6/25,8	
	4,5	31	25,8	25,8/25,8	
	5	38	25,8	25,8/30,1	
	5,5	44	30,1*1	30,1/30,1	
	6,5	44	34,4*1	30,1/34,4	
	7	50	45,8*1	34,5/40,2	
	8,5	50	51,7*1	40,2/45,8	
	10	55	57,5*1	51,7/57,5	
45ХН, НВ 269—302	3	19	22,6	22,6/26,4	35—42
	3,5	22	22,6	26,4/30,1	
	4	28	24,6	29,6/34,5	
	4,5	31	34,5	34,5/34,5	
	5	38	34,5	34,5/40,2	
	5,5	44	40,2*1	40,2/40,2	
	6,5	44	45,8*1	40,2/45,8	
	7	50	55 *1	46,8/55	
	8,5	50	62,5*1	55/62,5	
	10	55	80,7*1	68,8/70,2	

*1 Обработка за два рабочих цикла.

*2 В числителе — для передаточного числа от 1:1 до 1:2, в знаменателе — для передаточного числа 3:1 и более

Примечание. Колесо обрабатывают двусторонним способом, а шестерню — способом постоянных установок или односторонним.

12.15. Рекомендуемые значения времени обработки одного зуба при нарезании зубьев колеса методом врезания и копирования

Обрабатываемый материал, его твердость	Обработка	Модель станка	Время, с, обработки одного зуба при модуле, мм											
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
18ХГТ, НВ 160—212	Черновое нарезание, метод врезания	5С262Е, 606	5	6	7	8	9	—	—	—	—	—		
		5Б231, 608, ZFKK 500×10	—	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
18ХГТ, НВ 160—212	Чистовое нарезание, метод копирования	5С261 МП, 607	5	6	7	8	9	—	—	—	—	—		
		5Б232, 609, ZRKK 500×10	—	5	6	7	8	9	10	11	12	13		

12.16. Рекомендуемые значения толщины срезаемого слоя a одним одноименным резцом двусторонней головки или средним резцом трехсторонней головки и скорости резания при черновом нарезании зубьев методом врезания

Обрабатываемый материал, его твердость	Чистовые станки 5С26П, 527В, 116, 641, ZFTKK 500×10		Черновые станки 5С262, 5Б231, 606, 608, ZFKK 500×10			
	a для резцов двусторонней головки, мм	Скорость резания, м/мин	a , мм, для резцов головок		Скорость резания, м/мин	
			двусторонней	трехсторонней		
18ХГТ, НВ 160—190	0,075—0,09	35—45	0,13—0,20	0,18—0,30	42—50	
35ХНМ, НВ ≤ 228	0,06—0,075	35—40	0,10—0,13	0,15—0,18	36—42	
40ХНМ, НВ 217—269	0,05	27—35	0,075—0,15	0,10—0,15	30—36	

где h — полная высота зуба обрабатываемого колеса на внешнем торце; Δh — зазор, необходимый для деления заготовки, мм; a — толщина слоя, срезаемого (рис. 11.31) одним одноименным резцом двусторонней головки (табл. 12.16).

Число резцов, необходимое для нарезания одной стороны зуба,

$$K'_p = \frac{nK_p''}{60} = \frac{63 \cdot 12}{60} = 12,6.$$

Здесь n — частота вращения резцовой головки определяется из принятой скорости резания $v = 45$ м/мин:

$$n = \frac{1000v}{\pi d_0} = \frac{1000 \cdot 45}{3,14 \cdot 228,6} = 63 \text{ мин}^{-1};$$

K_p'' — число одноименных резцов в головке. При работе двусторонней головкой за одноименные резцы принимают внутренние или наружные резцы; трехсторонней — средние резцы.

Время обработки одного зуба колеса

$$t_z = \frac{K_p}{K'_p} E = \frac{164}{12,6} 1,3 = 17 \text{ с},$$

где E — КПД копира подачи, который представляет собой частное от деления полного оборота копира подачи (360°) на угол поворота копира, соответствующий участку подачи при резании (275°). Этот угол зависит от конструкции станка,

Чистовое нарезание зубьев шестерни методом обкатки. Длину L пути резания профиля зуба шестерни с некоторыми допущениями можно определить из рис. 11.29, в.

Длина криволинейного зуба шестерни вдоль угла наклона линии зуба

$$K = \frac{b}{\cos \psi} = \frac{42}{\cos 35^\circ} = 51,27 \text{ мм},$$

где b — длина зуба шестерни вдоль образующей делительного конуса, мм; ψ — угол наклона линии реза реза (рис. 11.29, в). Для конических колес с круговыми зубьями он равен среднему углу наклона линии зуба $\psi = \beta_m$, для гипонидных шестерен угол ψ постоянен и равен 28° .

Отрезок P определяют из треугольника ABC :

$$P = \frac{h}{\tan \psi} = \frac{11,33}{\tan 35^\circ} = \frac{11,33}{0,70021} = 16,78 \text{ мм}.$$

Длину пути резания L находят из треугольника ODC :

$$L = \left(\frac{b}{\cos \psi} + \frac{h}{\tan \psi} \right) \sin \psi = \left(\frac{42}{0,81915} + \frac{11,33}{0,70021} \right) 0,57358 = 38,7 \text{ мм}.$$

Необходимое число резцов при чистовой обработке профиля зуба шестерни

12.17. Рекомендуемая ширина M , мм, реза одного реза при чистовом нарезании конических и гипонидных колес с круговыми зубьями методом обкатки

Применение зубчатых колес	Твердость материала колеса HB	
	160—200	200—240
Легковые автомобили	0,15—0,20	0,10—0,15
Грузовые автомобили	0,25—0,30	0,20—0,25
Тракторы	0,30—0,35	0,25—0,30

$$K_p = \frac{L}{M} = \frac{38,7}{0,25} = 155,$$

где M — ширина реза реза (табл. 12.17). Для повышения качества поверхности ширину реза уменьшают.

Необходимое число оборотов чистой зуборезной головки для обработки одного зуба за полный цикл

$$n' = \frac{K_p}{K_p'} E = \frac{155}{16} 3,13 = 30,$$

где K_p' — число резцов односторонней головки, требуемое для окончательной обработки одной стороны зуба; E — КПД копира подачи, для станка 116 $E = 3,13$.

Расчетное время на обработку одного зуба

$$t_z = \frac{n' 60}{n} = 24 \text{ с},$$

где n — частота вращения зуборезной головки, мин^{-1} ; $n = 77 \text{ мин}^{-1}$ при $v = 55 \text{ м/мин}$ зуборезной головкой диаметром $9''$.

12.11. Расчет параметров инструмента и данных для наладки зуборезных станков

Расчет параметров инструмента для нарезания обкатных конических колес с круговыми зубьями и наладочных данных станков приведен в табл. 12.18. Зубья колеса нарезают двусторонним способом, а зубья шестерни — способом постоянных установок.

12.18. Расчет параметров инструмента и данных для наладки зуборезных станков
5A27C2, 5A27C3 производства СССР и 16 фирмы «Глисон»

№ поз.	Обозначение параметра	Значение параметра
1	z_1	14
2	z_2	43
3	b	42
4	α	20°
5	$\operatorname{tg} \alpha$	0,36397
6	d_{e1}	88,90
7	d_{e2}	273,05
8	δ_1	18°02'
9	$\sin \delta_1$	0,30957
10	$\cos \delta_1$	0,95088
11	δ_2	71°58'
12	$\sin \delta_2$	0,95088
13	$\cos \delta_2$	0,30957
14	R_e	143,577
15	P_{te}	19,95
16	h_{a1}	7,62
17	h_{a2}	3,18
18	h_{f1}	4,37
19	h_{f2}	8,81
20	Q_{f1}	1°45'
21	$\operatorname{tg} Q_{f1}$	0,03055
22	Q_{f2}	3°31'
23	$\operatorname{tg} Q_{f2}$	0,06145
24	δ_{f1}	16°17'
25	$\sin \delta_{f1}$	0,28039
26	$\cos \delta_{f1}$	0,95989
27	s_{te1}	12,61
28	β_m	35°
29	$\sin \beta_m$	0,57358
30	r_n (см. табл. 12.9)	152,4
31	Припуск под чистовое нарезание зубьев	0,8
32	$[(20) + (22)]$	316'
33	$N_0 = \frac{(32)}{20} (29)$	9,06256
34	N_Φ	9,5
35	$\sin \beta'_m = \frac{20 \times (34)}{(32)}$	0,60127

№ поз.	Обозначение параметра	Значение параметра
36	β'_m	36°58'
37	$\cos \beta'_m$	0,79898
38	$\operatorname{tg} \beta'_m$	0,75264
39	$R_m = (14) - 0,5 \times (3)$	122,577
40	$R_i = (14) - (3)$	101,577
41	$V_0 = (30) \times (37)$	121,76455
42	$H_0 = (39) - (30) \times (35)$	30,94345
43	$(39) \times [2 \times (30) \times (35) - (39)]$	7439,20990
44	$\sin \beta_e = \frac{1}{2 \times (30)} \times \left[(14) + \frac{(43)}{(14)} \right]$	0,64104
45	$\cos \beta_e$	0,76751
46	$\sin \beta_i = \frac{1}{2 \times (30)} \times \left[(40) + \frac{(43)}{(40)} \right]$	0,57353
47	$\cos \beta_i$	0,81918
48	$W'_2 = \frac{(39)}{(14)} \times \left[(27) \times (37) - 2 \times (19) \times (5) \right]$	3,12637
49	W_2	3,13
50	$W_{2 \text{ чеп}} = (49) - (31)$	2,33
51	$\frac{(40)}{(14)} \times \{ (15) \times (47) - 2 \times [(18) + (19)] \times (5) \}$	4,77431
52	$W'_{1 \text{ чеп}} = (51) - [(49) + (31)]$	0,84431
53	$W_{1 \text{ чеп}}$	0,85
54	$\bar{s}_{e1} = (49) + 1,96 \times (19) \times (5)$	9,41489
55	$s_1 = \frac{(54)}{0,98 \times (45)}$	12,51714
56	$s_2 = (15) - (55)$	7,43286
57	$R_{H1} = (14) - 0,5 \times (44) \times (45) \times (55)$	140,49775
58	$R_{H2} = (14) - 0,5 \times (44) \times (45) \times (56)$	141,74850
59	$\bar{s}_{e2} = \frac{(58)}{(14)} \times (56) \times (45)$	5,63214
60	$0,25 \times (45)^4$	0,08675
61	$\frac{(60) \times (55)^2 \times (10)}{(6)}$	0,14538
62	$\frac{(60) \times (56)^2 \times (13)}{(7)}$	0,00543
63	$\bar{h}_{a1} = \frac{(57)}{(14)} \times \left[(16) + (61) \right]$	7,59884

Продолжение табл. 12.18

№ поз.	Обозначение параметра	Значение параметра
64	$\bar{h}_{a2} = \frac{(58)}{(14)} \times [(17) + (62)]$	3,14486
65	$(21) + (23)$	0,092
66	$\frac{\Delta R}{R_m} = \frac{(42) \times (5)}{(41) \times (37)} \times (65)$	—0,01065
67	$\frac{(30)}{(39)} \times (35) \times (66)$	—0,00796
68	$(39) \times (5) \times (65)$	4,10452
69	$(68) + 0,5 \times (49)$	5,66952
70	$\Delta r_1 = 0,064 \times \left[\frac{(41)}{F \times (3)} \right]^2$	2,15171
71	$\Delta r_2 = (30) \times (67)$	—1,21310
72	$(70) + (71)$	0,93861
73	$\Delta r_3 = (72) - (69)$	—4,73091
74	Δr_3	—4,73
75	$(74) - (73)$	0,00091
76	$(75) + (72)$	0,93952
77	$(30) \times (5) \times \frac{20 \times (34)}{3440}$	3,06370
78	$\Delta U = (76) - (77)$	—2,12418
79	$\Delta V = (78) \times (37)$	—1,69718
80	$-(78) \times (35)$	1,27721
81	$-(30) \times (5) \times (65)$	—5,10315
82	$\Delta R = (39) \times (66)$	—1,30545
83	$\Delta H = (80) + (81) + (82)$	—5,13139
84	$\Delta X_p = \frac{(82)}{(26)}$	—1,36000
85	$\Delta X_b = -(84) \times (25)$	0,38133
86	$U_0 = \sqrt{(41)^2 + (42)^2}$	125,63480
87	$q = \arctg \frac{(41)}{(42)}$	3,93507
88	q — правый наклон зуба $Q = 360^\circ - q$, левый наклон зуба	75°44' 284°16'

Продолжение табл. 12.18

№ поз.	Формула для расчета	Значение параметра для сторон зуба шестерни	
		вогнутой	выпуклой
89	$i = \frac{z_0}{75} = \sqrt{\frac{(1)^2 + (2)^2}{75}}$	0,60296	
90	Шестерни обкатки с $i = (89)$ по таблице сменных шестерен	$\frac{54}{75} \times \frac{67}{80}$	
91	$(89) \pm (66) \times (89)$	0,59654	0,60938
92	Шестерни обкатки с $i = (91)$ по таблице сменных шестерен	$\frac{54}{60} \times \frac{57}{86}$	$\frac{56}{68} \times \frac{74}{100}$
93	$H = (42) \pm (83)$	25,81206	36,07484
94	$V = (41) \pm (79)$	120,06737	123,46173
95	$U = \sqrt{(93)^2 \pm (94)^2}$	122,81057	128,62423
96	$d_{u1} = 2 \times (30) \pm 2 \times (74)$	295,34	314,26
97	$X_p = \pm (84)$	-1,36	+1,36
98	$\Delta X_B = \pm (85)$	+0,381	-0,381
99	$\psi_{пр1}$	20°	
100	$\psi_{пр2}$	30°	
101	$\psi_{1чер} = (99) \times \frac{75}{(1)} \times (89)$ — черновое нарезание шестерни	64°36'	
102	$\psi_2 = (100) \times \frac{75}{(2)} \times (89)$ — черновое и чистовое нарезание колеса	31°33'	
103	$\psi_1 = (99) \times \frac{75}{(1)} \times (91)$ — чистовое нарезание шестерни	63°55'	65°17'

Примечания: 1. В круглых скобках указан номер позиции в таблице.

2. Если указаны знаки «±», то верхний индекс относится к вогнутой, а нижний — к выпуклой стороне зуба шестерни.

Пояснения к табл. 12.18

Поз. 1—29. Исходные параметры конической передачи определяются из чертежа или геометрического расчета передачи.

Поз. 30. Нормальный радиус зуборезной головки r_k определяют в зависимости от длины внешнего конусного расстояния R_n , ширины зубчатого венца b и внешней высоты зуба h_e по табл. 12.9.

Для конических зубчатых передач, работающих в нежестких узлах и передающих большие нагрузки, рекомендуется принимать меньший радиус зуборезной головки, значение которого определяют по формуле

$$r_k = 0,5 \left[\sqrt{2R_n^2 - R_m^2 (2 - \sin^2 \beta_m)} + R_m \sin \beta_m \right],$$

где R_n — конусное расстояние, соответствующее центру пятна контакта, $R_n = (0,9...1,1)R_e$, мм; R_m , R_e — соответственно среднее и внешнее конусное расстояние, мм.

Поз. 52. Расчетный развод резцов для черного нарезания зубьев шестерни $W_{1\text{чер}}$. Так как приведенный расчет применяется для нарезания зубьев шестерни способом постоянных установок, при котором чистовое нарезание обеих сторон зубьев шестерни производят раздельно односторонними зуборезными головками, то расчет развода чистовых зуборезных головок не производится.

Поз. 53. Принятый черновой развод резцов головки для черного нарезания $W_{1\text{чер}}$, определяют из расчетного путем округления до ближайшего стандартного значения, но не более чем на 0,25 мм.

Ширину вершины резцов для чистового нарезания зубьев шестерни выбирают в зависимости от номинального диаметра зуборезной головки:

Номинальный диаметр, "	3,5—6	7,5—9	12	18	18
Ширина вершины чистового резца, мм	0,75	1,5	2,0	$m_{te} < 10$ мм 2,0	$m_{te} > 10$ мм 3,15

Если развод резцов резцовой головки для черного нарезания шестерни окажется меньше значения, указанного выше, то ширину вершины чистового резца уменьшают до значений развода черновых резцов. Чем больше ширина вершины резца, тем больше радиус его закругления на вершине. С увеличением радиуса закругления вершины резца повышается прочность зубьев на изгиб колеса и стойкость резца. При определении максимально возможного радиуса закругления вершины резца необходимо учитывать, чтобы на вершине резца осталась прямолинейная площадка шириной не менее 0,4 мм, которая необходима для установки калибра при контроле радиуса закругления. Ширину вершины чистовых резцов при нарезании вогнутой стороны зубьев шестерни, которую, как правило, нарезают после чистовой обработки выпуклой стороны, можно увеличить на величину снимаемого припуска I (рис. 12.17, б).

Поз. 54, 59. Толщину зубьев по хорде у шестерни \bar{s}_{e1} и у колеса \bar{s}_{e2} рассчитывают в нормальном сечении на внешнем торце. Эти параметры необходимы для измерения зуба штангензубомером.

Поз. 63, 64. Высота зубьев до хорды у шестерни \bar{h}_{a1} и у колеса \bar{h}_{a2} , необходима для измерения штангензубомером.

Поз. 70. Изменение радиуса кривизны зубьев Δr_1 необходимо для получения требуемой длины пятна контакта. Принимают отношение длины пятна контакта к длине зуба $F = 0,4 \dots 0,5$.

Поз. 86. Радиальная установка зуборезной головки U_0 при черновом и чистовом нарезании зубьев колеса, а также при черновом нарезании зубьев шестерни.

Поз. 88. При нарезании конических колес с правым наклоном линии зуба центр зуборезной головки устанавливают выше центра станка, угол люльки q равен расчетному значению. Конические колеса с левым наклоном линии зуба нарезают при расположении центра зуборезной головки ниже центра станка, угол люльки Q определяют по формуле $Q = 360^\circ - q$. Если Q имеет отрицательное значение, то его вычитают из 360° . Если $Q > 360^\circ$, то из него вычитают 360° и полученное значение устанавливают на станке.

Поз. 89. Передаточное отношение сменных шестерен обкатки i для черного и чистового нарезания зубьев колеса, а также для черного нарезания зубьев шестерни.

Поз. 91. Для устранения диагонального расположения пятна контакта чистовое нарезание вогнутой и выпуклой сторон зубьев шестерни производят со сменными шестернями обкатки, передаточное отношение которых определяют соответственно по формулам

$$i_{\text{вог}} = i + \frac{\Delta R}{R_m} i; \quad i_{\text{вып}} = i - \frac{\Delta R}{R_m} i,$$

где ΔR — изменение конусного расстояния.

Поз. 95. Радиальная установка U при чистовом нарезании вогнутой и выпуклой сторон зубьев шестерни.

Поз. 96. Образующие диаметры чистовых односторонних зуборезных головок для нарезания выпуклой и вогнутой сторон зубьев шестерни.

Поз. 97. Поправка ΔX_p на продольную установку бабки заготовки при черновом и чистовом нарезании зубьев колеса и черновом нарезании зубьев шестерни. Продольную установку M заготовки (рис. 12.17, в) определяют по формуле $M = A + B$, где A — базовое расстояние, мм; B — вылет зажимного приспособления, мм.

При чистовом нарезании вогнутой и выпуклой сторон зубьев шестерни продольную установку бабки заготовки выполняют с учетом поправки ΔX_p :

$$M_{\text{вог}} = A_1 + \Delta X_p + B;$$

$$M_{\text{вып}} = A_2 + \Delta X_p + B.$$

Поз. 98. Поправка на положение стола ΔX_B , необходима для достижения требуемой глубины резания. При черновом нарезании колеса и шестерни впадины зубьев нарезаются глубже на 0,1—0,25 мм в зависимости от модуля. При чистовом нарезании зубьев шестерни вводят поправку на положение стола ΔX_B . При знаке «+» стол отводят назад, при знаке «—» — подводят вперед.

Поз. 99, 100. Угол проверки качания люльки при нарезании зубьев шестерни $\psi_{\text{пр1}}$ и колеса $\psi_{\text{пр2}}$, необходим для контроля правильности набора сменных шестерен гитар деления и обкатки. Проверочный угол для колеса составляет 30° , для шестерни при $\psi_1 < 120^\circ$ равен 20° , и при $\psi_1 > 120^\circ$ равен 16° .

Поз. 101, 102, 103. Проверочный угол шпинделя заготовки при черновом и чистовом нарезании шестерни $\psi_{\text{чер}}$, ψ_1 и колеса ψ_2 . Если сменные шестерни гитар деления и обкатки набраны и установлены правильно, то за время поворота люльки станка на угол $\psi_{\text{пр}}$ шпиндель бабки заготовки должен повернуться на рассчитанный проверочный угол.

Так как основные узлы зуборезных станков по конструкции значительно различаются, то при использовании зуборезных станков 5С280П, 5С273, 5С27П производства СССР, 116 фирмы «Глисон», ZFKK 500 × 10, ZFTKK 500 × 10 и ZFTKKR 500 × 10 фирмы «Модуль» необходимо сделать перевод наладок с основного расчета, выполненного для станков 5А27С2, 5А27С3 производства СССР и 16 фирмы «Глисон» (табл. 12.19). Перевод наладок на указанные станки выполняют по табл. 12.20, в которой указаны только те установки, которые отличаются от установок зуборезных станков 5А27С2, 5А27С3 и мод. 16 фирмы «Глисон».

Обработку пробных заготовок выполняют после завершения наладки станка в соответствии с картой наладки (см. табл. 12.19). Обработку первых пробных деталей производят с использованием специальных заготовок шестерни и колеса, у которых отсутствует фаска или закругление на вершине зуба со стороны внешнего торца; диаметры посадочных шеек и отверстия, внешний диаметр, угол конуса выступов и размер С (см. рис. 11.10) у заготовок должны строго соответствовать допускам.

Первым из пары нарезают зубчатое колесо на расчетных установках станка. Сначала осуществляют черновое нарезание зубьев и контролируют высоту зуба и припуск под чистовое зубонарезание.

После чистового нарезания зубьев колеса проверяют качество боковой поверхности зубьев, а также соответствие высоты и толщины зуба на внешнем торце или в середине зубчатого венца данным карты наладки и чертежа. Если имеются отклонения параметров зубьев, следует проверить наладку станка и правильность сборки резцовой головки. У шестерни с предварительно нарезанными зубьями штангенциркулем или штангензубомером проверяют высоту зубьев. При этом измерительную ножку следует располагать перпендикулярно оси шестерни.

При чистовой обработке зубьев шестерни способом постоянных установок каждую сторону зубьев — выпуклую и вогнутую — нарезают отдельно на различных установках станка. После чистового нарезания выпуклой и вогнутой сторон зубьев контролируют высоту зуба, толщину зуба по хорде и значение снимаемого припуска. За счет развода резцов черновой резцовой головки можно изменять снимаемый припуск. При обработке пробных заготовок припуск на обе стороны зуба распределяют путем разъединения кинематической цепи станка и поворота заготовки на необходимый угол. Приспособление для распределения припуска

12.19. Карта наладки зуборезных станков 5А27С2, 5А27С3 и 16 фирмы «Глисон» и характеристики зуборезных головок

Параметр	Колесо		Шестерня		
	Черновое нарезание	Чистовое нарезание	Черновое нарезание	Чистовое нарезание стороны	
				вогнутой	выпуклой
Число зубьев	(2)		(1)		
Направление линии зуба	Правое или левое		Левое или правое		
Внешняя высота зуба, мм	(17) + + (19) + + 0,25 (64) (59) + (31)	(17) + (19) (64) (59)	(16) + + (18) + + 0,25 (63) (54) + (31)	(16) + (18) (63) (54)	
Высота зуба до хорды, мм	По чертежу зубчатого колеса				
Толщина зуба до хорды, мм	$A_2 + B$ (рис. 1218, в)		$A_1 + B$		
Угол конуса впадин, °	Вперед 0,1—0,25		Вперед 0,1—0,25		
Продольная установка, мм	0		(98)		
Положение стола, мм	(86) (88) (100) (102)		(95) (88) (99) (103)		
Радиальная установка, мм	Без обкатки		(90)		
Угол люльки, °	(90)		(92)		
Проверочный угол люльки, °	30/z ₂		30/z ₁		
Проверочный угол шпинделя изделия, °	—		Постоянных установок		
Шестерни обкатки	Двусторонний		—		
Шестерни деления	Наружных резцов		Внутренних резцов		
Способ чистового нарезания зубьев	(50) (49)		(53)		
Развод резцов, мм	10(34) (4) — 60		10(34) (4) + 60		
Угол профиля резцов, °	Образующие диаметры, мм, резцов:		Образующие диаметры, мм, резцов:		
Образующие диаметры, мм, резцов:	наружных		наружных		
наружных	2(30) + (50)		2(30) + (53)		
внутренних	2(30) — (50)		2(30) — (53)		
внутренних	(96)		(96)		

Примечание. В круглых скобках указан номер позиции по табл. 12.19.

устанавливают и настраивают только после получения необходимого пятна контакта и требуемых размеров зубьев.

Для выявления формы и расположения пятна контакта, а также бокового зазора шестерню в паре с нарезанным колесом устанавливают на контрольно-обкатном станке на заданные базовые расстояния. При обкатке пары на станке под легкой нагрузкой в обоих направлениях на предварительно покрытых тонким слоем краски (обычно сурик, разведенный в масле) боковых поверхностях зубьев отпечатывается пятно контакта. Боковой зазор между зубьями пары измеряют после остановки станка на четырех зубьях, расположенных на одинаковом расстоянии по окружности, измерительный наконечник индикатора устанавливают на внешнем торце перпендикулярно поверхности зуба. Измерение производят, неподвижно закрепив один элемент передачи (обычно шестерню) и покачивая другой (колесо).

12.20. Наладочные параметры зуборезных станков

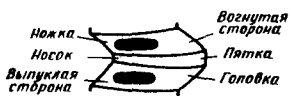





Параметр	Колесо		Шестерня	
	Черновое нарезание	Чистовое нарезание	Черновое нарезание	Чистовое нарезание стороны
				вогнутой
Зуборезный станок 5С280П; С=360 (постоянная станка)				
Угол эксцентрика (вместо радиальной установки) $\beta = 2 \arcsin \frac{U}{C}$	$\frac{(86)}{C}$		$\frac{(86)}{C}$	$\frac{(95)}{C}$
Угол люльки $q = (88)$	Правый наклон зуба $q_2 = \beta/2 - q$		Левый наклон зуба $Q_1 = \beta/2 + q$	
Передаточное отношение шестерен обкатки $i_{об} = \frac{z_c}{K} = \frac{75}{36}; K=36$	$\frac{(89)75}{36}$		$\frac{(89)75}{36}$	$\frac{(91)75}{36}$
Передаточное отношение шестерен деления	$i_d = \frac{24}{z_2}$		$i_d = \frac{24}{z_1}$	
Зуборезные станки 5С273 и 5С27П; С=240				
Угол эксцентрика $\beta = 2 \arcsin \frac{U}{C}$	$\frac{(86)}{C}$		$\frac{(86)}{C}$	$\frac{(95)}{C}$
Угол люльки $q = (88)$	Правый наклон зуба $q_2 = 180^\circ + \beta/2 - q$		Левый наклон зуба $Q_1 = 180^\circ + \beta/2 + q$	
Передаточное отношение шестерен обкатки $i_{об} = \frac{z_c}{K} = \frac{i \cdot 75}{60}$	$\frac{(89)75}{60}$		$\frac{(89)75}{60}$	$\frac{(91)75}{60}$
Передаточное отношение шестерен деления	$i_d = \frac{24}{z_2}$		$i_d = \frac{24}{z_1}$	
Зуборезный станок 116 фирмы «Глисон»; С=222,25				
Угол эксцентрика $\beta = 2 \arcsin \frac{U}{C}$	$\frac{(86)}{C}$		$\frac{(86)}{C}$	$\frac{(95)}{C}$
Угол люльки $q = (88)$	Правый наклон зуба $q_2 = 90^\circ - q - \beta/2$		Левый наклон зуба $Q_1 = 90^\circ + q - \beta/2$	
Передаточное отношение шестерен обкатки $i_{об} = \frac{z_c}{K} = \frac{75i}{50}$	Без обкатки	1,5(89)	1,5(89)	1,5(91)

Продолжение табл. 12.20

Параметр	Колесо		Шестерня		
	Черновое нарезание	Чистовое нарезание	Черновое нарезание	Чистовое нарезание стороны	
				вогнутой	выпуклой
Передаточное отношение шестерен деления	$i_d = \frac{22,5}{z_2}$		$i_d = \frac{22,5}{z_1}$		
Зуборезные станки фирмы «Модуль» (ГДР); C=200					
Радиальная установка U	—	(86) ZFTKK 500×10	—	(86) ZFTKK 500×10	
Угол эксцентрика $\beta = 2 \arccos \frac{U}{C}$	$\frac{(86)}{C}$ ZFKK 500×10	—	$\frac{(86)}{C}$ ZFTKKR 500×10	—	—
Угол люльки $q = (88)$ $q < \beta/2$	Правый наклон зуба $q_2 = 360^\circ -$ $-\beta/2 + q$	(88)	Левый наклон зуба $Q_1 = 360^\circ -$ $-\beta/2 - q$	(88)	
$q = \beta/2$ $q > \beta/2$	$q_2 = 0$ $q_2 = q - \beta/2$	(89) · 1/3	$Q_1 = 360^\circ - \beta$ $Q_1 = 360^\circ - q - \beta/2$	(91) · 1/3	
Передаточное отношение шестерен обкатки $i_{об} = \frac{K}{z_c} = \frac{25}{i \cdot 75}; K = 25$	Без обкат- ки		(89) · 1/3		
Передаточное отношение шестерен деления	$i_d = \frac{32}{z_2}$	$i_d = \frac{16}{z_2}$	$i_d = \frac{16}{z_1}$		









Правильные форма и расположение пятна контакта показаны в табл. 12.21. При проверке на контрольно-обкатном станке пятно контакта должно быть смещено ближе к носку и не должно концентрироваться на головке и ножке зуба. При необходимости во время нарезания зубьев шестерни можно учесть изменения формы и расположения пятна контакта, которые появляются при термообработке. Длина пятна контакта должна соответствовать техническим условиям эксплуатации. Обычно для тяжело нагруженных передач длину пятна контакта рекомендуют выбирать приблизительно равной половине длины зуба колеса, чтобы избежать выхода пятна контакта на кромку пятки зуба под полной нагрузкой в собранном редукторе. У легко нагруженных передач пятно контакта, как правило, составляет 3/4 длины зуба колеса. Если при обработке пробных заготовок получено требуемое пятно контакта, то иногда требуется незначительно изменить размеры зубьев (обычно у шестерни) с целью получения необходимого бокового

12.21. Способы исправления пятна контакта гипоидных и конических колес с круговыми зубьями

Положение пятна контакта на зубьях шестерен	Сторона зуба	
	вогнутан	выпуклая
<i>Правильное положение пятна контакта</i>		
<p>Пятно контакта под легкой нагрузкой на контрольно-обкатном станке</p> 		
<p>Пятно контакта под полной нагрузкой в собранном редукторе</p> 		
<i>Исправления третьего порядка</i>		
<p>Пятно контакта широкое на ножке и узкое на головке*¹</p> 	Уменьшить угол профиля наружных резцов	Уменьшить угол профиля внутренних резцов
<p>Пятно контакта широкое на головке и узкое на ножке*¹</p> 	Увеличить угол профиля наружных резцов	Увеличить угол профиля внутренних резцов
<i>Исправления второго порядка</i>		
<p>Пятно контакта имеет диагональность с перекосом внутрь*¹</p> 	Увеличить (уменьшить) проверочный угол поворота заготовки в 1 мин. Увеличить (уменьшить) продольную установку. Положение стола — назад (вперед). Увеличить (уменьшить) радиальную установку или угол эксцентрика. Увеличить (уменьшить) угол поворота шпинделя инструмента или угол люльки. Увеличить (уменьшить) передаточное отношение обкатки* ²	
<p>Пятно контакта имеет диагональность с перекосом наружу*¹</p> 	Уменьшить (увеличить) проверочный угол поворота заготовки. Уменьшить (увеличить) продольную установку. Положение стола — вперед (назад). Уменьшить (увеличить) радиальную установку или угол эксцентрика. Уменьшить (увеличить) угол поворота шпинделя инструмента или угол люльки. Уменьшить (увеличить) передаточное отношение обкатки* ²	

Продолжение табл. 12.21

ГОСТ 13785-81

Положение пятна контакта на зубьях шестерен	Сторона зуба	
	вогнутая	выпуклая
Пятно контакта узкое* ¹ 	Увеличить (уменьшить) гипондное смещение заготовки. Увеличить (уменьшить) проверочный угол поворота заготовки. Увеличить (уменьшить) радиальную установку или угол эксцентрика. Уменьшить (увеличить) угол поворота шпинделя инструмента или угол люльки. Увеличить (уменьшить) передаточное отношение обкатки* ²	
Пятно контакта широкое* ¹ 	Уменьшить (увеличить) гипондное смещение заготовки. Уменьшить (увеличить) проверочный угол поворота заготовки. Уменьшить (увеличить) радиальную установку или угол эксцентрика. Увеличить (уменьшить) угол поворота шпинделя инструмента или угол люльки. Уменьшить (увеличить) передаточное отношение обкатки* ²	
Пятно контакта короткое* ¹ 	Уменьшить (увеличить) диаметр зуборезной головки. Уменьшить (увеличить) радиальную установку или угол эксцентрика. Увеличить (уменьшить) угол поворота шпинделя инструмента или угол люльки. Положение стола — назад (вперед)* ²	
Пятно контакта длинное* ¹ 	Увеличить (уменьшить) диаметр зуборезной головки. Увеличить (уменьшить) радиальную установку или угол эксцентрика. Уменьшить (увеличить) угол поворота шпинделя инструмента или угол люльки. Положение стола — вперед (назад)* ²	
Исправления первого порядка		
Пятно контакта на носке* ¹ 	Уменьшить (увеличить) радиальную установку или угол эксцентрика. Увеличить (уменьшить) угол поворота шпинделя инструмента или угол люльки	
Пятно контакта на пятке* ¹ 	Увеличить (уменьшить) радиальную установку или угол эксцентрика. Уменьшить (увеличить) угол поворота шпинделя инструмента или угол люльки* ²	
Пятно контакта на ножке 	Увеличить продольную установку или уменьшить передаточное отношение обкатки	
Пятно контакта на головке 	Уменьшить продольную установку или увеличить передаточное отношение обкатки	

*¹ При исправлении пятна контакта на шестерне с правым наклоном линии зуба действительны указанные рекомендации.

*² Действия, указанные без скобок, относятся к вогнутой стороне зуба шестерни, а действия, указанные в скобках, — к выпуклой стороне зуба шестерни.

завора. После того как будут получены размеры, близкие к чертежным, необходимо проверить баланс прочности путем сравнения ширины ленточек на вершинах зубьев шестерни и колеса. При равном балансе прочности зубьев шестерни и колеса ленточки на вершинах их зубьев приблизительно равны по ширине.

Необходимо также проверить наличие радиального зазора между вершиной зуба колеса и дном впадины зуба шестерни, а также вершиной зуба шестерни и дном впадины зуба колеса. Этот контроль обычно производят, используя шестерню с уменьшенной толщиной зубьев при осевом перемещении ведомой бабки контрольно-обкатного станка.

Если первые пробные детали имеют отклонения формы и расположения пятна контакта, следует внести изменения в наладку станка и режущий инструмент согласно табл. 12.21 и повторно нарезать зубья шестерни. На каждой заготовке шестерни можно производить несколько опытных нарезаний, независимо от толщины зуба. В некоторых случаях повторно может быть нарезано зубчатое колесо.

При доводке пятна контакта следует изменять наладки станка, полученные с помощью контрольно-обкатного станка или расчета. Не следует производить изменения, основанные исключительно на догадке. Когда осуществляется новое нарезание с измененными наладками, следует придерживаться наладок станка для предыдущего нарезания, которые должны быть тщательно зафиксированы. Если ожидаемый эффект не достигнут, следует проверить правильность наладки станка и выполненных вычислений.

В зависимости от сложности доводки пятна контакта различают исправления первого, второго и третьего порядка. Наиболее сложными являются исправления пятна контакта третьего порядка, которые производят при многогранном пятне контакта — коротком на головке зуба и длинном на ножке или наоборот (см. табл. 12.21). При доводке пятна контакта исправления третьего порядка обычно осуществляют первыми. Для исправления многогранного пятна контакта необходимо изменить угол профиля резца. В качестве первоначального значения целесообразно принять изменения угла на $2-4^\circ$.

Исправления второго порядка более распространены и менее сложны, чем исправления третьего порядка, их производят при наличии диагонального, узкого, широкого, длинного и короткого пятен контактов после того, как выполнены исправления третьего порядка.

Наличие диагонального пятна контакта можно установить визуально после обкатки пары на контрольно-обкатном станке или с помощью контроля методом $V-H$. Контроль методом $V-H$ предусматривает перемещение пятна контакта гипоидной и конической зубчатой передач, установленной на теоретических базовых расстояниях, из центрального положения на носок, а затем на пятку зуба с помощью вертикальных V и горизонтальных H смещений бабок контрольно-обкатного станка. Чтобы поддерживать пятно контакта в середине высоты профиля зуба, его перемещения из центрального положения к носку и пятке зуба производят с помощью комбинированного (вертикального и горизонтального) смещения бабок станка.

Диагональное пятно контакта возникает вследствие несовпадения на контактирующих поверхностях зубьев угла наклона линии зуба и угла профиля. Различают диагональность пятна контакта с перекосом внутрь и наружу. Независимо от направления линии зуба при диагональности с перекосом внутрь пятно контакта проходит от головки зуба на носке к ножке на пятке на вогнутой стороне и от ножки зуба на носке к головке на пятке на выпуклой стороне (табл. 12.22). При диагональности с перекосом наружу пятно контакта располагается от ножки

зуба на носке к головке на пятке на вогнутой стороне, а на выпуклой стороне зуба — от головки на носке к ножке зуба на пятке.

В табл. 12.22, 12.23 приведены отношения суммы абсолютных значений вертикальных и горизонтальных смещений бабок контрольно-обкатного станка при перемещении пятна контакта ортогональных гипоидных и конических передач из центрального положения на носок и пятку. Когда отношения суммы величин V к H выше рекомендуемых, то имеет место диагональность пятна контакта с перекосом внутрь. Если это отношение ниже рекомендуемых значений, то пятно контакта имеет диагональность с перекосом наружу. Характерным для пятна контакта зубьев конических передач является увеличение отношения V к H по мере уменьшения угла наклона линий зуба.

12.22. Рекомендуемые отношения суммарных величин V и H для ортогональных конических зубчатых передач

Переда- точное число	Отноше- ние суммарных величин	Угол наклона линий зуба, °							
		5	10	15	20	25	30	35	40
1 : 1	V/H	8,0/1	4,0/1	2,6/1	2,0/1	1,5/1	1,2/1	1,0/1	0,8/1
2 : 1	V/H	10,2/1	5,0/1	3,2/1	2,5/1	1,9/1	1,5/1	1,3/1	1,1/1
3 : 1	V/H	10,8/1	5,4/1	3,5/1	2,6/1	2,0/1	1,6/1	1,4/1	1,1/1
4 : 1	V/H	11,1/1	5,5/1	3,6/1	2,7/1	2,1/1	1,7/1	1,4/1	1,2/1
5 : 1	V/H	11,2/1	5,6/1	3,7/1	2,7/1	2,1/1	1,7/1	1,4/1	1,2/1

12.23. Рекомендуемые отношения суммарных величин V и H для ортогональных гипоидных передач

Переда- точное число	Отношение суммар- ных величин	$E/d_2 < 0,1; r_H/d_2 > 0,42$ $E/d_2 > 0,1; r_H/d_2 < 0,42$			
		при угле наклона линии зуба, °			
		40	50	40	50
1 : 1	V/H	0,7/1	0,4/1	0,6/1	0,5/1
2 : 1	V/H	1,1/1	0,7/1	0,9/1	0,7/1
3 : 1	V/H	1,1/1	0,8/1	1,1/1	0,8/1
4 : 1	V/H	1,1/1	0,8/1	1,2/1	0,8/1

Обозначения: E — гипоидное смещение; r_H — номинальный радиус зуборезной головки; d_2 — диаметр делительной окружности колеса.

Исправление диагональности пятна контакта осуществляют путем одновременного изменения нескольких установок зуборезного станка, которые определяют из расчетного листа. У конических и гипоидных передач перед термообработкой нередко выполняют диагональное пятно контакта с перекосом наружу, так как после термообработки оно, как правило, исправляется. У окончательно обработанных зубчатых передач, особенно легковых автомобилей, допускается диагональное пятно контакта с перекосом внутрь, которое обеспечивает плавное зацепление зубьев.

Широкое пятно контакта характеризуется темным отпечатком на головке и ножке зуба и светлым отпечатком в середине зуба (см. табл. 12.22). Узкое пятно

контакта имеет темный отпечаток вдоль линии делительного конуса, который не распространяется далеко к вершине или ножке зуба. Ширина пятна контакта может быть также определена путем перемещения за счет горизонтальной установки контрольно-обкатного станка на головку и ножку зуба. Узкое пятно контакта выдерживает горизонтальное перемещение бабки станка на большее расстояние до выхода на кромку зуба, а широкое пятно — на меньшее расстояние.

Наиболее часто узкое и широкое пятна контакта исправляют изменением нескольких установок зуборезного станка в соответствии с расчетным листом. Если нет расчета, то исправить ширину пятна контакта можно путем изменения угла конуса впадин. В качестве первоначальной величины целесообразно принять уменьшение или увеличение угла конуса впадин на $1-2^\circ$. Придаaniem диагональности пятну контакта можно изменить его ширину. Диагональность с перекосом наружу расширяет пятно контакта и делает его короче. Диагональность с перекосом внутрь сужает пятно контакта и удлиняет его. Длину пятна контакта можно определить визуально или проверкой $V-H$ на контрольно-обкатном станке (см. табл. 12.22). Если суммарное значение вертикального перемещения бабки станка при смещении пятна контакта на носок и пятку небольшое, то пятно контакта длинное, если же это значение большое, то пятно контакта короткое.

При нарезании вогнутой стороны зуба наружными резцами увеличение диаметра зуборезной головки укорачивает пятно контакта, а уменьшение диаметра — удлиняет. При нарезании выпуклой стороны зуба внутренними резцами увеличение диаметра головки удлиняет пятно контакта, а уменьшение диаметра — укорачивает. Одновременно с диаметром зуборезной головки необходимо изменить также другие установки станка. Исправления, которые необходимы для перемещения пятна контакта с носка, пятки, ножки и головки зуба в правильное положение, наиболее простые. Их называют исправлениями первого порядка. Для исправлений первого порядка не нужен расчетный лист. Когда пятно контакта расположено на носке, пятке, головке или ножке зуба, то на контрольно-обкатном станке путем вертикальных и горизонтальных перемещений бабок станка смещают пятно контакта в правильное положение. Затем наладочные параметры контрольно-обкатного станка, полученные при смещении пятна контакта, полностью или уменьшенными на 25 % учитывают при нарезании зубьев на зуборезном станке.

Пятно контакта, расположенное на ножке или головке зуба, исправляют изменением продольной установки зуборезного станка в том случае, если ее значение не превышает 0,5 мм. Когда изменение продольной установки станка больше 0,5 мм, то целесообразно исправлять пятно контакта изменением передаточного отношения сменных шестерен гитары обкатки.

Погрешности конических и гипоидных зубчатых колес приведены в табл. 12.24.

12.12. Нарезание зубьев методом фирмы «Эрликон» (Швейцария)

Нарезание зубьев производят методом непрерывного деления при сочетании вращательных движений режущего инструмента и заготовки. Соотношение угловых скоростей режущего инструмента и заготовки соответствует отношению числа групп резцов зуборезной головки к числу зубьев обрабатываемого колеса. Метод непрерывного деления характеризуется отсутствием потерь времени на деление заготовки и высокой точностью деления. Высота зубьев конических передач постоянна по всей ширине зубчатого венца.

12.24. Погрешности конических и гипоидных зубчатых колес

Погрешность	Причины	Способ устранения
Увеличен или уменьшен боковой зазор	Неправильно настроено приспособление для разделения припуска. Неточно установлена заготовка	Настроить вновь приспособление для разделения припуска. Проверить прилегание базовых поверхностей заготовки
Увеличенный параметр шероховатости на поверхностях зубьев	Резцы в головке имеют повышенный износ. Увеличено радиальное биение резцов в головке. Зуборезная головка неправильно установлена или плохо закреплена на шпинделе станка	Заточить зуборезную головку и проверить радиальное биение резцов. Проверить, нет ли грязи, стружки и заборки на базовых поверхностях резцов и корпуса головки
Повышенное биение зубчатого венца или большие погрешности окружных шагов	Неточно выполнены базовые поверхности заготовки. Повышенное биение зажимного приспособления. Неправильно установлена и закреплена заготовка зубчатого колеса в приспособлении	Произвести контроль точности базовых поверхностей заготовок. Устранить биение установочных поверхностей зажимного приспособления. Проверить правильность установки и закрепления заготовок в приспособлении
Ленточка на вершине зуба очень узкая или очень широкая	У заготовок неточно выдержан размер C (см. рис. 11.10)	Проверить точность изготовления заготовок

Продольная кривизна зубьев, обусловленная непрерывным вращением зуборезной головки и заготовки обрабатываемого колеса, представляет собой удлиненную эпициклоиду. Она образуется как траектория точки катящейся окружности с радиусом E_b при перекатывании последней без скольжения по основной неподвижной окружности радиуса E_v (рис. 12.18, а). Теоретическая траектория движения, описываемая зуборезными головками в процессе нарезания зубьев методом непрерывного деления, приведена на рис. 12.18, б. Для образования продольной кривизны зубьев используют главным образом часть удлиненной эпициклоиды 1, которая обеспечивает углы наклона линии зуба у зубчатых колес $0-60^\circ$. Чем дальше расположена удлиненная эпициклоида от основной окружности, тем больше угол наклона линии зуба.

Сопряженные поверхности равновысоких зубьев образуются путем обкатки шестерни и колеса в беззазорном зацеплении с зубьями воображаемого производящего колеса, роль которых при зубонарезании выполняют резцы зуборезных головок. Боковые поверхности зубьев обкатных конических и гипоидных колес имеют октоидный профиль.

Зуборезные головки для нарезания зубьев методом непрерывного деления характеризуются групповой схемой расположения резцов в головке. Резцы в группе расположены по эвольвенте. Каждая группа состоит из резцов трех типов: внутреннего 1 (рис. 12.18, а), среднего 2 и наружного 3. Внутренний и наружный резцы предназначены для обработки соответственно выпуклой и вогнутой сторон зуба, а средний — для прорезания дна впадины зубьев. Порядок расположения резцов в головках: для нарезания зубьев шестерни — средний, наружный, внутренний резцы; для нарезания зубьев колеса — наружный, средний, внутренний резцы.

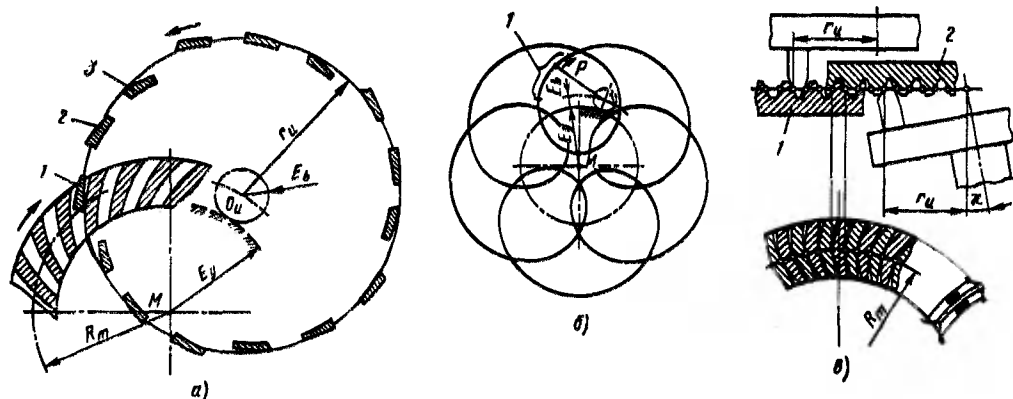


Рис. 12.18. Нарезание зубьев методом непрерывного деления:

а — схема; б — образование продольной кривизны зубьев; в — образование продольной боковой образности

Число групп резцов в головке может быть 3—13. Оно зависит от номинального радиуса зуборезной головки и числа зубьев обрабатываемого колеса. Чем больше номинальный радиус, тем больше групп резцов можно разместить в корпусе головки. Число групп резцов должно быть некратным числу зубьев обрабатываемого колеса. В этом случае точность изготовления режущего инструмента в меньшей степени влияет на точность нарезания зубьев.

Простота и высокая точность расчета геометрических параметров равновысоких зубьев конических колес с циклоидальной линией зубьев позволяют нарезать зубья шестерни и колеса за один установ из целой заготовки высокопроизводительным двусторонним способом. При этом боковые поверхности зубьев получаются точно сопряженными, а погрешности зацепления и возможные отклонения пятна контакта, свойственные коническим колесам с переменной высотой зубьев, отсутствуют.

На зуборезных станках фирмы «Эрликон» (Швейцария) (табл. 12.25) применяют различные методы: врезания, обкатки и комбинированный, включающие вре-

12.25. Основные технические характеристики зуборезных станков фирмы «Эрликон» для нарезания гипоидных и конических колес с циклоидальной линией зубьев

Характеристика	Станки				
	SKM1	SI7	SKM2	SM3	SI7
Наибольший диаметр колеса, мм	320	350	560	640	680
Наибольший нормальный модуль в середине венца, мм	7,5	8,5	8,5	13	13
Наибольшая ширина венца, мм	50	60	85	95	100
Гипоидное смещение, мм	±60	±60	+90/—60	+60/—75	+60/—65
Потребляемая мощность, кВт	13	18	11	19	28
Габаритные размеры станка (длина × ширина), мм	3400×2200	3700×2700	2900×1700	4500×3700	4300×3600
Масса станка, кг	6800	10 200	8500	16 000	17 500

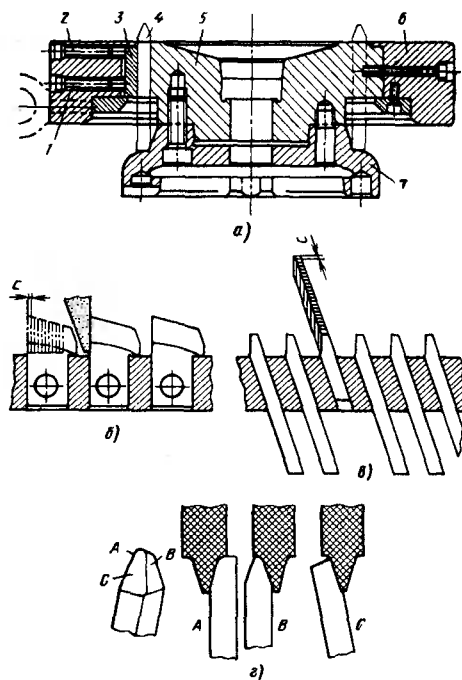


Рис. 12.19. Режущий инструмент:

а — зуборезная головка с острозаточенными резаками; *б*, *в* — схемы затачивания резцов соответственно затылованных и острозаточенных; *г* — последовательность затачивания острозаточенных резцов

зание с последующей обкаткой. В станках SKM1 и SKM2 используются зуборезные головки с затылованными резаками. Продольную бочкообразность зубьев на этих станках получают благодаря расположению резцов в головке и смещению оси воображаемого производящего колеса.

При нарезании методом «Спирофлекс» продольная бочкообразность зубьев образуется благодаря наклону оси зуборезной головки к плоскости воображаемого производящего колеса, в результате чего на концах зубьев срезается больше металла, чем в середине (рис. 12.18, *в*). Бочкообразность зависит от угла наклона резцовой головки χ . Продольная бочкообразность, как правило, производится на зубьях шестерни 2, а сопряженное колесо 1 нарезает без

наклона зуборезной головки. Конструктивные параметры зубчатых колес — угол наклона линии зуба, гипоидное смещение, диаметр делительной окружности — при нарезании зубьев методом «Спирофлекс» могут быть заданы без ограничений. Этот метод может быть применен на станках S17, SM3, S27 и модернизированном станке SKM1.

Фирма «Эрликон» разработала также современную технологию зубонарезания с использованием зуборезных головок с острозаточенными резаками (рис. 12.19, *а*). Зуборезные головки имеют массивный корпус 5, в пазах которого расположены острозаточенные резцы 4 в виде стандартных брусков прямоугольной формы. Резцы в корпусе головки закрепляют с помощью прокладки 3 и винтов 1 и 2, установленных во внешней обойме 6. Внешняя обойма благодаря большой массе обеспечивает зуборезной головке в условиях прерывистого резания плавную работу, без вибраций. Посадочное кольцо 7 предохраняет корпус головки от деформации и износа. В табл. 12.26 указаны основные параметры высокопроизводительных зуборезных головок FS «Spirapid»

В отличие от обычных, широко применяемых в производстве зубчатых колес затылованных резцов, которые затачивают в корпусе зуборезной головки по передней поверхности (рис. 12.19, *б*), у острозаточенных резцов, кроме передней поверхности, при затачивании шлифуются вершина и профиль резца, т. е. рабочая поверхность резцов полностью восстанавливается (рис. 12.19, *в*). Слой металла *с*, снимаемый при заточке затылованных (рис. 12.19, *б*) и острозаточенных резцов (рис. 12.19, *в*), неодинаков.

Затачивание резцов производят на профилешлифовальном станке SKB в трех позициях (рис. 12.19, *г*). На первой позиции *А* шлифуют боковую и заднюю поверхность резца, а также радиус при вершине, на второй позиции *В* — то же

12.26. Параметры зуборезных головок типа FS «Spirapid» с острозаточенными резцами

Номинальный радиус зуборезной головки	Средний нормаль- ный модуль обра- тываемого колеса	Число групп резцов	Номинальный радиус зуборезной головки	Средний нормаль- ный модуль обра- тываемого колеса	Число групп резцов
мм			мм		
39	1,5—3,75	5	88	4,5—8,5	7
49	1,5—4,5	7	140	4,5—8,5	11
74	1,5—4,5	11	160	4,5—8,5	13
88	1,5—4,5	13	180	4,5—8,5	13
62	4,5—7,5	5			

Примечание. Зуборезные головки каждого номинального радиуса могут быть изготовлены праворежущими и леворежущими с расположением резцов: наружный, средний, внутренний или средний, наружный, внутренний.

самое с другой стороны резца, на третьей позиции *С* резцы поворачивают на 90° и затачивают переднюю поверхность. Число повторных заточек острозаточенных резцов, у которых затачивание производят вдоль длины резца, достигает 100—120 вместо 20—30 у затылованных. Благодаря меньшей площади поперечного сечения острозаточенных резцов при одинаковом их числе с затылованными резцами можно уменьшить диаметр головки на 25 % и тем самым повысить производительность при увеличении частоты вращения и прочность нарезаемых зубьев на изгиб. Большим преимуществом острозаточенных резцов является также то, что их можно изготавливать непосредственно на заводе—изготовителе зубчатых колес.

При затачивании острозаточенных резцов задний угол α_v на вершине (рис. 12.20) образуется как разность угловых установок в приспособлении профильно-шлифовального станка (28°) и корпусе зуборезной головки (20°) и составляет для всех резцов 8° . Задние углы α_b на боковой режущей кромке можно задавать произвольно, бо́льшая стойкость у резцов с углами 6 — 8° (табл. 12.27).

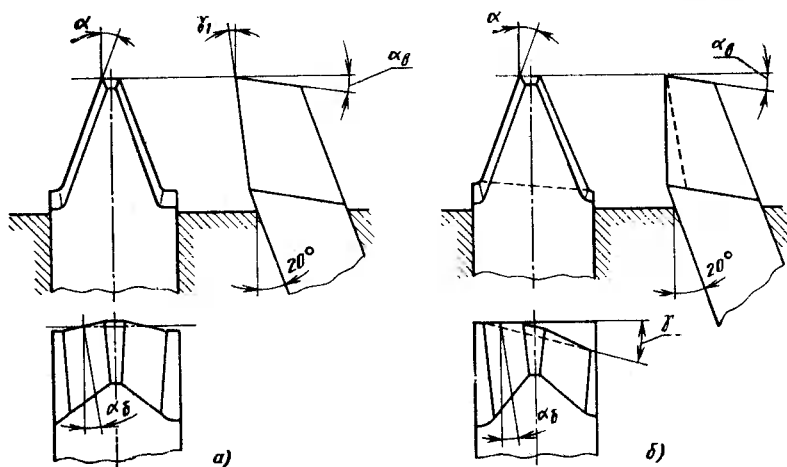


Рис. 12.20. Острозаточенные резцы:

a — средний; *б* — наружный, внутренний

12.27. Углы острозаточенных резцов в зависимости от обрабатываемого материала

Обрабатываемый материал	Угол резания резцов $\gamma, ^\circ$		Передний угол резцов $\gamma_1, ^\circ$		$\alpha_6, ^\circ$
	наружных и внутренних	средних	наружных и внутренних	средних	
Легированная сталь с σ_s , МПа, не более:					
981	10—12	0—5	0	6	5
784	12—18	0—5	0	6	6
Нелегированная сталь с $\sigma_s \leq 684$ МПа	18—20	0—5	0	8	7
Чугун	8—10	0—5	0	5	5
Бронза	20	0—8	0	8	8

Для нарезания полуобкатных передач конических и гипоидных колес с циклоидальной линией зубьев разработан метод «Spiras».

Зубья шестерни полуобкатной передачи нарезают комбинированным методом из целой заготовки на зуборезных станках S17 и S27, инструментальный шпиндель которых может наклоняться соответственно на угол 30 и 35°. Станки снабжены механизмом ускоренного движения подачи при обкатывании, обеспечивающим повышение производительности на 30 %.

Зубья колеса, имеющие реечный профиль, нарезают методом врезания на любом станке фирмы «Эрликон». При достижении полной высоты зубьев врезание прекращается, а зуборезная головка продолжает вращаться некоторое время, что необходимо для повышения точности обработки и уменьшения шероховатости. Все зуборезные станки (за исключением SKM2) могут быть оснащены приспособлением для снятия фасок с острых кромок зубьев колеса.

Фирма «Эрликон» выпускает полный комплект оборудования для изготовления и контроля циклоидальных зубчатых колес конических и гипоидных передач: зуборезные, контрольно-обкатные и зубопритирочные станки.

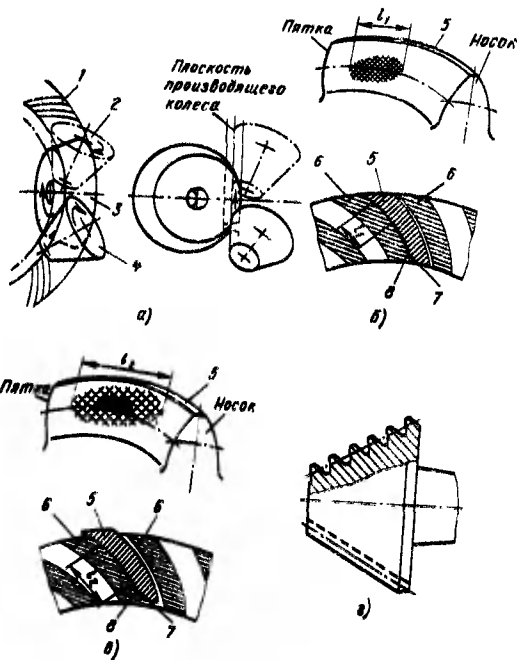
12.13. Нарезание зубьев методами фирмы «Клингельберг» (ФРГ)

Фирма «Клингельберг» (ФРГ) выпускает комплект оборудования для обработки, контроля и закалки гипоидных и конических колес с эвольвентной и циклоидальной линиями зубьев.

Зубья с эвольвентной продольной кривизной нарезают методом непрерывного деления. В качестве режущего инструмента применяют конические фрезы с затылованными зубьями. Высота зубьев колес постоянна по всей ширине венца. Продольная кривизна зубьев выполнена по удлиненной эвольвенте, а профильная—по приближенной эвольвенте (октоиде). Нарезание зубьев основано на зацеплении обрабатываемого колеса 3 с воображаемым плосковершинным производящим колесом 1, роль которого выполняют зубья червячной фрезы (рис. 12.21, а). Оно характеризуется тремя взаимосвязанными вращательными движениями: червячной фрезы и обрабатываемого колеса вокруг своих осей, а также производящего колеса, в результате которого червячная фреза обкатывается по поверхности

Рис. 12.21. Нарезание зубьев гипоидных и конических колес червячными фрезами:

а — схема нарезания; б, в — расположение пятна контакта соответственно на контрольно-обкатном станке и в собранном редукторе при эксплуатации; г — червячная фреза; д — зуб шестерни; е — зуб колеса; 7 — вогнутая сторона зубьев шестерни; 8 — выпуклая сторона зубьев колеса



зубьев, перемещаясь из начального 4 в конечное 2 положение.

Благодаря значительной изогнутости эвольвентных зубьев в продольном направлении вследствие малого радиуса их кривизны ($\rho \approx R_m \sin \beta_m$) у зубчатых колес пятно контакта нечувствительно к смещениям в процессе эксплуатации. Чувствительность гипоидной и конической передач определяется как способность воспринимать смещения базовых расстояний в рабочем положении сопряженных элементов с минимальным влиянием на форму и расположение пятна контакта. У гипоидных и конических колес с эвольвентной продольной кривизной зубьев пятно контакта располагают таким образом, что при проверке на контрольно-обкатном станке под легкой нагрузкой оно находится в середине зубчатого венца или ближе к пятке зуба (рис. 12.21, б). В процессе эксплуатации в собранном редукторе под нагрузкой пятно контакта остается на месте или смещается к внутреннему торцу. Длина пятна контакта увеличивается с l_1 до l_2 (рис. 12.21, в).

Червячные фрезы (рис. 12.21, г) изготовляют с углом профиля 17,5, 20 и 22,5° праворежущими и леворежущими. Обычно направление вращения фрезы выбирают противоположным направлению линии зуба обрабатываемого колеса. Продольная бочкообразность зубьев может быть достигнута вогнутостью наружной поверхности фрезы или изменением наладочных установок станка.

В единичном и мелкосерийном производстве зубья шестерни и колеса нарезают за один установ из целой заготовки на универсальных зубофрезерных станках AFK151AVAU и AFK201AVAU (табл. 12.28). В крупносерийном производстве зубья колеса целесообразно нарезать за две операции: черновую и чистовую. Для этой цели предназначены зубофрезерные станки AFK153 и AFK203, имеющие жесткую без перемещения в вертикальном направлении конструкцию шпинделя бабки изделия. Червячными фрезами зубья нарезают главным образом в единичном и серийном производстве у гипоидных и конических зубчатых колес с нормальным модулем $m_n \leq 8$ мм и средним углом наклона линии зуба $\beta_m > 30^\circ$.

За последнее время значительное распространение в промышленности, в том числе автомобильной, получил разработанный фирмой «Клиндельберг» метод нарезания зубьев с эпициклоидной продольной кривизной торцовыми зуборезными головками. Этот метод характеризуется также непрерывным делением и постоянной высотой зубьев, обладает более широкими технологическими возможностями по сравнению с методом нарезания зубьев червячными фрезами. Угол на-

**12.28. Основные технические характеристики станков фирмы «Клингельберг»
для нарезания гипоидных и конических колес**

Характеристика	Зубофрезерный станок				Зуборезный станок				
	AFK 151 AVAU	AFK 153	AFK 201 AVAU	AFK 203	AMK 250	AMK 400	AMK 630	AMK 850	AMK 1600
Наибольший диаметр колеса, мм	378	378	540	540	250 (400)	500	630 (850)	850 (1100)	1600
Наибольший окружной модуль, мм	6	6	11 (12)	12	9 (14)	13	14 (23)	23 (37)	51
Наибольшая ширина зубчатого колеса, мм	—	—	—	—	50(60)	100	100 (120)	130	
Гипоидное смещение, мм	±50	—	±80	—	±50	±75	±100	±120	
Масса станка, кг	6300	6500	9400	10 100	9300	15 400	18 300	20 000	

Примечание. Данные в скобках относятся к специальному оборудованию, применяемому по согласованию с фирмой.

клона линии зуба гипоидных и конических колес может изменяться от 0 до 50° и выше. На рис. 12.22, а показано, что средний угол наклона линии зуба изменяется от β_m до β'_m , если радиус основной окружности увеличивается от E_y до E'_y , в то время как другие геометрические параметры зубчатого колеса и размеры зуборезной головки остаются неизменными.

Обработка ведется многозаходными зуборезными головками двух типов: универсальными и специальными. Универсальные зуборезные головки (рис. 12.22, б) имеют разъемную конструкцию и состоят из двух частей — наружной 5 и внутренней 6. В стандартном исполнении они имеют $z_w = 5$ (табл. 12.29). Каждая группа может состоять из двух или четырех резцов. Если группа состоит из четырех резцов, то порядок их установки в корпусе следующий: внутренний резец 1, средние резцы 2 и 3, наружный резец 4. Средние резцы установлены выше наружных и внутренних на 0,05 m_n .

12.29. Основные технические характеристики универсальных зуборезных головок

Номинальный радиус головки, мм	Число резцов в группе	Средний нормальный модуль обрабатываемого колеса, мм	Номинальный радиус головки, мм	Число резцов в группе	Средний нормальный модуль обрабатываемого колеса, мм
55	2	1,35—4,0	135	4	3,5—8,0
100	4	2,4—5,5	170	4	6,5—13

Примечания: 1. Зуборезные головки каждого номинального радиуса могут быть изготовлены праворежущими и леворежущими.

2. Число групп резцов $z_w = 5$.

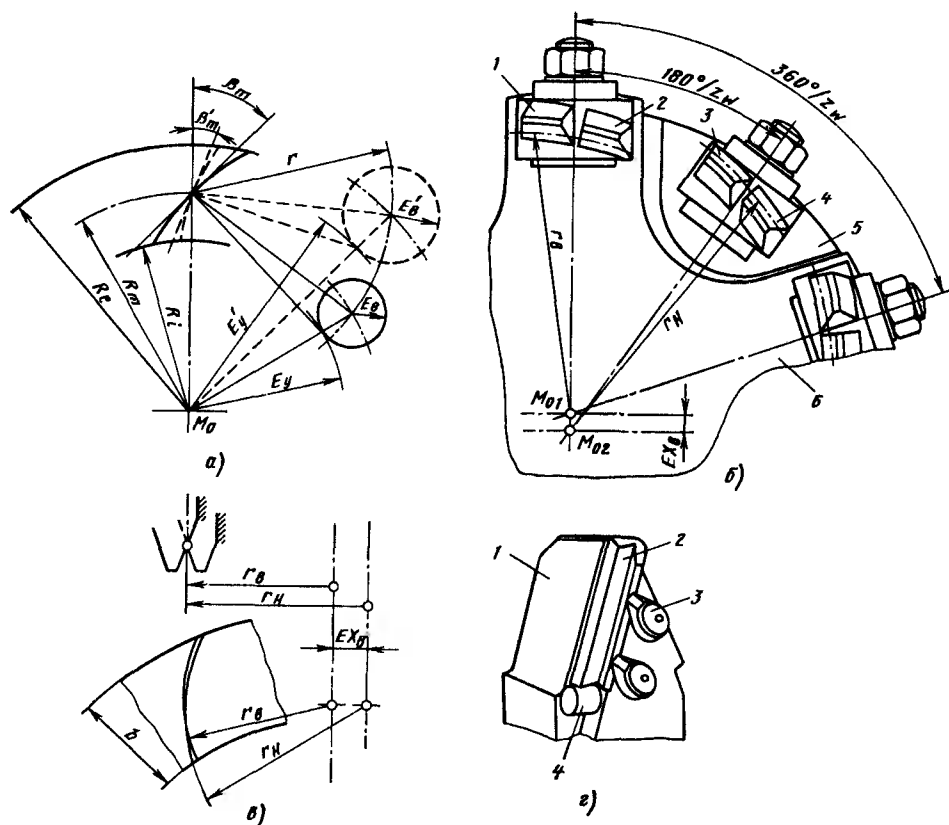


Рис. 12.22. Нарезание зубьев с эпискляидной продольной кривизной:

а — схема изменения среднего угла наклона линии зуба; *б* — разъемная резцовая головка; *в* — образование продольной бочкообразности зубьев; *г* — твердосплавный резец

Обе части зуборезной головки, одна из которых входит в другую, вращаются вокруг двух осей, параллельно смещенных одна относительно другой (рис. 12.22, в). Разность между образующими радиусами наружных r_n и внутренних r_v резцов определяется эксцентриситетом EX_B , который регулируется путем перемещения подвижной наружной части корпуса головки. С увеличением эксцентриситета возрастает продольная бочкообразность зубьев. Одной и той же головкой можно нарезать зубчатые колеса с левым и правым направлением линии зуба. Универсальные зуборезные головки весьма эффективны при обработке небольших партий зубчатых колес из целой заготовки за один установ.

В крупносерийном и массовом производстве для обеспечения высокой производительности и стабильного качества нарезание зубьев производят специальными зуборезными головками. При этом в зависимости от требуемого качества черновое и чистовое зубонарезание можно выполнять за две или одну операцию. Для чернового нарезания используют жесткие неразъемные, для чистового — разъемные нежесткие зуборезные головки. Применение в зуборезных головках обоих типов острозаточенных резцов позволяет значительно повысить производительность зубонарезания.

Для обработки зубьев полуобкатных колес в условиях массового производства фирма «Клиндельберг» разработала метод *Zyklomet*, при котором нарезание зубьев колеса производят путем врезания, а сопряженной шестерни — методом обкатки. Этот метод позволяет повысить производительность нарезания зубьев колес гипоидных и конических передач с передаточным числом 3:1 и выше на 30—40 %.

Зуборезные станки являются универсальными, могут работать методами врезания, обкатки и комбинированным и применяются в единичном, серийном и массовом производстве. Станки АМК 250 и АМК 400 используют для нарезания зубьев гипоидных и конических колес легковых автомобилей и легких грузовиков, а станки АМК 630 и АМК 850 — для нарезания зубьев колес грузовых автомобилей, крупногабаритных станков, судов и т. д. Станок АМК 1600 предназначен для нарезания зубьев крупномодульных колес.

Взамен трудоемкого шлифования или притирки зубьев, малоэффективной при больших деформациях колес, разработан новый метод зубонарезания закаленных до HRC₆₀—63 крупномодульных гипоидных и конических колес. Зубья нарезают специальными зуборезными головками неразъемного типа, имеющими три группы резцов. Каждая группа состоит из наружного, внутреннего и среднего резцов. Три типоразмера зуборезных головок с номинальными радиусами 270, 350 и 450 мм обеспечивают нарезание зубчатых колес с $m_{te} = 8 \dots 35$ мм.

Резцы головок состоят из двух частей — твердосплавной режущей пластины 2 (рис. 12.22, а) и резцедержателя 1, к которому пластина прикрепляется двумя планками 3. Перемещение пластины в осевом направлении ограничивает палец 4. Режущая кромка твердосплавной пластины 2 имеет отрицательный передний угол 15°. У закаленных зубчатых колес обрабатывают только боковые поверхности зуба, не касаясь дна впадины. За один рабочий ход снимают припуск не более 0,1 мм. Более высокое качество достигается при обработке зуба в два прохода. Скорость резания $v = 15 \dots 20$ м/мин.

Для реализации этого метода фирма «Клиндельберг» на базе существующих создала станки АМК 852 и АМК 1602, на которых можно обрабатывать методом обкатки колеса диаметром до 2000 мм.

Благодаря применению твердосплавных головок время обработки по сравнению со временем шлифования сокращается, параметр шероховатости боковых поверхностей зубьев практически одинаков ($Ra = 3 \dots 4$ мкм), трещины и прижоги отсутствуют. У гипоидных и конических передач стабильно обеспечивается 6-я степень точности, что позволяет им передавать нагрузки на 20 % большие, чем передаваемые передачами после притирки зубьев.

12.14. Подбор в пары

После химико-термической обработки в результате деформирования качество зацепления и стабильность размеров зубьев гипоидных и конических колес в значительной степени снижаются. Форма и расположение пятна контакта, уровень шума и боковой зазор между зубьями даже в одной партии зубчатых колес неодинаковы. Поэтому в технологическом процессе изготовления конических зубчатых колес выполняют подбор в пары, который предназначен для определения двух сопряженных элементов — шестерни и колеса, качество зацепления которых соответствует требованиям чертежа. После подбора в пары и достижения требуемого качества шестерни и колесо должны оставаться сопряженными в течение

всего периода эксплуатации. При поломке одного из элементов пары заменяют весь комплект.

Подбор зубчатых колес в пары производят после химико-термической обработки и шлифования базовых поверхностей. Пару устанавливают на контрольно-обкатном станке на теоретических базовых расстояниях и наносят на зубья колеса тонкий равномерный слой краски. Для выявления забоин и заусенцев сопряженную пару первоначально вращают с небольшой окружной скоростью (частота вращения ведущего шпинделя $n = 400 \dots 600 \text{ мин}^{-1}$) и под легкой нагрузкой. Забоины и заусенцы обычно удаляют ручной шлифовальной машинкой. При контроле пятна контакта и плавности зацепления окружную скорость пары увеличивают ($n = 1200 \dots 2000 \text{ мин}^{-1}$). Оценку формы и расположения пятна контакта, а также контроль бокового зазора осуществляют после остановки станка.

При подборе в пары гипоидных и конических колес грузовых автомобилей, тракторов, передающих большие нагрузки, основное внимание уделяют форме и расположению пятна контакта. Для передач легковых автомобилей, легких грузовиков, работающих при высоких окружных скоростях, наиболее важными параметрами являются плавность зацепления и бесшумность работы. Для гипоидных и конических передач автобусов необходимы высокое качество пятна контакта и низкий уровень шума.

У подобранных в пару шестерни 3 (рис. 12.23) и колеса 2 электрографом на торцах маркируют порядковый номер комплекта 1. При окончательном контроле пары после притирки или шлифования зубьев маркируют также боковой зазор БЗ 0,25 между зубьями, отмеченными знаком «х», что особенно важно для передач с кратным числом зубьев шестерни 3 и колеса 2, а также фактическое базовое расстояние шестерни — БР 128,1 (рис. 12.23, б) или его отклонение в сотых долях миллиметра (+5) от теоретического значения (рис. 12.23, а).

В массовом и крупносерийном производстве в соответствии с наладкой притирочных станков при подборе в пары производят сортировку конических передач с различным расположением пятна контакта. Подбор в пары осуществляют в отдельном помещении, изолированном от цехового шума. Не рекомендуется контрольно-обкатные станки, на которых выполняется подбор в пары с зачисткой забоин и заусенцев, использовать для окончательного контроля.

12.15. Притирка зубьев колес конических передач

Закаленные гипоидные и конические зубчатые передачи притирают для уменьшения шероховатости поверхности зубьев, а также незначительных исправлений формы и расположения пятна контакта. Притиркой может быть получен параметр шероховатости боковых поверхностей зубьев $Ra = 1 \dots 2 \text{ мкм}$, снижен уровень шума у конических передач до 6 дБ, у гипоидных передач — до 12 дБ. Погрешности зацепления исправляются незначительно, припуск под притирку не оставляют. Притирку нельзя рассматривать как операцию корректирования пятна контакта, чрезмерная притирка снижает качество зубчатых колес.

При притирке, которая производится на специализированных притирочных станках (табл. 12.30), между сопряженными вращающимися зубчатыми колесами вводится абразивная жидкость, состоящая из абразива 1 и масла 3 (рис. 12.24, а). Твердые и крупные абразивные зерна 1 острыми гранями снимают мелкую стружку 4 с поверхности зуба шестерни 5 и колеса 2 при взаимном их перемещении относительно друг друга. Для повышения режущих свойств абразивных

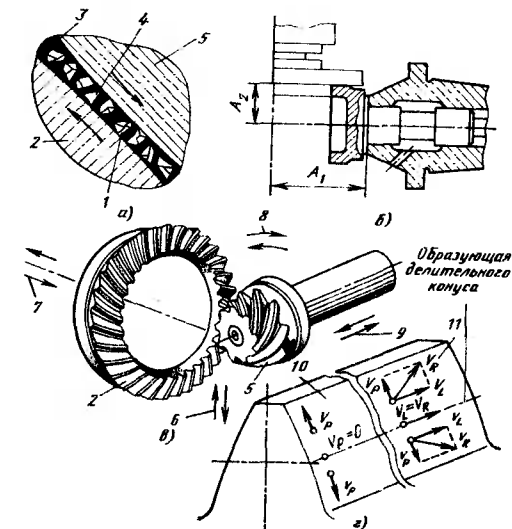
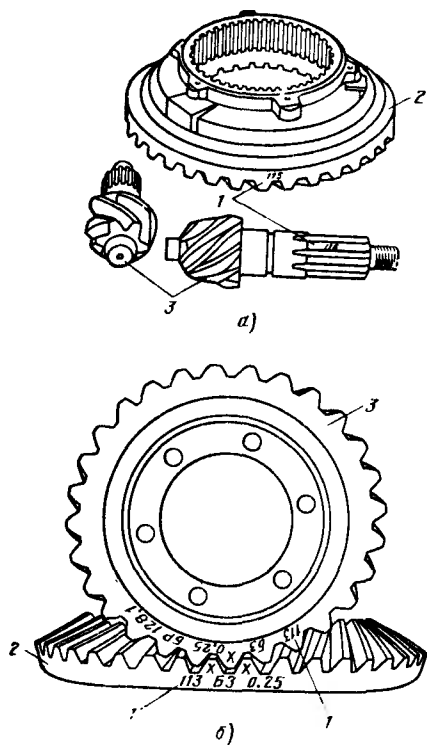


Рис. 12.24. Притирка гипоидных и конических передач:

а — схема притирки зубьев; б — установка базовых расстояний; в — схема движений при притирке; г — профильное и продольное скольжение на поверхности зубьев

Рис. 12.23. Маркировка комплектов гипоидных и конических передач

зерен создается давление между зубьями путем торможения одного из элементов передачи.

Конструкция зубопритирочных станков выполнена таким образом, что настроенные на теоретические базовые расстояния с помощью специального калибра (рис. 12.24, б) ведущий и ведомый шпиндели станка с зубчатыми колесами во время притирки автоматически изменяют свое взаимное положение. Этим обеспечивается притирка практически в любой точке поверхности зуба. В течение автоматического цикла работы на притирочном станке выполняются три основных движения: вертикальное б, горизонтальное 9 и осевое 7 (рис. 12.24, в), параметры которых определяют опытным путем или при контроле пары методом $V-H$ на контрольно-обкатном станке. При перемещении пятна контакта с помощью вертикальных V и горизонтальных H смещений бабок станка из центрального положения на носок и пятку оно может выходить на кромку зуба, но его центр должен оставаться в границах зуба. В последних моделях притирочных станков фирмы «Глисон» (США) вместо вертикального движения б (рис. 12.24, в) выполняется поворот 8 шестерни 5 вокруг оси, проходящей приблизительно через середину зубчатого венца в направлении изменения межосевого угла. Это движение повышает эффективность притирки на 10—20 %, при этом обеспечивается высокое качество обработки.

В качестве абразива в абразивной жидкости наиболее эффективным для закаленных зубчатых колес является карбид кремния, применяют и другие абразивы. Для притирки мелко модульных передач и передач с твердостью $HRC_p < 55$ целесообразно применять абразивы из окиси алюминия. Размер абразивных зерен

12.30. Основные технические характеристики зубопритирочных станков

Характеристика	5П720	5П722	5725Е	5724	5П726ФЗ
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	125	320	500	800	800
Наибольший окружной модуль, мм	2,5	6	8	16	16
Частота вращения ведущего шпинделя, мин ⁻¹	300—2500	1430	1450	420—840	11—1500
Мощность главного привода, кВт	1,1	5,5	5,5	10	6,5
Масса станка, кг	1400	4100	4800	7000	6200

оказывает существенное влияние на притирку и должен составлять 7—50 мкм. Очень мелкие зерна увеличивают время притирки и могут способствовать возникновению задиров на поверхности зубьев. Если абразивные зерна слишком крупные, то поверхность после притирки будет слишком шероховатой, что может привести к возникновению резких шумов при работе. Притирку зубчатых колес с окружным модулем 2,5—4,5 мм целесообразно производить микрошлифпорошком с зернистостью М7—М14. Передачи легковых автомобилей целесообразно притирать абразивными зернами с зернистостью М7—М28, а передачи грузовых автомобилей и тракторов — зернами зернистостью М28—М50.

Масло, входящее в абразивную смесь, должно поддерживать абразивные зерна во взвешенном состоянии, свободно протекать через насосную систему станка и легко смываться с зубьев водным раствором. Вязкость масла должна составлять 21—45 сСт при 50 °С. Если масло слишком густое, то его нужно разбавить гидравлическим или машинным маслом. Из отечественных масел перечисленным требованиям удовлетворяет масло СЭЛ-1. Соотношение по объему частей абразивного порошка и масла составляет от 1:1 до 1:2. Первоначально можно использовать абразивную жидкость, состоящую из 2,7 кг абразива и 3,8 л масла. Во время притирки необходимо периодически добавлять абразивную смесь, так как со временем абразивные зерна разрушаются и теряют свои режущие свойства. К тому же часть абразивной смеси остается на деталях после их притирки. В масловом и крупносерийном производстве абразивную смесь целесообразно добавлять по 1,5 л через каждые 3 ч работы после притирки 20—30 зубчатых пар.

Боковой зазор во время притирки должен быть на 0,05—0,07 мм меньше минимального допустимого зазора, чтобы избежать интерференции верхней кромки зуба при работе пары в собранном механизме. Если зубчатые пары собирают с малым боковым зазором, то время притирки по возможности ограничивают. Для обеспечения высококачественной поверхности зубьев шестерня должна совершить во время притирки 2000—4000 оборотов. Ориентировочное время притирки конических передач с криволинейными зубьями 2—5 мин, гипоидных передач легковых автомобилей 4—6 мин, гипоидных передач грузовиков 8—12 мин.

Пятно контакта при притирке конических передач при наличии на зубьях 10 только профильного скольжения V_P , прогрессивно увеличивающегося от делительной линии к головке и ножке зуба (рис. 12.24, г), имеет тенденцию к сужению и располагается вдоль линии делительного конуса. Для компенсации этого явления обычно увеличивают базовое расстояние шестерни на 0,075—0,125 мм, что способствует смещению пятна контакта у шестерни к ножке зуба. У гипоидных

передач на поверхности зубьев // наряду с профильным V_P происходит также продольное скольжение V_L (рис. 12.24, з). Поэтому при их притирке пятно контакта под действием результирующего скольжения V_R имеет склонность к расширению по высоте профиля.

При небольшом тормозном моменте уменьшается действие абразивной смеси и увеличивается продолжительность притирки. Слишком большая тормозная нагрузка способствует чрезмерной притирке профиля и повышенному уровню шума, увеличивает ширину и длину пятна контакта, перемещая его ближе к носку зуба. Оптимальным является давление $5 \cdot 10^4$ Па, создаваемое на поверхностях зубьев сопряженных колес. В табл. 12.30 приведены технические характеристики зубопритирочных станков, которые изготавливают на Саратовском заводе зубострогальных станков. Они предназначены для притирки конических колес с межосевым углом 90° и работают в полуавтоматическом цикле. Зубопритирочный станок 5П726ФЗ имеет числовое программное управление, которое позволяет производить быструю переналадку станка при переходе с изготовления одной детали на изготовление другой. Удобен для работы в мелкосерийном и среднесерийном производстве.

12.16. Шлифование колес с криволинейной формой зубьев

При зубошлифовании конических колес с криволинейной формой зубьев достигается 5-я степень точности. Конические зубчатые пары шлифуют на специальных зубошлифовальных станках, техническая характеристика которых приведена в табл. 12.31. Кинематическая схема зубошлифовальных станков отличается от кинематической схемы станков для нарезания зубьев в основном кинематической цепью привода инструмента, так как применяемые в них шлифовальные круги работают со скоростью в 50—60 раз большей, чем скорость зуборезных головок.

Наладка зубошлифовального станка 5872 (СССР). Станок построен в основном на базе серийного зуборезного станка 528. Универсальность станка позволяет применять его как в массовом, так и в мелкосерийном производстве. На станке 5872 реализуются два метода обработки: односторонний и постоянных установок. Односторонний метод менее производителен и может применяться для последовательной обработки только боковых сторон зубьев, при этом дно впадин остается нешлифованным. Достоинством этого метода является то, что для обработки зубчатых колес всего диапазона, согласно паспорту станка, достаточно иметь шлифовальные круги диаметров 6'', 9'', 12'' и 18''. Односторонний метод шлифования целесообразно применять при мелкосерийном производстве.

Метод постоянных установок более производителен, так как обе стороны зубьев обрабатываются одновременно. При этом методе можно шлифовать и дно впадин, выдерживая его заданную форму.

При одностороннем методе шлифование производится в следующем порядке.

1. Обработка колеса. Шлифуют одну сторону зубьев, при которой снимают приблизительно половину припуска на толщину зуба. Затем поворачивают шпиндель и шлифуют другую сторону зубьев в размер. Все наладочные установки при шлифовании колеса одинаковы.

2. Обработка шестерни. Шлифуют вогнутую сторону зубьев, при этом подгоняют форму контакта с сопрягаемым колесом по краске на «пробной» шестерне, затем шлифуют всю партию по этой стороне. Путем изменения угла установки эксцентрикового барабана люльки и изменения передаточного отношения гитары,

12.31. Технические характеристики зубошлифовальных станков для обработки конических зубчатых колес с криволинейной формой зубьев

Характеристика	СССР		Фирма «Глисон»				
	5872	5871	7	17	18	27	137
Размеры изготавливаемых колес:							
модуль, мм	15	2,5—10	6,35	10	12,7	12,7	16,9
наибольшая длина образующей начального конуса, мм, при угле спирали, °							
0	285	160	—	178	—	—	178
15	350	220	—	—	—	—	—
30	420	250	140	285	327	381	380
40	—	—	—	320	—	—	480
Установочный угол бабки изделия	5°30'—84°	5°—90°	5°43'—84°17'	5°42'—71°34'	86°11'	5°42'—71°34'	5°42'—71°34'
Передаточное отношение пары при угле между осями, 90°	10:1	10:1	От 1:1 до 10:1 (конические), от 10:1 до 60:1 (гипоидные)	От 1:1 до 30:1	От 3:1 до 10:1	От 1:1 до 3:1	От 1:1 до 3:1
Наибольший диаметр делительной окружности шлифуемого колеса, мм (для угла между осями 90°) при передаточном отношении:							
10:1 и угле спирали, °							
0	575	320	171	—	—	—	—
15	700	425	—	—	—	—	—
30	840	500	216	610	—	—	—
40	—	—	—	—	—	—	—
2:1 и угле спирали, °							
0	520	280	—	336	584	584	344
15	635	380	—	—	—	—	—
30	750	440	—	520	—	800	711
40	—	—	—	600	—	863	890
1:1 и угле спирали, °							
0	395	230	121	254	—	394	254
15	500	300	—	—	—	—	—
30	600	350	152	405	—	533	533
40	—	—	—	455	—	571	660
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	100	65	31	64	102	76	146
Угол спирали, °	0—60	0—60	0—60	0—40	0—60	0—40	0—40
Число зубьев	4—100	5—100	Любое	—	20—78	Любое	Любое
Бабка заготовки:							
расстояние А от торца шпинделя до центра станка, мм	125—600	90—380	31—228	76,2—406,4	0—254	76—521	127—660

Продолжение табл. 12.31

Характеристика	СССР		Фирма «Глосон»				
	5872	5871	7	17	18	27	137
смещение шпинделя, мм, вниз от центрального положения при установленном расстоянии от торца шпинделя до центра станка, мм:							
125—290	25	—	—	—	—	—	—
290—350	55	—	—	—	—	—	—
350—560	72—84	75	Наибольшее 76	Наибольшее 76	—	Наибольшее 114	Наибольшее 114
Смещение шпинделя вверх от центрального положения, мм	115	75	Наибольшее 76	Наибольшее 76	—	Наибольшее 114	Наибольшее 190
Время обработки одного зуба за один рабочий ход, с	—	—	1,6—35,3	1,9—11,8	1,7—11,8	1,9—11,8	1,9—11,8
Диаметр шлифовальных кругов, дм	6; 9; 12; 18	6; 9; 12	2—6	6; 12	6—12	5,5—13,5	6—12
Скорость резания, м/с	9—63	17—37,2	20—25	25,5—38,5	—	—	—

обката на «пробной» шестерне подгоняют выпуклую сторону и шлифуют всю партию. Подгонка формы пятна касания производится так же, как и при нарезании зубьев конических колес (см. п. 4).

Расчет наладочных установок при одностороннем методе шлифования. Расчет наладочных установок при одностороннем методе шлифования выполняют по расчетному листу БВ (табл. 12.32), а при методе постоянных установок — по листу БГ (табл. 12.33). Многие величины, определяемые по листу БВ, совпадают с величинами, получаемыми при расчете основных наладочных данных для нарезания одномерным односторонним методом, для чего в наладочной инструкции к зуборезным станкам 528, 525 и 5А27С1 предусмотрен расчетный лист Б. Если при нарезании расчет наладочных установок производится по листу Б, то одинаковые значения можно вписать в те пункты расчетного листа БВ, для которых написано обозначение пункта листа Б.

Исходные данные для расчета по листу БВ (см. табл. 12.32) при шлифовании односторонним методом: $m = 7,24$ мм; $z_{ш} = 13$; $z_{к} = 39$; $\beta = 35^\circ$; $\alpha = 20^\circ$; $b = 45$ мм; $L_e = 148,82$ мм; $\gamma_{ш} = 1^\circ 59'$; $\gamma_{к} = 3^\circ 43'$; $S_{ш} = 14,31$ мм; $S_{к} = 8,43$ мм; $\varphi_{ш} = 18^\circ 26'$; $\varphi_{к} = 71^\circ 34'$; $z_c = 41,1096$; $K_b = \frac{b}{L_e} = 0,30$; $h_{г.ш} = 8,18$ мм; $h_{г.к} = 8,69$ мм; $h_{н.ш} = 5,14$ мм; $h_{н.к} = 9,63$ мм; $f = \frac{h_{г.ш} + h_{г.к}}{2m} = 0,82$ мм; $K_c = \frac{h_{н.ш} - h_{г.к}}{m} = 0,20$ мм; $d_{ш} = 94,12$ мм; $d_{к} = 282,36$ мм.

П р и м е ч а н и я: 1. Число зубьев плоского колеса z_c при угле между осями 90° можно определить по формуле $z_{ш}^2 + z_{к}^2 = z_c^2$ или по таблицам, прилагаемым к станку.

2. При угле между осями, отличающемся от 90° , $z_c = z_{к}/\sin\varphi_{к}$ погрешность вычисления 0,0001.

**12.32. Расчетный лист БВ. Определение основных наладочных данных
для шлифования пары конических колес с круговыми зубьями
односторонним методом**

№ по пор.	Расчетная формула	Значение параметра	Лист Б (из таблицы по наладке зубо-резного станка)
1	$\Sigma \gamma = \gamma_{\text{ш}} + \gamma_{\text{к}}$	342'	Б1
2	$\Sigma \operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma_{\text{ш}} + \operatorname{tg} \gamma_{\text{к}}$	0,0996	Б2
3	$N_0 = (1) \frac{\sin \beta}{20}$	9,5°	Б3
4	$L = L_e - 0,56$	126,32 мм	Б4
5	$L_t = L_e - b$	103,82 мм	Б5
6	$r_{\text{и}}$	114,30 мм	Б6
7	$V = r_{\text{и}} \cos \beta$	93,629 мм	Б7
8	$H = L = r_{\text{и}} \sin \beta$	60,760 мм	Б8
9	$\operatorname{tg} q = \frac{V}{H}$	1,5410	Б9
10	$q \left\{ \begin{array}{l} \text{Из таблицы} \\ \text{в паспорте} \end{array} \right.$	57°02'	Б10
11	$r' \left\{ \begin{array}{l} \text{в паспорте} \\ \text{станка} \end{array} \right.$	0,744	Б13
12	$r'' \left\{ \begin{array}{l} \text{в паспорте} \\ \text{станка} \end{array} \right.$	0,248	Б14
14	W — разход шлифовального круга при диаметре инструмента, 6	0,75	—
	9, 12 и 18	1	—
15	$V_1 = V - H \operatorname{tg} \beta$	51,084 мм	Б24
16	$L_1 = \frac{L \sin \beta \operatorname{tg} \alpha}{(9)}$	17,113 мм	Б25
17	$H^2 = (8)^2$	3691,78 мм	Б35
18	$U_{\text{к}} = \sqrt{V^2 + H^2} = V (7)^2 + (17)^2$	111,62 мм	Б36
19	$\frac{\omega}{r_{\text{и}}} (15) = \frac{(14)}{(6)} (15)$	0,5108	—
20	$\Delta_v = (19) - (2) (6)$	1,194	—
21	$B_2 = [(7) + (20)]^2$	8544,2	—
22	$U_e = \sqrt{(21) + (17)}$	110,62 мм	—
23	$U_t = \sqrt{(22) + (17)}$	112,62 мм	—
24	$z_{\text{ec}} = z_{\text{te}} = z_c$	41,1096	—

**12.33. Расчетный лист БГ. Определение основных наладочных данных
для шлифования пары конических колес с круговыми зубьями
методом постоянных установок**

№ по пор.	Формула	Значение параметра
Определение параметров резцовых головок		
1	$\sin \beta = 0,57358$ $\cos \beta = 0,81915$	
2	$L = L_e - 0,56$	126,32 мм
3	r_n	114,30 мм
4	$N_0 = \frac{\gamma_{ш} + \gamma_n}{20} \sin \beta$	$9\frac{1}{2}''$
5	$\operatorname{tg} \gamma_{ш} + \operatorname{tg} \gamma_n$	0,0996
6	$\omega_n = (1 - 0,5 R_b) (s_{ш} \cos \beta - 2h_{н.н} \operatorname{tg} \alpha)$	4,0 мм
7	$\Delta \omega$	0,25 мм
8	$\omega'_n = \omega_n - \Delta \omega$	3,75 мм
9	$\Sigma \omega_1 = (1 - R_b) [\pi \cos \beta_l - 4 (f + R_e) \operatorname{tg} \alpha]$	0,891 мм
10	$\omega_{ш} = m (9) - (6)$	1,50 мм
11	$L_1 = \frac{L \operatorname{tg} \alpha}{\cos^2 \beta} \left(\frac{L}{r_n} - \sin \beta \right)$	36,42 мм
12	$\Delta L = (5) (11)$	3,63 мм
Установка инструмента и заготовки		
13	$v = r_n \cos \beta$	93,629 мм
14	$H = L - r_n \sin \beta$	60,760 мм
15	$q = \operatorname{arctg} V/H$	$50^{\circ}02'$
16	$\Delta' H = \frac{A_{r_n} \operatorname{tg} \alpha}{z_c} (f + K_c \cos^2 \beta)$	2,770 мм
17	$\Delta' V = \Delta' H \operatorname{tg} \beta$	1,940 мм
18	$\Delta s_r = \Delta r - \Delta r_2$	0,920 мм
19	$\Delta'' H = \Delta s_r \sin \beta$	0,528 мм
20	$\Delta'' V = \Delta s_r \cos \beta$	0,754 мм
21	$\Delta H = (12) + (37) - (40)$	5,872 мм
22	$\Delta V = (38) + (41)$	2,694 мм
23	$U = \sqrt{H^2 + V^2}$	111,62 мм
24	$U_e = \sqrt{(H - \Delta H)^2 + (V - \Delta V)^2}$	106,22 мм
25	$U_l = \sqrt{H + \Delta H^2 + (V - \Delta V)^2}$	117,12 мм
26	$\Delta X_p = \frac{(12)}{\cos \varphi_{l ш}}$	3,78 мм
27	$\Delta X_B = \Delta X_p \sin \varphi_{l ш}$	1,07 мм

Продолжение табл. 12.33

№ по пор.	Формула	Значение параметра
28	Число зубьев производящего колеса для вогнутой стороны $z_{ec} = z_c \left(1 - \frac{\Delta L}{L} \right)$	39,9298
29	Число зубьев производящего колеса для выпуклой стороны $z_{ic} = z_c \left(1 + \frac{\Delta L}{L} \right)$	42,2894

Определив основные наладочные данные по листу БВ или БГ, надо произвести окончательный расчет наладочных установок по расчетному листу ВБ (табл. 12.34) и вписать их в наладочную карту, руководствуясь указаниями, содержащимися в разделе «Заполнение наладочной карты». Перед тем как приступить к заполнению наладочной карты, надо выбрать шлифовальный круг (табл. 12.35), руководствуясь указаниями, содержащимися в разделе «Выбор шлифовального круга». Таблицы и графики, используемые при расчете, приведены в руководстве к станку.

Пояснения к расчетному листу БВ (см. табл. 12.32). По расчетному листу БВ определяют основные наладочные данные, для определения наладочных установок станка мод. 5872 надо произвести дальнейший расчет по листу ВБ (табл. 12.34).

Ниже даны пояснения к отдельным пунктам расчетного листа БВ (табл. 12.32).

Пп. 1—3 — значения выбирают по графику 15, табл. 6 и 7 в паспорте станка.

П.3. N_0 — теоретическая «номерная поправка», по которой в дальнейшем определяют углы заправки шлифовального круга.

П.4. L — длина образующей начального конуса до середины зубчатого венца.

П.5. L_t — то же, до начала зубчатого венца.

П.6. r_t — номинальный радиус шлифовального круга, равный номинальному радиусу резцовой головки (табл. 12.35).

П.7. V — вертикальная координата центра резцовой головки.

П.8. H — горизонтальная координата центра резцовой головки.

Расчет наладочных данных для шлифования методом постоянных установок. Определение основных наладочных данных для шлифования методом постоянных установок производится по листу БГ (см. табл. 12.33). После выполнения расчета по листу БГ надо определить наладочные установки станка 5872 по расчетному листу ВБ (см. табл. 12.34); этот лист подходит для любого метода нарезания или шлифования зубьев. К нему также даны соответствующие пояснения.

Пояснения к расчетному листу БГ (табл. 12.33). Ниже даны пояснения к наиболее важным пунктам расчетного листа БГ, которыми следует руководствоваться при расчетах.

П.4. N_0 — номер резцов (теоретический).

П.7. $\Delta\omega$ — припуск на шлифование, рекомендуется принимать равным 0,2—0,4 мм на обе стороны.

П.13. V — базовая вертикальная установка центра шлифовального круга.

П.14. H — базовая горизонтальная установка центра шлифовального круга.

П.15. q — угловая установка (угол, составляемый линией, соединяющей

**12.34. Расчетный лист ВБ. Определение наладочных данных станка 5872
для шлифования односторонним методом постоянных установок**

№ по пор.	Порядок расчета
1	Число зубьев z , пропускаемых при делении
2	Передаточное число гитары деления при обработке шестерни $u_{д.ш} = \frac{2z_{ш}}{z_{ш}}$
3	Передаточное число гитары деления при обработке колеса $u_{д.к} = \frac{2z_{к}}{z_{к}}$;
4	$u_{0ш} = \frac{3,5z_{ш}}{z_{с}}$
5	$u_{0шi} = \frac{3,5z_{ш}}{z_{ie}}$
6	$u_{0к} = \frac{3,5z_{к}}{z_{с}}$
7	Проверочный угол люльки $\sigma_{л}$ принимают равным 20°
8	$\sigma_{к} = 20^\circ \frac{z_{с}}{z_{к}}$; $\sigma_{ш} = 20^\circ \frac{z_{с}}{z_{ш}}$
9	Для выпуклой стороны шестерни $\sigma_{ш} = 20^\circ \frac{z_{с}}{z_{ш}}$
10	Угол $e_{к}$ подсчитывают по формуле $\sin \frac{e_{к}}{2} = \frac{u}{340}$
11	$\sin \frac{e_{ш}}{2} = \frac{U_{ш}}{340}$
12	$\sin \frac{e_{шi}}{2} = \frac{U_{шi}}{340}$

Обозначения. $u_{0ш}, u_{0шi}, u_{0к}$ — передаточное число при обработке соответственно вогнутой стороны шестерни, выпуклой стороны шестерни, колеса; $\sigma_{к}, \sigma_{ш}$ — проверочный угол люльки соответственно для колеса и шестерни; $e_{к}, e_{сш}, e_{шi}$ — угол эксцентрика соответственно колеса, выпуклой и вогнутой сторон шестерни; $U, U_{сш}, U_{шi}$ — радиальная установка торцового правочного аппарата соответственно колеса, выпуклой и вогнутой сторон шестерни.

Примечание. У самых распространенных кругов зернистость 46, 60, 80, твердость СМ1, СМ2, С1, С2, связка Б.

центр люльки и центр шлифовального круга, — с горизонтальной прямой, проходящей через ось люльки).

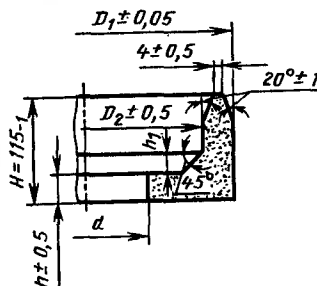
П.16—22. Поправки установок при шлифовании шестерни.

П.23. U — радиальная установка (длина линии, соединяющей центр шлифовального круга с центром вращения люльки) при шлифовании.

П.24. $U_{сш}$ — радиальная установка при шлифовании вогнутой стороны зубьев шестерни.

П.25. U_i — то же, при шлифовании выпуклой стороны зубьев шестерни.

12.35. Шлифовальные круги, применяемые для обработки конических колес с криволинейными зубьями на станке 5872



Выбор номинального диаметра шлифовального круга

Нормализованные номинальные диаметры резцовых головок		Угол спиралн., °	Длина обрабатываемой делительного конуса, мм	Наибольшая высота зуба, мм	Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	Наибольший модуль при расчете по системе ЭНИМСа, мм	Номинальный диаметр шлифовального круга, мм
дюймы	мм						
6	152,4	0—15 Св. 15 0—15	30—70 60—100 60—120	10	30	4,5 5 6,5	95
9	228,6	Св. 15—25 Св. 25 0—15	90—160 90—160 90—180	15	50	7,5 8 9	127
12	304,8	Св. 15—25 Св. 25	140—210 140—210	20	65	10 11	203
18	457,2	0—15 Св. 15—25 Св. 25	160—240 190—320 190—320	28	100	12 14 15	280

П.26. ΔX_p — изменение монтажной дистанции шестерни, необходимое для устранения диагональности контакта.

П.27. ΔX_B — смещение стола, необходимое для того, чтобы при изменении монтажной дистанции не менялась высота нарезаемых зубьев.

П. 28. $z_{сч}$ — расчетное число зубьев производящего колеса при шлифовании вогнутой стороны зубьев шестерни. Определяют с точностью четвертого знака после запятой.

П.29. z_{ic} — то же, при шлифовании выпуклой стороны зубьев шестерни.

Определение наладочных установок станка 5872 (см. табл. 12.34). Исходными данными для расчета по этому листу являются величины, определяемые при одностороннем методе шлифования по листу БВ (см. табл. 12.32), а при методе постоянных установок — по листу БГ (см. табл. 12.33). Результаты расчета записываются в карты наладки (см. табл. 12.34).

Пояснение к расчетному листу ВВ (табл. 12.34). Пп. 2, 3. $z_{\text{ш}}$; $z_{\text{к}}$ — числа зубьев, пропускаемых при делении во время обработки шестерни и колеса. Полученные значения округлить до ближайшего большего числа, содержащегося в таблице в паспорте станка.

Производительность станка и припуск под шлифование. Время обработки зубчатого колеса определяется по формуле $T = t_{\text{ц}}zn + t_{\text{в}} + \frac{t_{\text{к}}}{N} + t_{\text{у}}$, где T — время обработки одного колеса из партии; $t_{\text{ц}}$ — время цикла обработки зуба, т. е. время рабочего и холостого ходов; n — число требуемых проходов; $t_{\text{в}}$ — вспомогательное время для шлифования (правка круга, отвод стола); $t_{\text{к}}$ — время наладки станка; $t_{\text{у}}$ — время установки детали; N — размер партии; z — число зубьев обрабатываемого колеса.

Одним из основных резервов повышения производительности процесса шлифования — уменьшение припуска под шлифование (точное выполнение заготовки и установка ее на станке). В хорошо налаженном производстве припуск под шлифование рекомендуется оставлять 0,25—0,35 мм по толщине зубьев. Скорость шлифовального круга рекомендуется принимать равной 25—30 м/с.

Причины погрешностей элементов зацепления зубчатых колес при шлифовании. Все зубошлифовальные станки для обработки конических колес с круговыми зубьями, так же как и прямозубых колес, имеют длинные кинематические цепи и работают по методу единичного деления, что затрудняет шлифование колес с высокой точностью. Причины погрешности при шлифовании конических колес с криволинейными зубьями такие же, как при нарезке круговых и шлифовании прямозубых колес (см. гл. 11).

Выбор диаметра шлифовального круга. При шлифовании колеса номинальный диаметр шлифовального круга равен номинальному диаметру резцовой головки. Ширину торцевой ленточки W , шлифующей дно впадин, называют разводом круга. При обработке методом постоянной установки она равна теоретическому чистовому разводу, определяемому по формуле поз. 6 расчетного листа БГ (см. табл. 12.33). При одностороннем методе развод круга определяется поз. 14 расчетного листа ВВ (см. табл. 12.32).

Зная номинальный радиус круга $R_{\text{н.к.}}$, равный половине номинального диаметра, и развод, следует начертить на листе миллиметровой бумаги профиль шлифовального круга, как показано на эскизе табл. 12.35, и подобрать чашечный круг по этой же таблице так, чтобы начерченный профиль уместился в профиль чашки. При этом каждый из двух размеров A должен быть не меньше, чем высота зуба плюс 2 мм, и не больше 40 мм. Если $A > 40$ мм, то алмаз при правке не будет выходить за пределы круга и может выкрашиваться.

При одностороннем методе шлифования шестерни применяют точно такой же круг, как и для шлифования колеса. При методе постоянной установки образующий радиус круга (см. эск. к табл. 12.35), применяемого при шлифовании вогнутой стороны зубьев, равен тому же радиусу соответствующей зуборезной головки. Развод круга не имеет существенного значения, его можно брать равным разводу резцов головки, применяемой для чернового нарезания шестерни.

Глава 13

**ДОПУСКИ И КОНТРОЛЬ КОНИЧЕСКИХ
И ГИПОИДНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ****13.1. Допуски конических и гипоидных зубчатых передач**

Зубчатые колеса различного вида (цилиндрические, конические, червячные) одной степени точности должны обеспечивать одинаковые показатели точности в работе. Поэтому во всех стандартах полностью совпадают следующие отклонения и допуски: кинематическая погрешность колеса; накопленная погрешность шага, биение зубчатого венца; погрешность обката, отклонения шагов.

ГОСТ 1758—81 «Передачи зубчатые, конические и гипоидные» так же, как и на цилиндрические, устанавливает двенадцать степеней точности. Однако, так как выполнение точных конических зубчатых колес значительно труднее, чем цилиндрических, невозможно нормировать допуски для 3-й степени точности и поэтому нормируются требования на конические колеса с 4-й до 12-й степени точности.

ГОСТ 1758—81 распространяется на передачи с осями, пересекающимися под любым углом. Включены конические и гипоидные зубчатые передачи и пары (без корпуса) внешнего зацепления с прямыми, тангенциальными и криволинейными зубьями с диаметром делительной окружности до 4000 мм и модулем свыше 1 до 55 мм. Допуски для конических передач с модулем до 1 мм приведены в ГОСТ 9368—81.

Каждая степень точности содержит нормы трех видов: кинематической точности; плавности работы; контакта зубьев зубчатых колес в передаче. Так же, как и для цилиндрических передач, разрешается комбинировать степени точности по трем нормам для удовлетворения эксплуатационным требованиям и облегчения производства колес. Нормы плавности работы могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее степени кинематической точности; нормы контакта не могут быть грубее степени плавности. Отличие в указанных ограничениях по сравнению с ограничениями для цилиндрических колес объясняется тем, что при производстве конических колес менее разнообразны отделочные операции, вследствие чего нельзя значительно увеличить плавность работы колес без соответствующего повышения кинематической точности.

Боковые зазоры как в конических, так и в цилиндрических передачах определяются соответствующей наладкой инструмента. С эксплуатационной точки зрения требования к точности изготовления зубчатого венца и к значениям боковых зазоров также не имеют непосредственной связи. Поэтому в стандарте установлены шесть видов сопряжений (*A*, *B*, *C*, *D*, *E* и *H*), определяющих наименьший (гарантированный) из возможных боковых зазоров между зубьями. Значения гарантированного зазора увеличиваются по мере увеличения среднего конусного расстояния.

Степень точности зубчатых колес и передач выбирают так же, как цилиндрических колес и передач, и при разработке отраслевых стандартов в качестве рекомендаций можно пользоваться данными табл. 9.2.

13.2. Контроль конических зубчатых колес

Принципиально система контроля конических колес, передач и пар устанавливается так же, как и цилиндрических, т. е. выбором специальных комплексов, с помощью которых выявляются определенные свойства колес и передач, и профилактическим контролем: станка, приспособления, инструмента и заготовки (см. табл. 9.3). Элементный контроль конических зубчатых колес в большинстве случаев осуществляется с помощью приборов, используемых для контроля цилиндрических зубчатых колес. Для этого предусмотрено, что измерительный узел может разворачиваться на угол конуса так, чтобы плоскость измерения становилась перпендикулярной образующей конуса.

Для большинства измерений установку этого угла не требуется производить с высокой точностью. В отдельных случаях требуется дополнительная установка колеса в осевом направлении, что несколько затрудняет измерение размеров конических колес.

Основные технические требования к приборам для измерения конических зубчатых колес приведены в ГОСТ 9459—87.

Средства измерения конических и гипоидных зубчатых колес, пар и передач приведены в табл. 13.1.

Контроль кинематической точности. Под кинематической точностью конических зубчатых колес понимают те же показатели (согласованность углов поворота), что и для цилиндрических передач, и в основном нормируют те же элементы. Различие заключается в том, что ГОСТ 1758—81 нормы задаются отдельно только для зубчатых колес, для зубчатой пары (колеса и шестерни без корпуса) и для зубчатой передачи (колеса и шестерни в собранной передаче). В качестве одной из радиальных составляющих дополнительно нормируется колебание бокового зазора в передаче. В качестве основного вида двухпрофильной комплексной проверки в стандарте указано колебание измерительного межосевого угла.

Комплексным показателем качества по нормам кинематической точности для колес и передач является наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса F'_i или передачи F'_{i0} или накопленная погрешность шага F_p .

Составной комплекс для колес складывается из биения зубчатого венца (радиальная составляющая) F_r и погрешности обката (тангенциальная составляющая) F_c . Для передач вместо измерения биения зубчатого венца предусмотрено измерение колебания бокового зазора F_{vj} . В комплексе, относящемся только к зубчатым парам, вместо биения зубчатого венца нормируется колебание измерительного межосевого угла за цикл пересопряжения $F'_{\Sigma 0}$. Для 9—12-й степени кинематическая точность передач определяется измерением только колебания бокового зазора F_{vj0} . Для зубчатых пар 9—12-й степени достаточно измерять колебание измерительного межосевого угла за полный цикл. Кинематическая точность колес 9—12-й степени может определяться измерением только биения зубчатого венца. У колес диаметром свыше 1600 мм измерение только радиального биения нормируется для колес 7-й степени и менее точных.

Измерение кинематической погрешности. Приборы для измерения кинематической погрешности конических колес появились в связи с развитием импульсной техники (фотоэлектрические датчики), которая дает возможность определить, согласовано ли вращение двух валов, без использования кинематических сложных механических передач между осями, расположенными под углом друг к другу. В приборах БВ-5083 и БВ-5094 (см. гл. 9) при измерении конических колес один из шпинделей разворачивается на угол 90° . На контроль-

13.1. Средства измерения конических и гипоидных зубчатых колес, пар и передач

Параметр	№ по пор.	Средство измерения, тип, модель. Завод-изготовитель	Размеры измеряемых колес, мм
<i>Нормы кинематической точности</i>			
Кинематическая погрешность зубчатого колеса F'_{ir} и передачи F'_{i0r}	1	Прибор для измерения кинематической погрешности мелко-модульных зубчатых колес, тип БВ-5083. ЧЗИП	$d=5...200$; $m=0,2...1$
	2	Прибор для измерения кинематической погрешности, тип БВ-5094. ЧЗИП	$d=20...320$; $m=1...8$
Накопленная погрешность шага F_{Pr} , F_{Pkr} [приборы непосредственного измерения F_{Pr}]	3	Прибор для измерения элементов маломодульных колес, тип БВ-5035, мод. 27400. «ИЗМЕРОН»	$d=5...160$; $m=0,15...1,25$
	4	Прибор универсальный автоматический для поэлементного измерения зубчатых колес. мод. 27501. «ИЗМЕРОН»	$d=20...400$; $m=0,2...18$
	5	Оптическая делительная головка и отсчетная линейная головка	$d \leq 250$
Колебания измерительного межосевого угла пары (измерительной пары) за полный цикл $F''_{i\Sigma 0r}$, за полный оборот зубчатого колеса $F''_{i\Sigma r}$	6	Контрольные приспособления, разрабатываемые на предприятиях	—
Биение зубчатого венца F_{rr}	7	Биениемер полуавтоматический, мод. 25004. «ИЗМЕРОН»	$d=5...200$; $m=0,2...2$
	8	Биениемер, тип Б-10М. ЧЗИП	$d=40...400$
	9	Прибор для измерения крупногабаритных зубчатых колес, тип БВ-5077. ЧЗИП	$d=320...1250$; $m \leq 16$
	10	См. п. 3, тип БВ-5035.15, п. 4—27500.19*	—

Продолжение табл. 13.1

Параметр	№ по пор.	Средство измерения, тип, модель. Завод-изготовитель	Размеры измеряемых колес, мм
Погрешность обката F_{cr}	11	Приборы для измерения накопленной погрешности шага, при этом исключается биение зубчатого венца; использование теодолита с автоколлиматором	—
Колебание бокового зазора в передаче F_{vjr}	12	Контрольно-обкатные станки. Саратовский завод зубострогальных станков и Саратовский завод тяжелых зуборезных станков (см. табл. 13.2)	—

Нормы плавности работы

Циклическая погрешность зубчатого колеса f_{zhr} , передач f_{zhor} , зубцовой частоты в передаче f_{zzor}	13	См. пп. 1 и 2	—
Отклонение шага f_{ptr}	14	Шагомер для измерения шага зацепления и разности шагов, тип БВ-5070. ЛИЗ	$m = 2...30$
	15	См. пп. 3, 4, 5	—
Погрешность обката зубцовой частоты f_{cr}	16	См. п. 11	—
Колебания измерительного межосевого угла пары (измерительной пары) на одном зубе f''_{iszr} (f''_{iszr})	17	См. п. 6	—

Нормы полноты контакта

Отклонение относительных размеров суммарной зоны касания F'_{str} , F'_{shr}	18	См. п. 12	—
Отклонения относительных размеров суммарного пятна контакта F_{str} , F_{shr}	19	Универсальные средства измерения собранной передачи	—

Продолжение табл. 13.1

Параметр	№ по пор.	Средство измерения, тип, модель. Завод-изготовитель	Размеры измеряемых колес, мм
Отклонение межосевого расстояния f_{ar}	20	См. п. 6	—
<i>Нормы бокового зазора</i>			
Гарантированный боковой зазор $f_{n min}$	21	Щуп, свинцовая проволока, отсчетная головка на штативе или стойке	—
Отклонения средней постоянной хорды зубьев E_{scs}	22	Зубомеры индикаторно-метрические, мод. БВ-5085-01. КРИН	$m = 2...16$; $m = 16...32$
Отклонение межосевого угла передачи $E_{\Sigma r}$	23	Универсальные средства или приспособления, разрабатываемые на предприятии. Проверка при рабочем монтаже	—

* Сменный узел.

но-обкатных станках Саратовского завода зубострогальных станков могут быть установлены датчики кинематомера для измерения кинематической погрешности зубофрезерных станков (см. гл. 9).

Измерение накопленной погрешности шага. Измерение накопленной погрешности шага должно осуществляться в сечении, перпендикулярном оси колеса. Во многих случаях, особенно когда угол конуса достигает большого значения при положении наконечника в плоскости, перпендикулярной оси колеса, под действием отсчетного устройства отжимается наконечник и при недостаточной его жесткости создает дополнительную погрешность. Исходя из этого в приборах часто предусматривают поворот измерительного узла на угол до 90° для того, чтобы установить измерительную плоскость перпендикулярно образующей делительного конуса. Непосредственный контроль накопленной погрешности шага можно осуществлять с помощью любых приборов, снабженных угловым отсчетным устройством, и, в частности, — делительной головки.

Измерение погрешности обката. Погрешности обката конических и цилиндрических колес — понятия идентичные. Однако для наиболее распространенного способа изготовления цилиндрических зубчатых колес — зубофрезерования — обкат является непрерывным процессом, а в большинстве станков, нарезающих конические колеса, обкат осуществляется непрерывно лишь на небольшом участке. Это несколько затрудняет измерение.

Помимо измерения накопленной погрешности шага с исключением доли, вносимой радиальным биением, измерение погрешности обката станка может осуществляться с помощью дифференциального индуктивного датчика БВ-5003

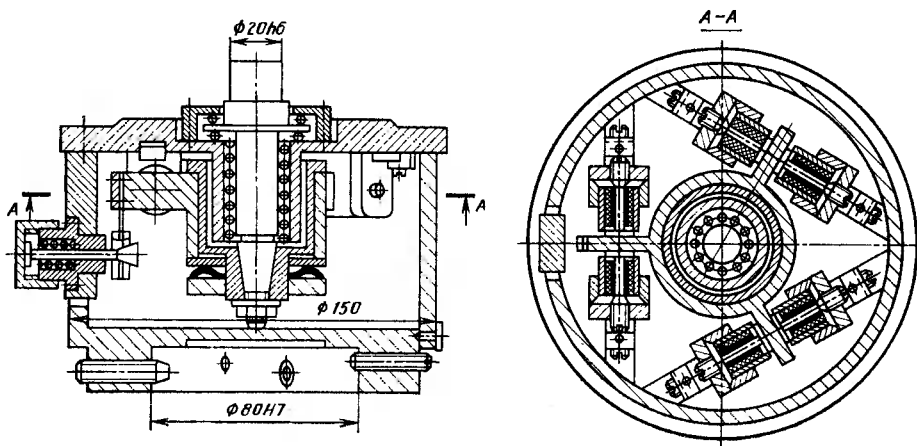


Рис. 13.1. Дифференциальный индуктивный датчик БВ-5003 для измерения кинематической погрешности зуборезных станков

(рис. 13.1). Катушки индуктивного датчика вместе с корпусом закрепляют на люльке станка, а якорь через поводок соединяют с инструментальной кареткой. Станок настраивают на передаточное отношение 1:1. Измерение осуществляется на заданном техническими условиями определенном числе зубьев. Обработкой результатов измерения можно определить отдельные составляющие погрешности кинематической цепи станка.

Измерение биения зубчатого венца. Согласно ГОСТ 1758—81 эти измерения следует осуществлять в направлении, перпендикулярном образующей делительного конуса на среднем конусном расстоянии от его вершины. Измерение биения зубчатого венца может осуществляться на приборах «ИЗМЕРОН» и ЧЗИП (см. гл. 9), используемых для измерения цилиндрических зубчатых колес, но с поворотом измерительного узла на требуемый угол (рис. 13.2).

Измерение колебания бокового зазора. В соответствии с ГОСТ 1758—81 этот параметр выявляют в собранной передаче и определяют как разность между наибольшим и наименьшим боковыми зазорами за полный цикл измерения относительного положения зубчатых колес. Колебание бокового зазора в основном зависит от биения зубчатого венца и погрешности шага. Измерение этого параметра осуществляется теми же методами, что и измерение гарантированного бокового зазора.

Измерение колебания измерительного межосевого угла за оборот. В качестве основного двухпрофильного комплексного метода измерения конических пар принято измерение колебания измерительного межосевого угла за оборот (рис. 13.3, а). Применение этого метода вместо метода измерения по смещению оси объясняется необходимостью сохранения правильных условий зацепления при уменьшении толщины зубьев колес.

Вместе с тем в примечании к таблицам стандарта указывается на допустимость вместо измерения колебания межосевого угла использовать:

колебание относительного положения зубчатых колес пары по нормали за полный цикл F''_{in0r} (рис. 13.3, б) и при этом принимать $F''_{in0} = F''_{i\sigma 0}$;

колебание измерительного межосевого угла измерительной пары $F''_{i\sigma r}$ или относительного положения зубчатых колес измерительной пары по нормали за

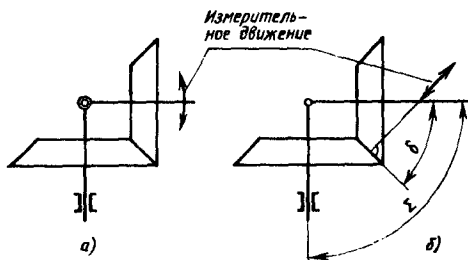
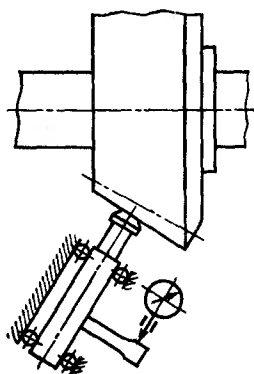


Рис. 13.3. Схемы измерения при двухпрофильном зацеплении колебания измерительного межосевого угла пары или колеса с измерительным колесом

Рис. 13.2. Схема измерения биения зубчатого венца конических зубчатых колес

оборот зубчатого колеса F_{in}'' . Допуски $F_{i\sigma}''$ и F_{in}'' устанавливаются равными $0,7F_{i\sigma}''$. Приборы для измерения межосевого угла не выпускаются инструментальной промышленностью и многие предприятия разрабатывают приспособления для конкретных размеров изготавливаемых колес. Чаще всего используется измерение по нормали (рис. 13.3, б).

Контроль плавности работы. Плавность работы конических передач определяется в основном теми же параметрами, что и параметры цилиндрических передач, поскольку понятие плавности для этих передач одинаковое. Комплексным показателем плавности работы являются циклические погрешности f_{zkr} и $f_{zkr\sigma}$, f_{z20r} , f_{cr} . Установить плавность работы колеса можно измерением отклонения шага f_{ptr} или разности любых шагов f_{Vptr} . Плавность работы зубчатых пар и колес можно установить при комплексном двухпрофильном измерении регистрации колебания межосевого угла на одном зубе $f_{i\sigma}''$.

Измерение циклических погрешностей. Это измерение для конических колес должно осуществляться одновременно с измерением кинематической погрешности. Для конических колес отсутствуют косвенные методы измерения циклической погрешности, применяемые для цилиндрических колес (например, измерение волнистости). Циклические погрешности непосредственно выявляются на приборах для измерения кинематической погрешности. Разновидность циклической погрешности — погрешность обката зубцовой частоты f_{cr} — можно определить при проверке погрешности обката зуборезного станка с помощью датчика, показанного на рис. 13.1.

Измерение отклонений шага. Под отклонением шага понимают кинематическую погрешность зубчатого колеса при его повороте на один номинальный угловой шаг. Обычно при измерении определяют разность действительного и среднего значения шага по окружности, проходящей в средней части по длине и высоте зуба с центром на рабочей оси вращения колеса. Для колес 9—12-й степени нормируется отклонение шага. Отклонения этого параметра колеса оказывают такое же влияние на работу, как погрешности шага зацепления цилиндрических зубчатых колес. Для конических колес невозможно нормировать погрешность шага зацепления, поскольку применяемое зацепление не является эвольвентным. При измерении отклонения шага на данном радиусе колеса нет необходимости знать действительное значение радиуса окружности, на котором осуществ-

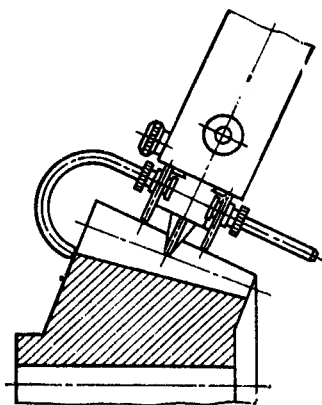


Рис. 13.4. Схема базирования накладных приборов при измерении шага конических зубчатых колес

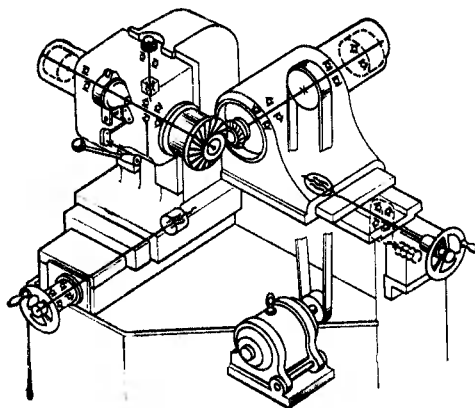


Рис. 13.5. Схема контрольно-обкатного станка

вляется измерение. Объясняется это тем, что поскольку относительные измерения всех шагов замыкаются по окружности, то сумма отклонений по всему венцу равна нулю. Следовательно, возможно применение простого способа определения отклонений шага по результатам измерения равномерности шагов. Последовательность определения следующая: а) отдельные показания f_{ni} , полученные при измерении, суммируют (находят Σf_{ni}); б) результаты делят на число зубьев колеса; в) из каждого показания прибора вычитают полученный при делении результат, т. е. находят $f_{ni} - \frac{1}{z} \Sigma f_{ni}$; г) полученные разности являются искомыми отклонениями шага.

Указанный способ определения отклонений шага используют в тех случаях, когда выполняют относительные измерения разности шагов с помощью шагомеров, настроенных по произвольной паре зубьев. Измерения эти осуществляются с помощью тех же приборов, которые используются для цилиндрических колес. На рис. 13.4 показан способ базирования накладных шагомеров на коническом колесе с помощью дополнительных упоров. В станковых приборах также используется двухточечная схема измерения, и в наиболее совершенных приборах вся обработка результатов измерения по приведенному выше алгоритму осуществляется с помощью микропроцессора, а поворот колеса от зуба к зубу производится автоматически или измерения выполняют при непрерывном вращении измеряемого колеса.

Более точные измерения отклонений шага в ручном режиме производят с помощью угломерных устройств, используемых для измерения накопленной погрешности шага.

Измерение разности шагов. Измерение этого показателя по сравнению с измерением, принятым для цилиндрических колес, отличается более сложным базированием конического колеса и прибора, для того чтобы обеспечить постоянство окружности измерения и перпендикулярность отсчетного накопника оси зубчатого колеса.

Измерение колебания измерительного межосевого угла на одном зубе осуществляется при комплексном измерении в двухпрофильном зацеплении (см. рис. 13.3, а, б).

Контроль контакта зубьев. Комплексным показателем, определяющим полностью контакта для зубчатой пары, нормируется суммарная зона касания, под которой понимают суммарное пятно контакта, полученное при покачивании и легком торможении ведомого зубчатого колеса пары, обеспечивающие непрерывное контактирование сопряженных зубьев на контрольно-обкатном станке.

Для зубчатых передач комплексным показателем нормируется суммарное пятно контакта, т. е. часть активной боковой поверхности зуба зубчатого колеса, на которой располагаются следы прилегания зубьев парного зубчатого колеса в собранной передаче после вращения под нагрузкой, установленной конструктором.

Дополнительно в отношении передач нормируется отклонение межосевого расстояния. Измерение этого параметра осуществляется измерением расположения посадочных мест в корпусе передачи и не имеет специфики, связанной с зубчатым венцом.

Измерение пятна контакта распространено при производстве конических зубчатых колес. Очень часто это измерение зубчатой пары на заводе является единственным способом измерения. Однако это может быть оправдано только в отношении передач, основным требованием к которым является заданное расположение пятна контакта, т. е. нагруженных тихоходных передач. Для кинематических передач измерение только пятна контакта является недостаточным и должно дополняться измерением равномерности углового расположения зубьев, например измерением погрешности шага.

Определение пятна контакта и зоны касания чаще всего производится на контрольно-обкатных станках (рис. 13.5, табл. 13.2). О методах исправления пятна контакта см. гл. 11 и 12. При определении пятна контакта применяют краску (см. гл. 9).

Контроль бокового зазора. Наименьший из возможных в передаче боковых зазоров, измеряемый по нормали к поверхностям зубьев на среднем конусном расстоянии, так же, как и в цилиндрических передачах, должен быть достаточным для обеспечения работы передачи. Этот зазор должен быть таким, чтобы компенсировались возможные изменения размеров колес, возникающие при нагреве передачи в рабочих условиях, обеспечивались условия смазывания зубьев, а также не допускались удары нерабочих профилей при разрыве контакта по рабочим сторонам зубьев вследствие динамических явлений в передаче. Боковой зазор пары чаще всего определяют на контрольно-обкатном станке, и результаты измерения используются для подналадки зубообрабатывающего станка.

Боковой зазор в передаче определяют с помощью щупов, свинцовой пластины или же по стрелочному отсчетному устройству. В стандарте указано, что гарантированный боковой зазор в передаче обеспечивается выбором предельного отклонения межосевого угла передачи (E_Σ), наименьшего отклонения средней постоянной хорды зубьев (E_{scs}) и допусков на них.

Измерение межосевого угла в передаче производится по посадочным местам в корпусе передачи.

Измерение постоянной хорды зубьев осуществляется при наладке операции зубообработки с помощью хордовых зубомеров (см. гл. 9) обычно в месте пересечения основного и дополнительного конусов (у большого основания). Невозможность измерения смещения исходного контура, как в ци.

13.2. Основные параметры контрольно-обкатных станков

Станок	Наибольший главный диаметр колеса, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Мощность, ^{*3} кВт	Масса, т
Контрольно-обкатной 5Б720 универсальный для конических зубчатых колес повышенной точности	125	600—10 000	0,9	1
Контрольно-обкатной 5Б722 для конических зубчатых колес повышенной точности ^{*1}	200	800—1200	1,8/2,1	1,7
Контрольно-обкатной 5Г725Ф1 универсальный высокой точности	500	640—1265	2,2/3,6	4,2
Контрольно-обкатной 5Б725 для конических зубчатых колес повышенной точности	500	625—1250	2,2/3,6	3,07
То же, производционный 5Д725	500	3000	6,5	6,29
Контрольно-обкатной 5К725Ф1 для конических зубчатых колес высокой точности ^{*2}	500	680—1260	2,2/3,6	4,2
Контрольно-обкатной 5Б726 универсальный повышенной точности	800	1250	6/9	7,0
Контрольно-обкатной 5А727 универсальный повышенной точности	1600	800	7,5/14	8,0

^{*1} Исполнение специальное.

^{*2} С 1988 г. заменен 5Б725.

^{*3} В числителе минимальные, в знаменателе максимальные значения.

Примечание. Станки 5Б726 и 5А727 изготавливает Саратовский завод тяжелых зубо-резных станков, остальные — Саратовский завод зубострогальных станков.

линдрических передачах, вынуждает производить измерения толщины зубьев с помощью приборов с кромочными наконечниками. Основными недостатками их являются необходимость измерения по кромке зубьев и быстрый износ губок в связи с точечным контактом. Расчет размеров постоянной хорды и высоты до постоянной хорды приведен в справочнике [4].

Толщина зуба может быть определена при центрировании колеса на оправке и осевом базировании с помощью сферического наконечника, входящего во впадину между зубьями, по его радиальному или осевому смещению по отношению к расчетному положению. Расчет координат расположения центра шарика от оси колеса и базового торца приведен в работе [5]. Такие измерения являются наиболее точным методом контроля толщины зуба.

В некоторых случаях находит применение контроль толщины зуба по роликам. При измерении используют три одинаковых конических ролика с заданным углом, которые вставляют во впадины между зубьями контролируемого колеса. Колесо вместе с роликами помещают в приспособление, имеющее конусное отверстие с расчетным углом. Контроль ведут по размеру до базового торца. Расчеты, которые необходимо выполнять в соответствии с указанным методом, см. в работе [5].

Проверку толщины зубьев можно осуществлять и при комплексном двухпрофильном измерении. Различие в выполнении измерений заключается только в том

что в этом случае осуществляется настройка на номинальный межосевой угол. В условиях массового и серийного производства для настройки могут быть использованы гладкие диски. Размеры этих дисков рассчитываются, как для обкатного станка (см. рис. 13.5), по заданным базорасстояниям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калашников С. Н., Калашников А. С. Зубчатые колеса и их изготовление. М.: Машиностроение, 1983. 264 с.
2. Калашников С. Н., Калашников А. С. Изготовление зубчатых колес. Изд. 2-е, переработ. и доп. М.: Высшая школа, 1986. 287 с.
3. Кедринский В. Н., Писмаиик К. М. Станки для обработки конических зубчатых колес. Машиностроение, 1967. 583 с.
4. Производство зубчатых колес/С. Н. Калашников, Г. И. Коган, И. С. Козловский и др.; Под ред. Б. А. Тайца. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1975. 728 с.
5. Прямозубые конические передачи. Справочник/И. А. Болотовский, Б. И. Гурьев, В. Э. Смирнов, Б. И. Шендерей. М.: Машиностроение, 1981. 105 с.
6. Сильвестров Б. Н. Справочник молодого зуборезчика. М.: Высшая школа, 1981. 198 с.
7. Хлебалин Н. Ф. Нарезание конических зубчатых колес. Л.: Машиностроение, 1978. 160 с.

РАЗДЕЛ IV

Производство червячных передач

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ БУКВЕННЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ (ГОСТ 18498—73)

Латинский алфавит

- a — делительное межосевое расстояние червячной передачи
- b_1 — длина нарезанной части червяка
- b_2 — ширина венца червячного колеса
- c — радиальный зазор червячной передачи
- c_1 — радиальный зазор у поверхности впадин червяка червячной передачи
- c_2 — радиальный зазор у поверхности впадин червячного колеса червячной передачи
- d — средний диаметр червяка (червячного колеса)
- d — делительный диаметр червяка (червячного колеса)
- d_a — диаметр вершин витков червяка (зубьев червячного колеса)
- $d_{ам1}$ — наибольший диаметр вершин витков глобоидного червяка
- $d_{ам2}$ — наибольший диаметр червячного колеса
- d_b — основной диаметр червяка
- d_D — диаметр направляющего цилиндра
- D_F — диаметр образующей делительного глобоида
- d_f — диаметр впадин червяка (червячного колеса)
- D_p — диаметр профильной окружности глобоидного червяка
- d_w — начальный диаметр червяка (червячного колеса)
- h_1 — высота витка
- h_2 — высота зуба червячного колеса
- h_{a1} — высота делительной головки витка
- \bar{h}_{a1} — высота до хорды витка
- \bar{h}_{a1} — делительная высота до хорды витка
- h_{a2} — высота делительной головки зуба червячного колеса
- \bar{h}_{a2} — высота до хорды зуба червячного колеса
- \bar{h}_{a2} — делительная высота до хорды зуба червячного колеса
- $h_{ак1}$ — притупленная высота делительной головки витка
- $h_{ак2}$ — притупленная высота делительной головки зуба червячного колеса
- \bar{h}_{aw1} — начальная высота до хорды витка
- \bar{h}_{aw2} — начальная высота до хорды зуба червячного колеса
- h_w — глубина захода червячной передачи
- h_{f1} — высота делительной ножки витка
- h_{f2} — высота делительной ножки зуба червячного колеса
- h_j — высота скоса витка глобоидного червяка

- $h_{к1}$ — притупленная высота витка
- $h_{к2}$ — притупленная высота зуба червячного колеса
- h_{l1} — граничная высота витка
- h_{l2} — граничная высота зуба червячного колеса
- h_{wa1} — высота начальной головки витка
- h_{wa2} — высота начальной головки зуба червячного колеса
- h_{wf1} — высота начальной ножки витка
- h_{wf2} — высота начальной ножки зуба червячного колеса
- j_t — окружной боковой зазор червячной передачи
- j_φ — угловой боковой зазор червячной передачи
- K_c — рабочий обхват червяка
- K_T — теоретический обхват червяка
- m — расчетный модуль червяка (червячного колеса)
- p — расчетный шаг червяка
- p — расчетный шаг зубьев червячного колеса
- p_x — средний ход витка разноходового червяка
- p_{x1} — больший ход витка цилиндрического разноходового червяка
- p_{x2} — меньший ход витка цилиндрического разноходового червяка
- q — коэффициент диаметра червяка
- s — расчетная толщина витка
- \underline{s}_{a1} — толщина по хорде витка
- \underline{s}_{a1} — делительная толщина по хорде витка
- \underline{s}_{a2} — толщина по хорде зуба червячного колеса
- \underline{s}_{a2} — делительная толщина по хорде зуба червячного колеса
- \underline{s}_{aw1} — начальная толщина по хорде витка
- \underline{s}_{aw2} — начальная толщина по хорде зуба червячного колеса
- s_j — наибольшая глубина продольной модификации линии витка глобоидного червяка
- x — коэффициент смещения червяка
- z_c — число зубьев червячного колеса в обхвате

Греческий алфавит

- α_b — угол основного профиля витка
- α_{ft} — торцовый угол образующей прямой поверхности витка
- α_{fx} — осевой угол образующей прямой поверхности витка
- α_{ns} — угол профиля в нормальном сечении впадины червяка
- α_{nt} — угол профиля в нормальном сечении витка
- α_0 — угол профиля производящей поверхности
- γ — угол подъема линии витка
- γ — делительный угол подъема линии витка
- γ — максимальный делительный угол подъема линии витка глобоидного червяка
- γ_a — угол подъема линии вершин витка
- γ_b — основной угол подъема линии витка червяка
- γ — угол подъема линии впадин витка
- γ_w — начальный угол подъема линии витка
- Δ — глубина продольной модификации линии витка глобоидного червяка

- Δ_j — глубина скоса витка глобоидного червяка
 Δ_s — наибольшая расчетная глубина продольной модификации линии витка глобоидного червяка
 $2\alpha_c$ — угол расчетного обхвата глобоидного червяка
 $2\alpha_t$ — угол теоретического обхвата линейчатого глобоидного червяка
 $\rho_{\text{но}}$ — радиус скругления кромки производящей поверхности

Глава 14

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЧЕРВЯКОВ И ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС

14.1. Классификация технологических процессов изготовления червяков и червячных колес

В зависимости от геометрической формы делительной поверхности червяков технологические процессы механической обработки элементов червячных передач можно разделить на три основных вида: изготовление цилиндрических червяков; изготовление глобоидных червяков; изготовление червячных колес. В зависимости от межосевого расстояния червячной передачи технологические процессы механической обработки элементов передач условно можно разделить на два вида: для межосевых расстояний до 250 мм; для межосевых расстояний свыше 250 мм.

В зависимости от степени точности червячной цилиндрической (ГОСТ 3675—81) и глобоидной (ГОСТ 16502—83) передач технологические процессы механической обработки можно разделить на три вида: изготовление червячных цилиндрических передач 3—5-й степени точности; изготовление червячных цилиндрических и глобоидных передач 6—7-й степени точности; изготовление червячных цилиндрических и глобоидных передач 8-й степени точности и менее точных.

Технологические процессы механической обработки можно разделить в зависимости от масштаба производства: единичное и мелкосерийное производство червячных передач, серийное производство червячных передач, массовое производство червячных передач.

Технологические процессы механической обработки можно разделить в зависимости от способа получения заготовок:

1) заготовки для червяков является прокат, а заготовкой для колеса — отливка или поковка;

2) заготовки червяков и червячных колес получены свободной ковкой, штамповкой в открытых штампах или литьем в форму, изготовленную по деревянной модели методом ручной формовки;

3) заготовки червяков и червячных колес получены штамповкой в закрытых штампах или отлиты в форму, изготовленную по металлической модели методом машинной формовки;

4) заготовки червяков и червячных колес получены методом горячей высадки в закрытых штампах или винтовой прокаткой, литьем по выплавляемым моделям или в пресс-форму под давлением.

В зависимости от требований к термической обработке червяков технологические процессы можно разделить на три вида: изготовление червяков, не подвергаемых термической обработке; изготовление червяков, термически обработанных

до твердости HRC_{ϕ} 38; изготовление червяков, термически обработанных до твердости выше HRC_{ϕ} 38.

В зависимости от геометрической формы делительной поверхности червяка выбирают типы и модели применяемого оборудования, конструкцию инструмента и приспособлений, установочные базы при обработке. Диаметр червячного колеса влияет на выбор типа и модели оборудования. Степень точности червячной передачи определяет структуру операций в технологическом процессе, необходимость дополнительных отделочных и доводочных операций по обработке базовых поверхностей и боковых поверхностей витков и зубьев, влияет на качество наладки станков, точность применяемого оборудования, точность изготовления инструмента, а также режимы резания. Масштаб производства определяет технологический процесс, необходимость применения принципиально иных методов обработки, иных типов оборудования, приспособлений и инструмента. Способ получения заготовок оказывает влияние на трудоемкость операций предварительной обработки и металлоемкость изделия. Наличие или отсутствие термической обработки определяет структуру технологического процесса механической обработки, необходимость изменения порядка операций и их выполнения, а также дополнения или исключения отдельных операций.

Для обеспечения высокой производительности оборудования при изготовлении червячных передач и получения высококачественных показателей работы самой передачи необходимо, чтобы конструкция червячной пары отвечала технологическим требованиям, приведенным ниже.

1. При выборе материала заготовки следует не только учитывать его механическую характеристику, но и предусматривать получение форм и размеров заготовки наиболее простым способом.

2. Простота геометрических форм с учетом склонности материала к термическим деформациям должна быть положена в основу конструкции деталей червячной пары.

3. Необходимо по возможности нормализация элементов зацепления для унификации инструмента и технологического процесса.

4. Требования в чертеже к точности и параметрам шероховатости обработанных поверхностей деталей должны соответствовать эксплуатационным требованиям.

5. Следует выделять поверхности, обеспечивающие высокое качество базирования заготовки при обработке. Опорные шейки и торцы, являющиеся монтажной базой в передаче, должны быть по возможности приняты в качестве технологической и контрольной базы. В ряде случаев в конструкции должны быть предусмотрены специальные базовые поверхности.

6. Заготовки должны обладать необходимой жесткостью при обработке.

7. При необходимости должны быть предусмотрены специальные технологические отверстия, торцы и другие элементы.

14.2. Технологические требования к оформлению чертежей на червяки и червячные колеса

Правила выполнения рабочих чертежей червяков и колес цилиндрических червячных передач установлены ГОСТ 2.406—76, червяков и колес глобоидных передач — ГОСТ 2.407—75. Технология изготовления червячных передач, степень точности и другие параметры должны быть указаны в рабочих чертежах. На рабочем чертеже червяка и червячного колеса должны быть приведены все необ-

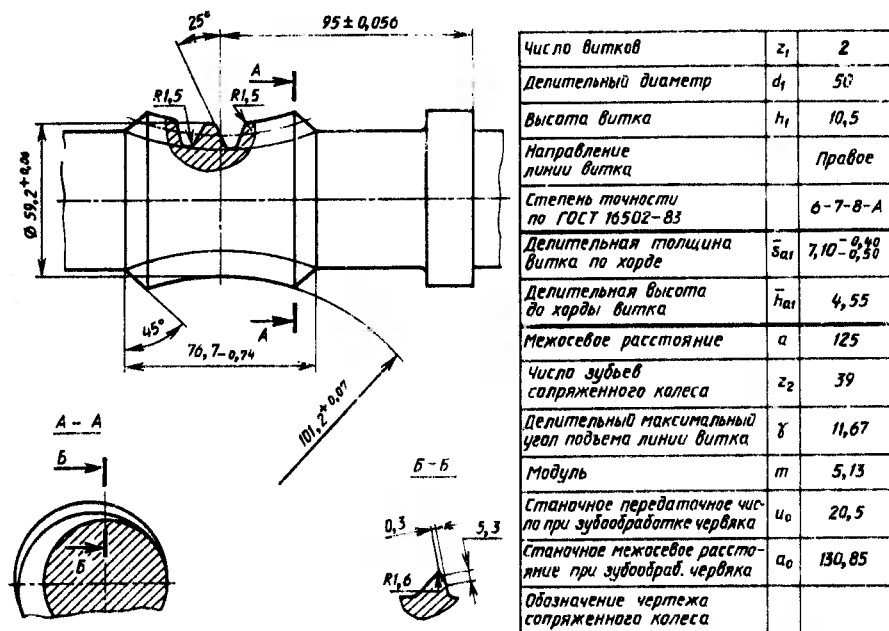


Рис. 14.1. Пример оформления чертежа нарезанной части глобоидного червяка

ходимые размеры, обеспечивающие разработку технологического процесса, проектирование и изготовление инструмента, наладку станков без дополнительных расчетов, связанных с нахождением основных параметров детали. При оформлении рабочих чертежей необходимо также учитывать и технологические требования.

На рис. 14.1 и 14.2 приведены примеры оформления рабочих чертежей соответственно на нарезанную часть глобоидного червяка и зубчатого венца колеса глобоидной передачи в соответствии с ГОСТ 2.407—75.

14.3. Принципы выбора технологических баз обработки червяков и колес, оборудования и технологической оснастки

Одной из важнейших задач при проектировании технологических процессов механической обработки заготовок колес червячных передач является выбор установочных баз как для первых, так и для последующих операций, а также и соблюдение единства баз в процессе всей обработки с минимальным числом перестановок.

Различают три вида установочных баз: 1) конструктивные или монтажные, которые определяют положение детали в собранном агрегате; 2) технологические, определяющие положение заготовки относительно режущего инструмента; 3) контрольные, от которых определяют размеры детали при изготовлении и окончательном контроле.

Наибольшую точность и лучшие условия работы червячной пары при эксплуатации всегда можно получить в случае, когда все три базы будут совпадать и являться поверхностями, определяющими положение детали в собранном агрегате. Если в процессе обработки конструктивные и технологические базы не совпадают, они должны быть точно и концентрично расположены между собой.

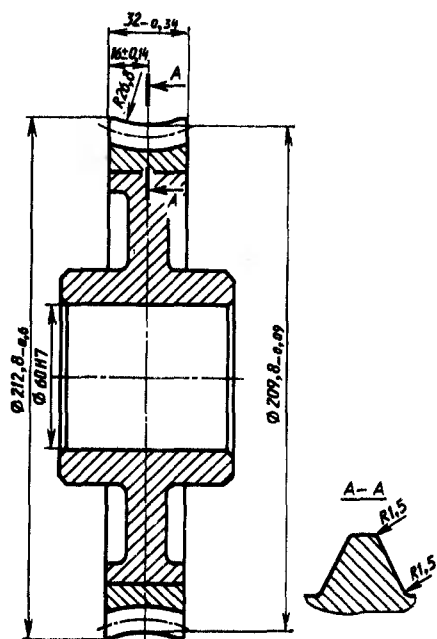
При выборе базисуемых поверхностей необходимо учитывать следующие обстоятельства: базисуемые поверхности должны быть выбраны так, чтобы при установке на них заготовки и зажиме ее заготовка не смещалась со своего положения и не деформировалась в недопустимых пределах под действием сил зажима и резания; базисуемые поверхности должны быть достаточной протяженности и расположены близко к месту приложения сил резания; точность установки заготовки будет зависеть от отклонений размеров и геометрической формы опорных установочных баз.

Для восприятия больших сил резания, возникающих при нарезании зубьев червячного колеса, в качестве опорной технологической базы рекомендуется использовать один из торцов зубчатого венца колеса, обработанный совместно с основными посадочными поверхностями.

На рис. 14.3 — 14.6 приведены примеры правильного и неправильного базирования колеса и червяка червячной пары при нарезании зубьев.

На рис. 14.3 показана схема установки червячного колеса при зубонарезании с установочной базой по центральному отверстию и опорой на торец ступицы, который значительно удален от точки резания вследствие малых размеров. При таком базировании заготовки происходит деформирование колеса и отклонение профиля зуба. Заготовку следует устанавливать по центральному отверстию с опорой на торец обода колеса (см. рис. 14.4).

При окончательном нарезании витков червяка возникают большие силы резания, а поэтому установка заготовки только в центрах (см. рис. 14.5) недостаточно жесткая. Наиболее точное и жесткое базирование заготовки показано на рис. 14.6. Такое базирование предотвращает дробление и повышенное биение монтажных шеек.



Число зубьев	z_2	39
Делительный диаметр	d_2	200
Высота зуба	h_2	10,5
Направление линии зуба		Правое
Степень точности по ГОСТ 16502-83		6-7-8-A
Делительная толщина зуба по хорде	\bar{s}_{a2}	6,52-0,18
Делительная высота до хорды зуба	\bar{h}_{a2}	4,98
Межосевое расстояние	a	125
Число витков сопряженного червяка	z_1	2
Модуль	m	5,13
Обозначение чертежа сопряженного червяка		

Рис. 14.2. Пример оформления чертежа зубчатого венца колеса глобоидной передачи

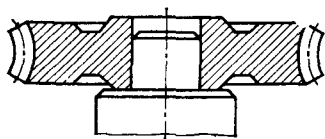


Рис. 14.3. Схема установки колеса червячной передачи при нарезании зуба — неправильная

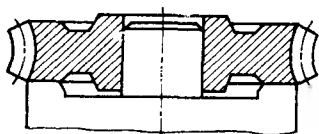


Рис. 14.4. Схема установки колеса червячной передачи при нарезании зуба — правильная

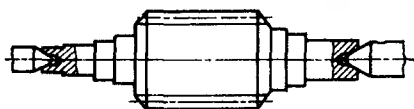


Рис. 14.5. Схема установки червяка при чистовом нарезании витка — нежесткая

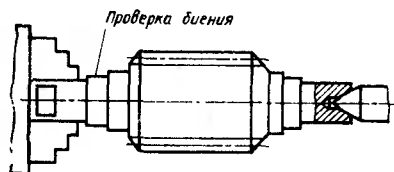


Рис. 14.6. Схема установки червяка при чистовом нарезании витка — жесткая

При выборе оборудования следует исходить из следующих условий: станок должен соответствовать габаритам обрабатываемой заготовки и обеспечивать точность параметров детали, зависящих от станка, в соответствии с требованием рабочего чертежа; мощность станка должна обеспечивать съем стружки на прогрессивных режимах резания, особенно на черновых операциях; станок должен иметь достаточную жесткость, при которой деформации под действием сил резания не влияют на точность изготовления деталей.

Выбор приспособления в основном сводится к решению следующих вопросов: целесообразность применения приспособления вообще; применения того или иного приспособления с учетом экономичности и обеспечения точности изготовления детали; надежность крепления заготовки на станке.

14.4. Рекомендуемые варианты зубообработки заготовок червяков и червячных колес

Технологический процесс обработки заготовок червяков и червячных колес состоит из нескольких основных этапов.

1. Обработка заготовки резанием для получения необходимых геометрических форм, а также основных базовых поверхностей. При изготовлении червяков, не подвергающихся термической обработке, осуществляют обработку всех поверхностей до получения размеров, заданных рабочим чертежом.

2. Повторная обработка резанием и дополнительное формообразование детали. Для червяков и колес, не подвергающихся термической обработке, производят обработку до получения монтажных размеров.

3. Черновое и чистовое зубонарезание червяков и колес, не подвергающихся термической обработке. У червяков, подвергающихся термической обработке, выполняют черновое зубонарезание.

4. Термическая обработка.

5. Обработка монтажных и базовых поверхностей после термической обработки.

6. Окончательная обработка и отделка витков червяков после термической обработки.

Ниже приведены рекомендуемые варианты зубообработки червяков и колес силовых червячных цилиндрических передач (табл. 14.1) и глобоидных передач (табл. 14.2).

14.1. Варианты зубообработки червяков и колес силовых червячных цилиндрических передач

Межосевое расстояние червячной цилиндрической передачи a_w , мм	Производство		
	единичное и мелкосерийное	среднесерийное	массовое
<i>Червяк</i>			
До 250 включительно	Черновая зубообработка: Фрезерование дисковой фрезой Нарезание профильным резцом	Вихревое фрезерование Фрезерование дисковой фрезой или долбяком	Горячее накатывание Холодное накатывание Вихревое фрезерование
	Чистовая зубообработка: Нарезание профильным резцом (при $HRC_a \leq 38$) Шлифование (при $(HRC_a > 38)$)		Холодное накатывание Шлифование
Свыше 250	Черновая зубообработка: Фрезерование дисковой или пальцевой фрезой Нарезание профильным резцом		— —
	Чистовая зубообработка: Нарезание профильным резцом Шлифование		—
<i>Колесо</i>			
Любое	Фрезерование червячной фрезой Нарезание фрезой-летучкой	Фрезерование червячной фрезой	

14.2. Рекомендуемые варианты зубообработки червяков и колес силовых глобоидных передач

Межосевое расстояние глобоидной передачи a , мм	Производство		
	единичное и мелкосерийное	среднесерийное	массовое
<i>Червяк</i>			
До 250 включительно	Нарезание трех-резцовой головкой	Нарезание много-резцовой головкой	Черновое и чистовое нарезание специальными многорезцовыми головками или сборными долбяками
	Нарезание универсальной резцовой головкой (для $a \geq 125$ мм)		

Продолжение табл. 14.2

Межосевое расстояние глобоидной передачи a , мм	Производство		
	единичное и мелкосерийное	среднесерийное	массовое
<i>Червяк</i>			
Свыше 250	Черновое фрезерование пальцевой или дисковой фрезой Чистовое нарезание универсальной резцовой головкой Черновое и чистовое нарезание трех-резцовой головкой		—
<i>Колесо</i>			
До 250 включительно	Нарезание фрезой-летучкой		Фрезерование глобоидной фрезой
Свыше 250	Нарезание фрезой-летучкой		—

Глава 15

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

15.1. Обработка витков цилиндрических червяков

Нарезание витков цилиндрических червяков в зависимости от масштаба производства и твердости может производиться различными способами. В единичном и мелкосерийном производстве червяки, не подвергаемые термической обработке или термически обработанные до твердости $HRC_{\text{в}} 38$, нарезают профильными резцами, дисковыми или пальцевыми фрезами, а при серийном и массовом производстве — вихревым способом или пластическим деформированием. Для червяков, закаленных до твердости $HRC_{\text{в}} 51$ и более, финишной операцией обработки рабочих поверхностей витков является шлифование.

Нарезание цилиндрических червяков профильными резцами выполняют на токарно-винторезных станках, позволяющих нарезать модульную резьбу. Наиболее благоприятные условия резания создаются в случае установки резца вдоль оси заготовки. Это следует учитывать при черновом нарезании витков, когда могут быть использованы резцы прямолинейного профиля при условии, что возникающая погрешность профиля будет исправлена при чистовой обработке. Для получения наименьшей погрешности профиля витка, представляющего собой линейчатую поверхность, чистовое нарезание следует производить резцом с прямолинейной режущей кромкой с учетом особенностей образования боковой поверхности витка червяка (рис. 15.1).

Архимедов червяк ZA имеет прямолинейный профиль витка в осевом сечении AA и криволинейный профиль в нормальном сечении. Торцовое сечение вит-

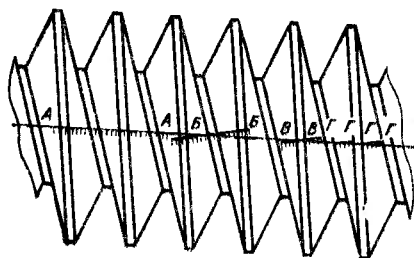


Рис. 15.1. Сечения цилиндрических червяков:

AA — осевое; BB — нормальное, впадине; BB' — сечение, нормальное витку; GG' — сечения, нормальные линиям витка

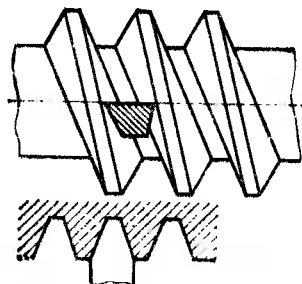


Рис. 15.2. Схема установки двустороннего резца при нарезании червяка ZA

ка — архимедова спираль. Эвольвентный червяк ZI имеет прямолинейный профиль витка в сечении плоскостью, касательной к основному цилиндру, и криволинейный профиль в нормальном сечении; торцовое сечение — эвольвента. Виток конволютного червяка ZN1 имеет прямолинейный профиль в сечении BB, перпендикулярном витку, виток червяка ZN2 — в сечении BB', перпендикулярном впадине, а виток червяка ZN3 — в сечениях GG', перпендикулярных линиям витка. Все конволютные червяки имеют в осевом сечении AA криволинейный профиль витка, а в торцовом сечении — удлиненную или укороченную эвольвенту.

Наиболее технологичны червяки ZA, обработка которых на токарном станке практически ничем не отличается от обработки винтов с трапецидальной резьбой. Резец устанавливают так, чтобы его режущие кромки лежали в осевой плоскости червяка. Установка двустороннего резца с прямолинейным профилем показана на рис. 15.2. Этот способ нарезания витка может быть рекомендован только для червяков с малым углом подъема линии витка вследствие различия условий резания по левой и правой сторонам. Для чистового нарезания червяков ZA с углом подъема линии витка до 10° рекомендуется раздельная обработка левой и правой сторон витка односторонними резцами.

Установка односторонних резцов показана на рис. 15.3. При нарезании витков червяка односторонним резцом возможна поочередная обработка обеих сторон впадины одним резцом путем разворота червяка.

При углах подъема линии витка $\gamma > 8^\circ$ целесообразно использовать конволютные червяки ZN. Установка резца для нарезания витка червяка ZN2 с прямолинейным профилем в нормальном по впадине сечении показана на рис. 15.4. Нарезание червяков с большим углом подъема линии витка одним резцом не рекомендуется из-за неблагоприятных условий резания. Установка резцов при нарезании витка червяка ZN1 с прямолинейным профилем в нормальном по витку сечении показана на рис. 15.5. Нарезание в данном случае в отличие от нарезания червяка ZN2 выполняется раздельно для каждой стороны впадины. Установка резца для нарезания витка червяка ZN3 с прямолинейным профилем в сечении, нормальном профилю, та же, что для нарезания витков червяка ZN2.

При нарезании эвольвентного червяка ZI резцы, имеющие прямолинейный профиль, устанавливают так, чтобы горизонтальная плоскость, проходящая через режущую кромку, была касательной к основному цилиндру. Установка резцов при нарезании эвольвентных червяков показана на рис. 15.6, 15.7. Установка резцов со смещением от осевой плоскости вследствие неблагоприятных

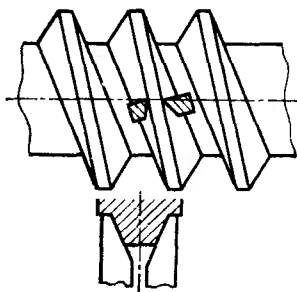


Рис. 15.3. Схема установки односторонних резцов при нарезании червяка ZA

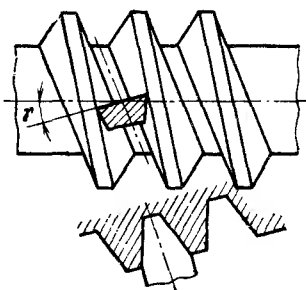
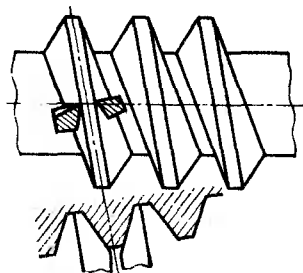


Рис. 15.4. Схема установки двустороннего резца для нарезания витка червяка ZN2



(с прямолинейным профилем в нормальном по впадине сечении)

Рис. 15.5. Схема установки резцов для нарезания витка червяка ZN1 (с прямолинейным профилем в нормальном по витку сечении)

условий резания при углах подъема более 5° не рекомендуется. Червяки с углом подъема витка больше 5° рекомендуется резать профильными резцами с криволинейным профилем в осевом или нормальном сечениях. Смещение резца от осевой плоскости при его установке можно подсчитать по формуле $r_b = z_1 m / (2\pi \operatorname{tg} \alpha_b)$, где r_b — основной радиус червяка; z_1 — число витков червяка; m — расчетный модуль червяка; $\alpha_b = \gamma_b$ — профильный угол резца, равный основному углу подъема линии витка червяка.

При нарезании многovitковых червяков большое влияние на точность шага червяка оказывает метод деления. Существует несколько методов деления на витки: с помощью специального патрона, имеющего делительный диск с числом пазов, кратным числу витков нарезаемого червяка; поворотом одной сменной шестерни, имеющей число зубьев, кратное числу витков нарезаемого червяка, относительно другой сменной шестерни; перемещением поперечного суппорта с резцом на расстояние, равное шагу червяка.

Нарезание червяков профильными резцами является операцией малопроизводительной, но широко применяется благодаря простоте выполнения и малой стоимости инструмента.

Нарезание цилиндрических червяков дисковыми фрезами является операцией более производительной, чем нарезание профильными резцами. Дисковую фре-

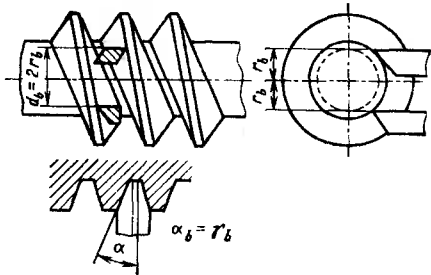


Рис. 15.6. Схема установки резцов для нарезания правого червяка Z1

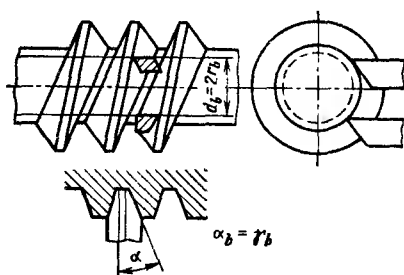
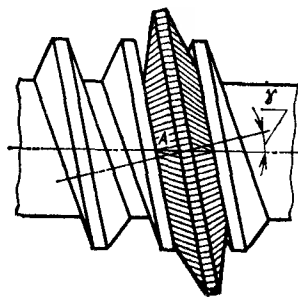


Рис. 15.7. Схема установки резцов для нарезания левого червяка Z1

Рис. 15.8. Схема установки дисковой фрезы при нарезании цилиндрических червяков



зу следует устанавливать так, чтобы средняя точка фрезы *A* (рис. 15.8) была в горизонтальной осевой плоскости червяка, а ось вращения фрезы нужно наклонять на угол, равный углу подъема γ линии витка червяка. При такой установке червяк профилируется в нормальном сечении по впадине. В процессе фрезерования фасонной дисковой фрезой возможно получение червяков, имеющих прямолинейные профили витков в сечениях, показанных на рис. 15.1. Дисковой фрезой с прямолинейным профилем обрабатывается нелинейчатый, образованный конусом червяк *ZK1*, имеющий криволинейный профиль во всех сечениях.

Нарезание червяков дисковыми фрезами в основном применяют для чернового фрезерования витков червяка и червяков не точнее 9-й степени точности. Для облегчения производства червяков *ZI* и *ZN* допускается использовать фрезы, имеющие прямолинейный профиль при условии, что получаемая погрешность профиля червяка будет меньше припуска, оставляемого на чистовую обработку.

Вихревое нарезание витков нетермообработанных или улучшенных заготовок червяков широко применяют в серийном и массовом производстве. При вихревом нарезании используют два способа обработки: с внутренним касанием (рис. 15.9, а) и с внешним касанием (рис. 15.9, б). Несмотря на то, что при обработке с внутренним касанием допускаются повышенные круговые подачи и получается меньшая огранка обрабатываемых поверхностей, наибольшее применение получила обработка с внешним касанием. Приспособления, используемые при обработке этим способом, более просты в изготовлении и наладке, значительно проще установка, выверка и закрепление резцов в головке, удаление стружки, установка и снятие заготовки.

Обработку с внутренним касанием применяют для нежестких одно- и двух-витковых червяков небольших размеров ($m < 3$ мм, $q < 8$). Для червяков, подвергаемых термической обработке, вихревое нарезание является предварительной операцией, выполняемой с припуском под шлифование.

Накатывание витков червяка — наиболее производительный и наименее материалоемкий способ обработки. Накатывание производят на роликовых накатных станках (станах). Червяки с $m < 3$ мм накатывают на двухроликовых станках в холодном состоянии, а при $m \geq 3$ мм — на трехроликовых станах, нагревая заготовку обычно с помощью ТВЧ. Принципиальные схемы накатных станков показаны на рис. 15.10.

Для холодного накатывания в СССР выпускают в основном двухроликовые станки нескольких моделей. Станок ГД-8 служит для накатывания резьб и червяков с $m \leq 2$ мм (при угле подъема $\gamma \leq 7^\circ$). Станок А-2528 предназначен для накатывания метрических и трапецеидальных резьб, а также червяков с $m \leq 2,5$ мм (при угле подъема $\gamma \leq 7^\circ$). Станок А-9527 служит для накатывания метрических и трапецеидальных резьб, а также червяков с $m \leq 4$ мм (при угле подъема $\gamma \leq 25^\circ$).

Отклонения размеров, мм, винтовых поверхностей червяков, получаемых холодным накатыванием (при $m = 1 \dots 2$ мм), следующие:

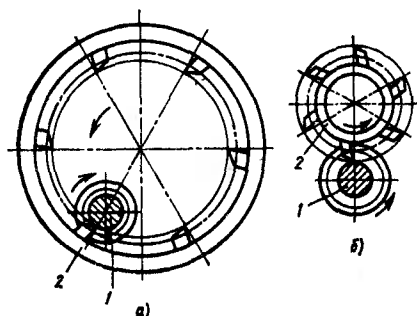


Рис. 15.9. Схемы вихревого нарезания витков при касании:

а — внутреннем; б — внешнем; 1 — заготовка; 2 — инструмент

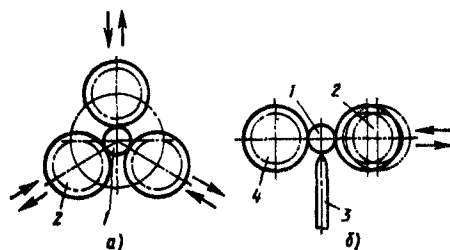


Рис. 15.10. Принципиальные схемы стоек для накатывания червяков:

а — трехвалкового; б — двухвалкового; 1 — заготовка; 2 — подвижные валки; 3 — поддерживающий нож; 4 — неподвижный валок

По шагу	0,015
По толщине зуба на делительном диаметре	0,02—0,03
По радиальному бнению витка червяка относительно оси центров	0,1—0,25
По колебаниям диаметра впадин	0,05

Если центровые отверстия обработать после накатывания, базирова заготовку на рабочие профили, то радиальное бнение можно уменьшить до 0,04—0,08 мм. Таким образом, холодным накатыванием можно получить червяки, соответствующие 8-й степени точности, а по отдельным параметрам — 7-й степени точности.

Для горячего накатывания червяков (при $m = 3...8$ мм) ВНИИМТАШ выпускает оборудование по специальным заказам.

При горячем накатывании червяков достигаются следующие отклонения, мм:

По шагу	0,03—0,05
По толщине зуба на делительном диаметре	0,03—0,05
По радиальному бнению витка червяка относительно оси центров	0,3—0,8
По колебаниям диаметра вершин, не более	0,4
По колебаниям диаметра впадин при $m < 5$ мм, не более	0,1

Шлифование цилиндрических червяков ЗА производят тремя способами.

1. Шлифование дисковым шлифовальным кругом с одной или двумя заправленными на конус сторонами круга и установкой оси шлифовального круга к оси червяка под углом, равным углу подъема витка червяка γ (рис. 15.11). Для получения точного профиля витка шлифуемого червяка правка шлифовального круга должна производиться по различным для каждого червяка кривым.

Дисковым кругом с прямолинейной образующей конусной части шлифование можно выполнять только червяков 8—9-й степеней точности ввиду значительных искажений профиля.

2. Шлифование чашечным конусным кругом с прямолинейной образующей конуса при получении приближенного профиля в пределах 8—9-й степени точности (рис. 15.12). При шлифовании чашечным кругом с прямолинейной образующей конусной части круга профиль витка ближе к архимедовой спирали, чем при шлифовании дисковым кругом. Для получения точного профиля шлифуемого червяка правку шлифовального круга необходимо осуществлять по кривой.

3. Шлифование пальцевым кругом, имеющим прямолинейный профиль (рис. 15.13). Применяют для шлифования червяков с приближенным профилем

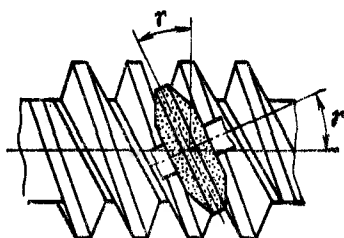


Рис. 15.11. Схема установки дискового круга при двустороннем шлифовании

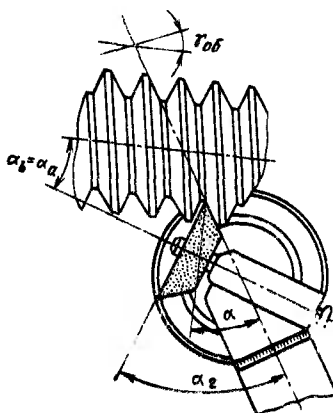
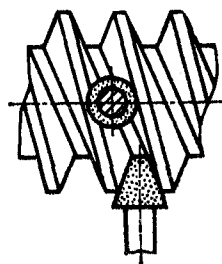


Рис. 15.12. Схема установки чашечного круга при шлифовании червяков ZA:



α — угол осевого профиля; α_a — угол профиля шлифовального круга; α_2 — угол поворота вокруг образующей

Рис. 15.13. Схема установки пальцевого круга

примерно 8—9-й степени точности и с криволинейным профилем для получения точного профиля витка червяков. Этот способ можно применять только для шлифования крупномодульных червяков.

Шлифование червяков ZI производят четырьмя способами.

1. Шлифование дисковым шлифовальным кругом с одной или двумя заправленными на конус сторонами и установкой оси шлифовального круга под углом λ к оси червяка в вертикальной плоскости, угол λ равен углу подъема γ витка червяка (рис. 15.14). Для получения точного профиля шлифовальный круг должен иметь криволинейную образующую. Для упрощения устройства для правки допускается заправка круга по радиусу, дающему хорошее приближение профиля витка червяка к эвольвентному.

2. Шлифование дисковым кругом с прямолинейным профилем при одностороннем шлифовании витка (рис. 15.15), образующая шлифовального круга должна совпадать с образующей червяка.

3. Шлифование плоской стороной дисковым кругом с поворотом шлифовального круга в двух плоскостях (см. рис. 15.14).

4. Шлифование чашечным конусным кругом одной стороны витка червяка (рис. 15.16).

Витки червяков ZK1 шлифуют дисковым кругом с одной или двумя конусными сторонами, устанавливая ось круга к оси червяка под углом, равным углу подъема линии витка. Схема установки шлифовального круга показана на рис. 15.11.

При шлифовании витков червяков ZT1 угол скрещивания осей шлифовального круга и червяка устанавливают равным делительному углу подъема линии

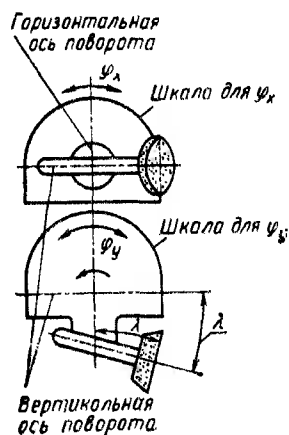


Рис. 15.14. Схема поворота шлифовального круга в двух плоскостях

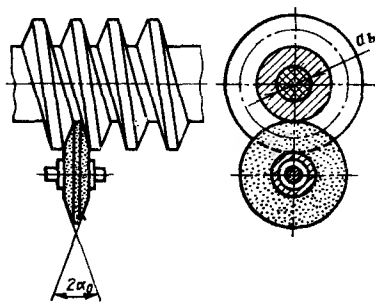


Рис. 15.15. Схема установки дискового круга при шлифовании червяка Z1 одной стороной

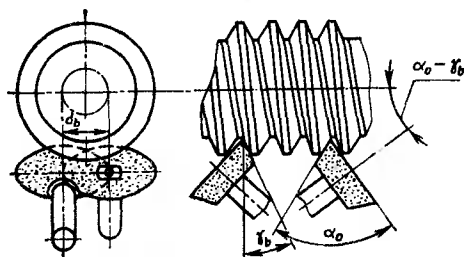


Рис. 15.16. Схема установки чашечного круга при шлифовании червяка Z1:

d_b — основной диаметр червяка; γ_b — основной угол подъема линии витка червяка; α_0 — угол между основанием и конусной частью круга

витка. При изменении диаметра круга после повторных заточек изменяется расстояние между осями круга и заготовки, что приводит к изменению поверхности витков.

Червяки ZT2 лишены указанного недостатка, так как у них линия контакта боковой поверхности витка и инструмента является плоской кривой, в результате чего геометрические параметры поверхности витка не зависят от диаметра шлифовального круга.

Для шлифования винтовых поверхностей червяков применяют резьбо- и червячно-шлифовальные станки 5K822B, 5K881, MB-160, 5886B и другие, выпускаемые Московским заводом координатно-расточных станков. Станки оснащены универсальным механизмом правки с объемным поворотным копиром, позволяющим получать шлифовальный круг как с прямолинейным, так и с криволинейным осевым профилем, причем последний весьма близок по форме к дуге окружности.

Припуски под шлифование боковых поверхностей витков приведены в табл. 15.1. Большие припуски по табл. 15.1 назначают для менее жестких червяков ($q < 10$), а также в тех случаях, когда возможны значительные деформации при механической или термической обработке: для червяков, имеющих проточки для выхода инструмента; для червяков, боковые поверхности витков которых получают методами пластического деформирования; для червяков с увеличенными расстояниями между подшипниками или подвергаемых многократной термической обработке и т. д.

15.1. Припуски, мм, на шлифование боковых поверхностей витков цилиндрических червяков (на сторону)

Модуль m , мм	Диаметр выступов d_{a1} , мм				
	До 22	22—36	37—71	71—110	Св. 110
До 2.	0,1—0,15	0,15—0,20	0,18—0,25	—	—
2—4	0,15—0,20	0,20—0,25	0,25—0,30	0,28—0,35	—
4—6	—	0,22—0,30	0,25—0,32	0,30—0,40	0,32—0,45
6—8	—	—	0,28—0,35	0,32—0,42	0,40—0,50
8—10	—	—	0,30—0,40	0,35—0,48	0,42—0,60

15.2. Нарезание зубьев червячных колес

Существуют несколько способов нарезания зубьев червячных колес.

Способ радиального движения подачи. Нарезание производят фрезой при постепенном уменьшении станочного межосевого расстояния между инструментом и заготовкой. Способ является наиболее производительным по сравнению с другими и применяется как в массовом, так и в серийном производстве (в единичном производстве нарезание производят резцом). Способ обеспечивает нарезание колес 8-й степени точности, для более точных колес используется как черновая обработка.

Отклонения профиля при способе радиального движения подачи обусловлены ограниченным числом зубьев фрезы, профилирующих зуб, а также подрезанием зубьев при числе зубьев $z_2 \leq 23$. Число зубьев фрезы, профилирующих зуб колеса $z_0 = \frac{z_k}{z_1} \xi$, где z_k — число канавок червячной фрезы; z_1 — число витков червячной фрезы; ξ — коэффициент перекрытия в зацеплении.

У одновитковых фрез для получения 7-й степени точности рекомендуется иметь десять канавок. При нарезании колес многovitковыми фрезами необходимо, чтобы число зубьев нарезаемого колеса и число витков фрезы не имели общих множителей, а также чтобы число канавок фрезы не было кратным числу витков.

Способ тангенциального движения подачи инструмента. Нарезание выполняется при постоянном межосевом расстоянии, а движение подачи инструмента — путем перемещения его вдоль оси. При этом способе достигается большая точность профиля, чем при радиальном способе подачи; она зависит лишь от величины подачи.

При тангенциальном движении подачи требуется дополнительный доворот колеса, что достигается использованием дифференциала. Кроме того, станок должен иметь тангенциальный (протяжной) суппорт.

При таком способе применяют фрезы с заходной (конической) и калибрующей (цилиндрической) частями. При необходимости нарезания небольшой партии колес можно использовать фасонный резец-летучку, закрепленный в оправке на тангенциальном суппорте зубофрезерного станка.

Направление тангенциального движения подачи следует устанавливать противоположным вращению обрабатываемой заготовки (встречное фрезерование), чтобы сила резания была направлена к столу станка, с целью исключения размыкания кинематической цепи подачи стола и уменьшения огранки рабочих поверхностей зубьев. При обработке этим способом должна быть проверена возможность сборки колеса радиальным сближением осей. Для обеспечения собираемости передач ZA, ZN1 и ZN2 должно быть выполнено условие

$$\operatorname{tg} \alpha > \operatorname{tg} \gamma \sqrt{\frac{r_{a1}^2 - r_1^2}{r_{a1}^2}}$$

где α — угол профиля витка червяка; γ — угол подъема линии витка; r_1 и r_{a1} — радиусы червяка соответственно делительный и вершин витков.

Смешанный или последовательный способ заключается в объединении радиальной и тангенциальной подач. Вначале колесо нарезается при радиальном, а затем при тангенциальном движении подачи.

Комбинированный или диагональный способ. Направление движения подачи инструмента складывается из направлений радиального и тангенциального движений подачи.

Нарезание зубьев червячных колес резцами применяют в единичном и мелко-серийном производстве. Так как образование профиля зуба колеса производится на всей длине зацепления колеса с фрезой, то при нарезании резец с оправкой должен быть перемещен по оси оправки на расстояние, превышающее длину зацепления. Таким образом, нарезание колеса резцом может производиться только способом тангенциального движения подачи.

При нарезании червячного колеса, сцепляющегося с архимедовым червяком, прямолинейная режущая кромка резца должна лежать в осевой плоскости оправки. Установка резца показана на рис. 15.17. Для нарезания колес, сцепляющихся с другими червяками, рекомендуется установку резца производить согласно рис. 15.18, тогда профиль резца будет соответствовать профилю червяка в нормальном сечении по витку (червяк ZN1). При нарезании колес, зацепляющихся с многовитковыми червяками, когда число зубьев z_2 колеса кратно числу витков z_1 червяка, прорезаются не все впадины, а z_2/z_1 впадин с чередованием через K впадин, где $K = z_1 - 1$. Для нарезания остальных впадин необходимо произвести дополнительные единичные деления.

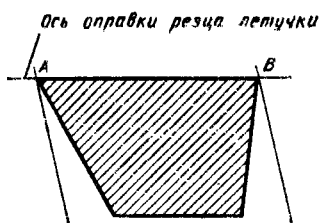


Рис. 15.17. Схема установки резца в осевой плоскости

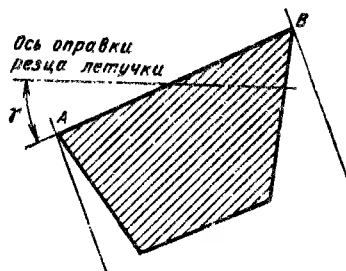


Рис. 15.18. Схема установки резца в нормальном сечении по впадине

Единичные деления производят несколькими способами: перемещением оправки с резцом в осевом направлении на расстояние, равное осевому шагу червяка; поворотом шпинделя с резцом на $1/z_1$ оборота; поворотом нарезаемого колеса на $1/z_2$ оборота, т. е. на один зуб. При делении двумя последними способами необходимо предварительно разомкнуть кинематическую цепь шпиндель — стол. Последние два способа более точны, чем первый.

Шевингование зубьев червячных колес является отделочной операцией и применяется для колес 6-й степени точности и более точных. Шевингование производится после чистового фрезерования. Шевингование может выполняться двумя способами: радиальным движением подачи при беззазорном зацеплении (сближением до номинального межосевого расстояния) и окружным движением подачи. В обоих случаях вращение колеса осуществляется вращением фрезы-шевера (механизм привода стола не работает).

При шевинговании способом радиального движения подачи шеввер должен иметь толщину витка, равную ширине впадины колеса. При шевинговании колеса способом окружного движения подачи зуб шеввера должен входить в зацепление с колесом с зазором в случае установки номинального межосевого расстояния. Шевингование профиля происходит вследствие того, что фреза-шевер ведет (вращает) заготовку колеса, которую в ряде случаев притормаживают. После обработки одной стороны направление вращения шеввера изменяется и шевингование про-

изводится другой частью шевера, имеющей обратное направление зубьев (насе-чек).

Для обеспечения точности сопряжения профилей колеса и червяка шевер следует шлифовать при тех же наладках станка, что и при шлифовании червяка, а еще лучше на одном станке при одной и той же наладке. Шевер имеет незатылованную часть — ленточку шириной до 1,0 мм, что затрудняет резание, поэтому не рекомендуется под шевингование оставлять большой припуск.

В табл. 15.2 даны значения припусков, оставляемых на обработку зубьев червячных колес.

15.2. Припуски на толщину зуба червячных колес

Модуль m , мм	Припуск, мм		Модуль m , мм	Припуск, мм	
	под чистовое фрезерование	под шевингование		под чистовое фрезерование	под шевингование
2—4	0,4	0,2	Св. 8 до 10	1,0	0,3
Св. 4 до 6	0,6	0,2	» 10 » 14	1,2	0,4
» 6 » 8	0,8	0,3	» 14 » 20	1,5	0,5

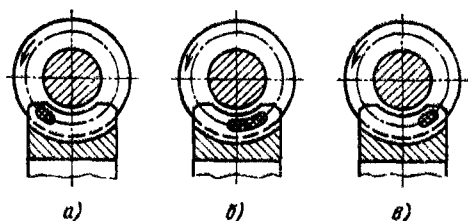
Локализация пятна контакта в цилиндрической червячной передаче по высоте и длине зубьев колеса обеспечивается в процессе нарезания зубьев благодаря изменению некоторых параметров фрезы по отношению к соответствующим параметрам червяка. Локализация по высоте зуба достигается тем, что кривизну профиля боковой поверхности режущих кромок принимают меньшей кривизны профиля боковой поверхности червяка. Например, при форме боковой поверхности червяка ZI форму боковой поверхности режущих кромок фрезы можно принять ZA или ZN1.

Локализация пятна контакта по ширине зуба достигается применением червячной фрезы с большим диаметром делительной окружности $d_{1ф}$ по сравнению с диаметром делительной окружности червяка d_1 . Межосевое расстояние в станочном зацеплении при этом устанавливают с учетом увеличения диаметра фрезы. Кроме того, необходимо несколько изменить межосевой угол в станочном зацеплении.

Локализованное пятно контакта должно располагаться на выходной части зуба (рис. 15.19). Кромочный контакт, т. е. выход контакта на боковые кромки зуба, недопустим.

Рис. 15.19. Расположение локализованного пятна контакта на зубьях червячного колеса:

а, в — неправильное; *б* — правильное



Глава 16

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГЛОБОИДНЫХ ПЕРЕДАЧ

16.1. Нарезание витков глобоидных червяков

Схема нарезания боковой поверхности витков глобоидного червяка базируется на геометрическом принципе образования этой поверхности. На станке роль образующей линии выполняет режущая кромка резца, которая расположена в плоскости, соответствующей средней плоскости колеса. Заготовка червяка и режущая кромка резца, принадлежащая станочному колесу, вращаются вокруг осей, отстоящих друг от друга на станочном межосевом расстоянии a_0 , с заданным отношением угловых скоростей, равным станочному передаточному числу u_0 .

Если образующая линия — прямая, станочное межосевое расстояние a_0 равно межосевому расстоянию глобоидной передачи a , станочное передаточное число u_0 постоянно и равно передаточному числу глобоидной передачи u , то боковая поверхность витков червяка будет соответствовать боковой поверхности классического (немодифицированного) глобоидного червяка. Для обеспечения требуемого угла профиля витка червяка прямолинейная образующая в станочном зацеплении должна касаться профильной окружности диаметром D_{p0} , соосной станочному колесу.

Боковая поверхность витков модифицированного глобоидного червяка имеет закономерное отклонение по линии витков в тело на их концах, т. е. имеет продольную модификацию. Боковая поверхность зубьев имеет профиль, сопряженный с профилем такого червяка.

Простейший инструмент для нарезания витков глобоидного червяка в виде резцовой головки с двумя профилирующими резцами показан на рис. 16.1. Для обработки вершин витков резцовую головку снабжают третьим резцом. Такую головку называют трехрезцовой, она является наиболее распространенным инструментом для зубообработки глобоидных червяков, особенно в единичном, мелкосерийном и среднесерийном производстве.

Технология образования боковых поверхностей витков глобоидного червяка требует осуществления двух взаимосвязанных вращений заготовки и инструмента, расположенных на осях, скрещивающихся чаще всего под прямым углом, а также сближения этих осей в процессе чернового нарезания. Такими кинематическими свойствами обладают обычные универсальные зубофрезерные станки. Особые требования к скоростям резания при чистовой обработке витков, базированию заготовки червяка и некоторые другие учтены в конструкциях станков для нарезания глобоидных передач (табл. 16.1).

При нарезании витков заготовку червяка устанавливают в шпинделе, а инструмент — на столе станка. Заготовку червяка вдоль ее оси закрепляют таким образом, чтобы ее средняя плоскость с заданной точностью проходила через ось стола. Это же осевое положение червяка относительно колеса должно быть обеспечено при монтаже передачи.

Для того чтобы был возможен контроль осевого положения на всех операциях, на глобоидном червяке предусматривают базовый торец. Расстояние базового торца от средней плоскости червяка указывают на рабочем чертеже червяка с допуском. В серийном и массовом производстве на станках предусматривают в одной из опор шпинделя втулку с торцевой базой, установленной относительно сред-

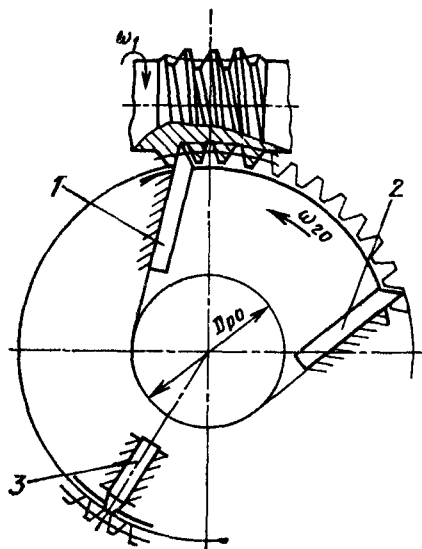


Рис. 16.1. Схема трехрезцовой головки для нарезания витков глобоидного червяка:

1 — левый резец; 2 — правый резец; 3 — задний резец

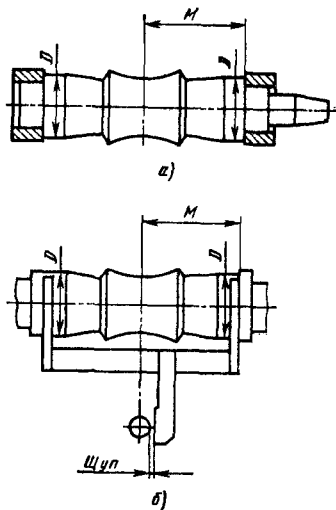


Рис. 16.2. Схема установки глобоидного червяка по оси:

а — упором в торцовую базу; б — с помощью шаблона

ней плоскости червяка на заданное расстояние M (рис. 16.2, а). Базовую шейку червяка, чаще всего подшипниковую, вставляют во втулку шпинделя и заготовку червяка прижимают базовым торцом к торцовой базе шпинделя.

При отсутствии на станке постоянной торцовой базы заготовку червяка устанавливают по оси с помощью специального шаблона. Точность осевого положения заготовки червяка проверяют щупом между ножом шаблона и базовой оправкой резцовой головки (рис. 16.2, б) либо индикатором, установленным на шаблоне с упором в оправку. На заготовке червяка, кроме торцовой базы, предусматривают базовые шейки (размеры D на рис. 16.2) для опоры шаблона при установке заготовки червяка по оси на станке и в корпусе редуктора при сборке, а также лыски или шпоночные пазы для вращения заготовки при нарезании витков.

При сборке червяка в корпусе редуктора точность его осевого положения определяется аналогичным образом прижимом шаблона либо в торец подшипника, либо в базовый торец червяка. В последнем случае используется тот же или подобный шаблон, что и при нарезании червяка, а диаметр базовой оправки фальшвала, устанавливаемого в расточки опор колеса, должен совпадать с диаметром базовой оправки резцовой головки.

Для установки заготовки червяка на станке при межосевых расстояниях $a \geq 500$ мм в качестве постоянной базы используется плитка, установленная на суппорте. При этом применяется плоский вилкообразный шаблон или шаблон с призмами, который прижимается к базовому торцу заготовки. Расстояние между ножом шаблона и базовой плитой рассчитывают и контролируют набором концевых мер.

Профилирующие кромки резцов при установке инструмента на столе станка должны лежать в осевой плоскости червяка, что достигается перемещением суп-

16.1. Технические характеристики станков производства СССР для нарезания глобoidных передач

Характеристика	547А	548	549	ЕЗ-42с	ЕЗ-47	ЕЗ-57, ЕЗ-57А	ЕЗ-96, ЕЗ-96А	5А47Б
Межосевое расстояние нарезаемых глобoidных передач a , мм	75—300	280—800	540—1500	120—300	До 250	80—250*1	80—300*1	80—300
Передаточное число нарезаемых глобoidных передач i	3,3—200	6—85	5—100	8—69	—	8—67	Наименьшее 10	Наименьшее 10
Модуль m , мм	2—12	До 30	До 50	До 12	До 8	До 10	2—12*2	2—12*2
Диаметр инструмента для нарезания глобoidного колеса (диаметр вершин витков нарезаемого глобoidного червяка d_{a1}), мм	До 200	90—320	300—750	42—100	До 180	До 140	40—140	40—140
Наибольшая длина заготовки нарезаемого глобoidного червяка, мм	—	2300	800**	900	—	800	1000	1000
Наибольший диаметр посадочных шеек заготовки глобoidного червяка, мм	—	260	560	100	—	100	100	100
Расстояние между осями стола и шпинделя суппорта, мм	—	250—900	—	120—390	80—600	80—600	—	—
Расстояние от плоскости стола до оси шпинделя суппорта, мм	180	500	800	222,5	220—580	220—410	220—320	220—320
Диаметр стола, мм	500	1400	2500	630	670	670	630	630
Наибольшая допустимая частота вращения стола, мин ⁻¹	9	3	3	7	10	10	10	10
Частота вращения шпинделя суппорта, мин ⁻¹ , при нарезании: колеса и червяком нарезании глобoidного червяка	21—189	5,6—45	0,25—25	16—180	41—252	20—157	26—163	26—163

Продолжение табл. 16.1

Характеристика	547А	548	549	ЕЗ-42с	ЕЗ-47	ЕЗ-57, ЕЗ-57А	ЕЗ-96, ЕЗ-96А	5А47Б
чистовом глобоидного червяка	1,1—9,9	0,71—5,6	0,002—0,2	2,8—11,2	3,8—23,2	1,9—14,5	2,4—19	2,4—19
Число ступеней частот вращения шпинделя суппорта	22	19	22	13	18	10	9*4	9*4
Радиальная подача, мм/об стола	0,012—1,49	0,032—1,6	0,05—1,6	0,189—3,75	0,028—1,78	0,028—1,78	0,028—1,78	0,024—1,24
Круговая подача, мм/об стола	0,007—0,3*5	0,0032—0,16*6	0,005—0,16*7	—	0,01—0,08	0,01—0,2	0,01—0,2	0,01—0,2
Скорость ускоренного перемещения стола (стойки), мм/мин	—	260	—	—	120	120	130	130
Мощность главного двигателя, кВт	7,0	13,0	20,0	—	7,0	7,5	7,5	7,5
Габаритные размеры станка (длина × ширина × высота), мм	2580×1780× ×1490	5200×3600× ×2100	7000×4000× ×3000	4125×540× ×2430	2500×1530× ×2075	2650×1530× ×2075	2810×2360× ×2250	2810×2100× ×2255
Масса, т	8,0	30,0	—	16,5	7,2	8,0	9,5	10,25

*1 Цельными резцовыми головками можно нарезать глобоидные червяки для передач с межосевыми расстояниями до 200 мм с $m \leq 8$ мм.

*2 Нарезание глобоидных червяков с модулем $m > 10$ мм производить на поивженных режимах резания.

*3 Длина нарезанной части.

*4 При чистовом нарезании глобоидных червяков число ступеней 10.

*5 На диаметре 560 мм.

*6 На диаметре 500 мм.

*7 На диаметре 1000 мм.

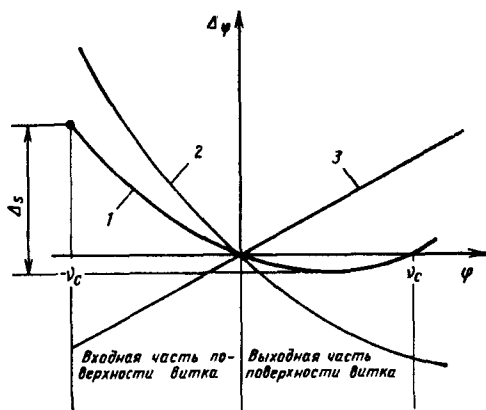


Рис. 16.3. Схема получения закона продольной модификации поверхности витка глобоидного червяка при двустороннем бескоррекционном способе *au*:

1 — требуемый закон продольной модификации; 2 — линия витка при изменении межосевого расстояния; 3 — линия витка при изменении передаточного числа

порта. На некоторых станках (547А, ЕЗ-42с и др.) положение оси шпинделя относительно плоскости стола постоянно. В этом случае требуемая высота установки профилирующих кромок резцов обеспечивается конструкцией инструмента либо применением мерных подкладок под резцы или корпус инструмента. Положение кромок контролируют шаблоном по базовой оправке, установленной в шпинделе, или по базовым шейкам заготовки червяка (размер D на рис. 16.2) щупом или индикатором.

Модифицирование витков глобоидного червяка производят в процессе их зубообработки. Линия продольной модификации витка (см. рис. 16.3) представляет собой (ГОСТ 17696—80) плавную кривую с большей ординатой на входе витка и экстремумом на выходной половине витка.

Способы модифицирования витков глобоидного червяка могут быть разделены на две группы: коррекционные и бескоррекционные. В основу способов первой группы положено использование различных коррекционных устройств, встраиваемых в кинематическую цепь станка или монтируемых на столе.

На практике широкое распространение получили бескоррекционные способы модифицирования, основанные на использовании преднамеренных отклонений параметров наладки станка от номинальных. При этом каждое отклонение в наладке станка дает в процессе нарезания закономерное отклонение линии витка от линии витка классического глобоидного червяка. Производя одновременно отклонения по нескольким параметрам наладки станка и складывая отклонения линии витка глобоидного червяка, можно получить суммарный закон модификации витка, весьма близкий к заданному [4].

Известны несколько бескоррекционных способов. Наиболее широкое применение получил двусторонний бескоррекционный способ *au* модифицирования витков червяка за счет наладки станка на межосевое расстояние a_0 и передаточное число u_0 , большие, чем у глобоидной передачи. Схема получения закона продольной модификации при способа *au* приведена на рис. 16.3, на котором кривой 1 обозначен требуемый закон продольной модификации. При наладке станка только с отклонением межосевого расстояния закон продольной модификации будет выражаться линией 2, а при наладке станка с изменением передаточного числа — прямой 3. При одновременном изменении параметров наладки станка, используемых при модифицировании способом *au*, сумма отклонений линии витка даст закон продольной модификации 1.

На рис. 16.3 приняты следующие обозначения: φ — угол, характеризующий точку на делительной линии витка (на делительном глобоиде в средней плоскости колеса) от линии межосевого расстояния; $\Delta\varphi$ — значение продольной модификации витка; Δ_s — продольная модификация линии витка глобоидного червяка относительно точки экстремума.

Расчет наладок станочного зацепления и линии продольной модификации приводится в методике расчета по ГОСТ 17696—80. Число зубьев производящего колеса определяют из соотношения

$$z_{20} = \frac{z_2}{0,91 + 0,0074 \sqrt{u}} \quad (16.1)$$

и округляют до ближайшего целого числа с условием $z_{20} > z_2$. Для червяков с двумя витками и более значение z_{20} следует принимать некрatным числом витков червяка z_1 .

Станочное передаточное число при зубообработке червяка

$$u_0 = z_{20}/z_1. \quad (16.2)$$

Увеличение станочного межосевого расстояния при зубообработке червяка принимают равным

$$\Delta a = 0,96a \frac{u_0 - u}{u_0}, \quad (16.3)$$

а само станочное межосевое расстояние при зубообработке червяка

$$a_0 = a + \Delta a. \quad (16.4)$$

Делительный диаметр производящего колеса

$$d_{20} = d_2 + 2\Delta a. \quad (16.5)$$

Диаметр профильной окружности при нарезании червяка

$$D_{p0} = d_{20} \sin \alpha_{x1}, \quad (16.6)$$

при этом делительный угол профиля витка в осевом сечении в середине червяка равен α_{x1} .

Широкое распространение способа *аи* по сравнению с другими бескоррекционными способами объясняется его преимуществами. Во-первых, способ *аи* позволяет производить обработку обеих сторон витка с одной наладки станка. Во-вторых, применение способа *аи* упрощает технологию зубообработки модифицированного глобоидного червяка, сводя ее к технологии зубообработки классического червяка, так как при этом способе модифицированный червяк может рассматриваться как классический, но с несколько увеличенными межосевым расстоянием и передаточным числом. Это, в свою очередь, упрощает расчет, проектирование, изготовление и контроль инструмента для нарезания глобоидных червяков и колес. Упрощается также расчет, проектирование и контроль модифицированной глобоидной передачи.

Если на корпусе резцовой головки установить несколько комплектов резцов, то получится многорезцовая головка, позволяющая повысить производительность чернового нарезания. Типовая конструкция многорезцовой головки показана на рис. 16.4. На корпусе головки установлены четыре резцедержателя — два для правых и два для левых профилирующих резцов. При закреплении каждый из профилирующих резцов прижимается к опорной плоскости головки и боковой плоскости резцедержателя. Обе плоскости являются базовыми и обеспечивают постоянную установку резца при его замене, а следовательно, точное положение профилирующей режущей кромки резца в плоскости, перпендикулярной оси головки. С этой целью сами резцы выполнены таким образом, чтобы их профилирующие режущие кромки были продолжением грани резца. Головка имеет базо-

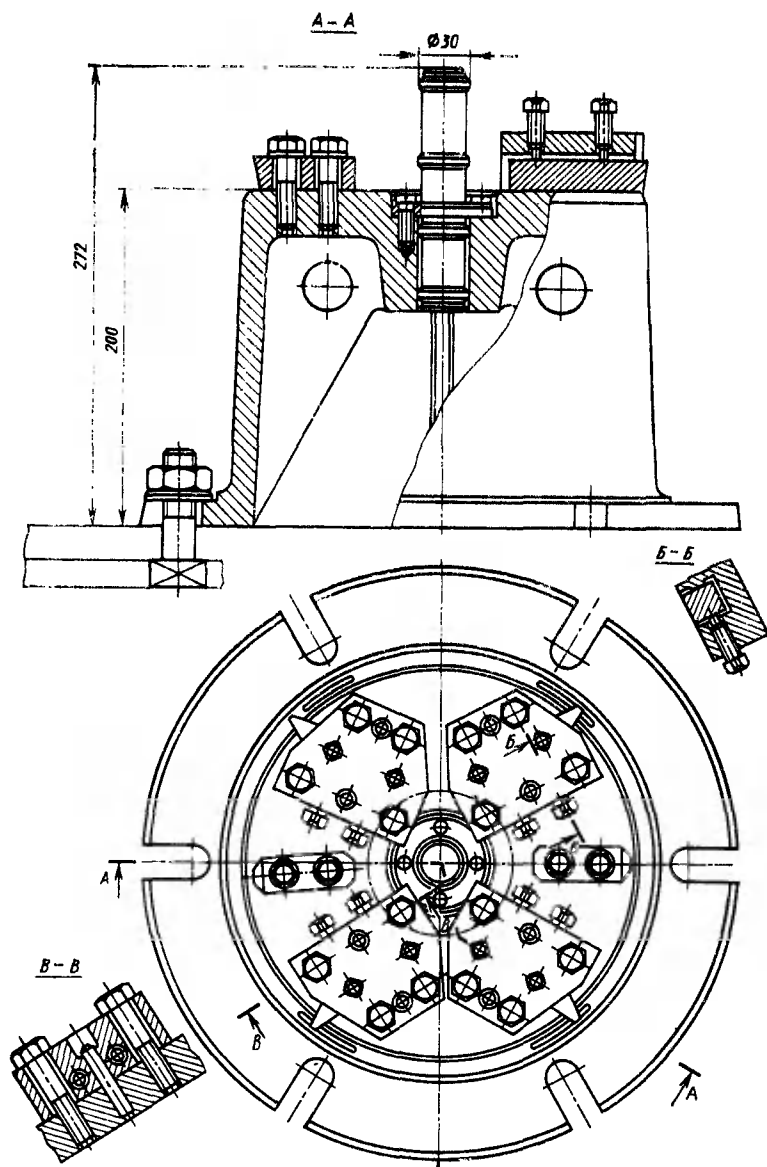


Рис. 16.4. Многолезцовая двухкомплектная головка для нарезания витков глобоидного червяка

вую оправку, по которой ее точно устанавливают в центре стола. Относительно этой же оправки проверяют при изготовлении головки положение базовых плоскостей резцедержателей.

В единичном и мелкосерийном производстве глобоидных передач с межосевым расстоянием $a = 125$ мм и более для нарезания червяков используют универсальные резцовые головки. Основой головки является пара резцедержателей (для нарезания правой и левой сторон витков), устанавливаемых на специальную планшайбу, которую затем крепят на столе как обычную резцовую головку. В

универсальных головках используют резцы, называемые ромбическими, поскольку их сечение имеет форму ромба с острым углом, равным обычно 70° (рис. 16.5). В резцедержателях резцы крепят в поворотных втулках, причем режущая кромка резца при закреплении совпадает с осью втулки. Это позволяет поворотом втулки установить требуемый передний и задний углы резания (при сохранении их суммы, равной 20°) без изменения положения режущей кромки, что дает возможность использовать головку при любом угле подъема линии витка червяка.

Установка резцедержателей на планшайбе может производиться различными способами, что делает такую головку универсальной. С ее помощью может быть осуществлено нарезание глобоидных червяков для разных межосевых расстояний, а также различных чисел зубьев и витков червяков. На планшайбе может быть установлена одна или несколько пар резцов.

Черновое нарезание витков глобоидного червяка осуществляется для удаления основной массы металла впадины с оставлением припуска под чистовое нарезание. Для чернового нарезания может быть использована та же трехрезцовая головка, что и для чистового нарезания (см. рис. 16.1), или многорезцовая головка (см. рис. 16.4). В этом случае черновое нарезание производят при непрерывном радиальном движении подачи путем сближения осей вращения заготовки и инструмента до достижения станочного межосевого расстояния a_0 в конце чернового нарезания. Впадины прорезают меньшей ширины, чем заданная, оставляя припуск $0,1\text{--}0,25$ мм на сторону для окончательного нарезания витков при чистовой обработке.

Возможны различные варианты чернового нарезания витков при постоянном межосевом расстоянии. На специальных жестких и достаточно мощных станках для чернового нарезания применяют метод кругового протягивания, при котором на корпусе инструмента устанавливают такое число резцов, чтобы заданные глубина и ширина впадины червяка получались за один оборот головки без изменения межосевого расстояния. Для обеспечения радиального движения подачи резцы на корпусе инструмента располагают на разном расстоянии по радиусу от центра головки так, чтобы их вершины находились на спиральной линии, постоянно выступая каждая по отношению к предыдущей на расстояние, равное припуску. Резцы применяемой при этом многорезцовой протяжной головки (рис. 16.6, а) располагают по всему ее периметру, за исключением сектора, соответствующего длине нарезанной части червяка. Этот сектор необходим для установки червяка.

При черновом нарезании глобоидных червяков с большой высотой витков применяют многооборотные протяжные головки (рис. 16.6, б). Полная обработка такой головкой производится за несколько оборотов, причем после каждого оборота оси головки и заготовки сближаются на расстояние, численно равное импульсной подаче $S_{\text{имп}}$. Сближение осей производится в зоне сектора инструмента, на котором резцы не установлены. Для повышения жесткости системы инструмент — заготовка — станок стол станка во время резания можно закрепить.

Многорезцовые протяжные головки могут быть цельными, наподобие долбяков для глобоидных червяков малых размеров, и сборные.

Глобоидные червяки изготавливают из конструкционных сталей 40Х, 40ХН, 38ХГН и других, позволяющих получить однородную структуру и заданную твердость $HRC_{\text{с}}$ 33—36, при которой возможна чистовая обработка витков резцами.

Для нарезания витков используют резцы из быстрорежущих сталей Р18, Р9К10 и Р10К5Ф или из углеродистой стали с пластинами из твердого сплава

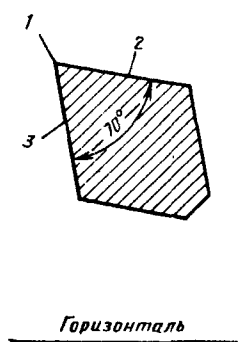


Рис. 16.5. Сечение ромбического резца:

1 — режущая кромка; 2, 3 — боковые плоскости

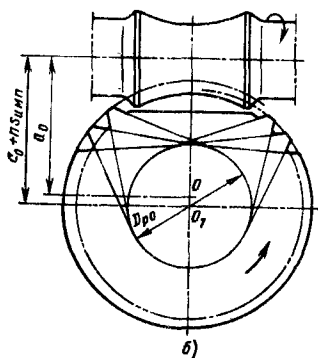
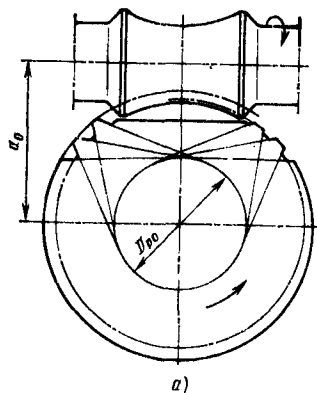


Рис. 16.6. Схемы много-резцовых протяжных черновых головок:

а — однооборотной; б — многооборотной

ТТ7К12 или ВК8. Скорость резания 15—25 м/мин, подача 0,1—0,25 мм/об стола, охлаждение эмульсией или маслом.

Черновое нарезание витков червяков глобоидных передач с большими межосевыми расстояниями производится пальцевой или дисковой фрезой.

Чистовое нарезание витков глобоидного червяка осуществляется всегда при постоянном станочном межосевом расстоянии. Движение подачи резца на обрабатываемую поверхность круговое, осуществляется ступенчато, на определенное расстояние. При чистовом нарезании витков инструментом типа трехрезцовой головки круговое движение подачи выполняется дополнительным поворотом стола вокруг оси своего вращения вместе с инструментом относительно заготовки червяка, вращающейся с постоянной угловой скоростью. Чистовое нарезание производится за два перехода и обрабатывается вначале одна сторона витка, затем — другая.

Особенностью чистового нарезания витков является то, что оно выполняется по схеме обработки широким резцом по всей высоте витка. При этом обеспечиваются заданные чертежом отклонения линии витка и его профиля, толщина витков и малая шероховатость их боковых поверхностей ($R_a = 1,25 \dots 0,63$ мкм). Поэтому при чистовом нарезании используют соответствующие этой шероховатости режимы: скорость резания 1—1,5 м/мин при круговой подаче: 0,03—0,08 мм/резец.

Для чистового нарезания могут быть использованы те же резцы, что и для чернового нарезания. Предпочтение следует отдавать резцам с пластинами из твердого сплава ТТ7К12 или ВК8.

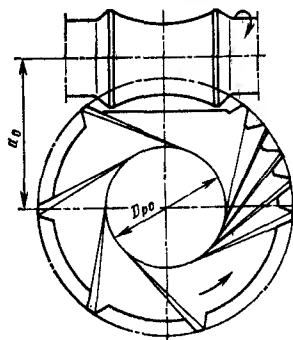
Рис. 16.7. Схема протяжной чистовой головки

Станок для чистовой обработки витков должен иметь требуемые технологическую точность и жесткость. В резании должен участвовать только один резец; остальные резцы в это время должны находиться вне пределов витка. В противном случае появляющаяся вибрация приводит к увеличению шероховатости обрабатываемой поверхности. В процессе нарезания резец должен охлаждаться эмульсией, что снижает вероятность налипания металла на резец; при появлении налипших частиц резец следует зачищать.

Работа резцов по поверхности впадин при чистовом нарезании должна быть исключена с целью повышения точности и шероховатости боковых поверхностей витка.

Высота всех резцов одного комплекта должна быть одинаковой. Для этого комплект шлифуют по высоте одновременно. Профилирующие режущие кромки доводят до параметра шероховатости $R_a = 0,32 \dots 0,16$ мкм.

Для чистового нарезания витков в крупносерийном и массовом производстве используют многорезцовые протяжные головки (рис. 16.7). Часть резцов этих головок предназначена для полустойковой обработки, другая часть — для окончательной обработки (калибровки). Калибрующие резцы находятся на расстоянии, исключающем одновременное резание двумя резцами. Движение круговой подачи осуществляется благодаря соответствующему угловому расположению режущих кромок резцов.



16.2. Нарезание зубьев колес глобоидных передач

Особенности технологии зубообработки колеса глобоидной передачи определяются геометрическими особенностями глобоидного червяка и особенностями контактирования витков червяка с зубьями колеса. Боковая поверхность глобоидного червяка не может быть образована винтовым движением образующей. Поэтому при нарезании зубьев сопряженного колеса тангенциальное движение подачи инструмента исключено. Нарезание зубьев глобоидного колеса возможно путем радиального движения подачи за счет сближения осей инструмента и заготовки до достижения станочного межосевого расстояния. Такой способ движения подачи применяют как при черновом, так и при чистовом нарезании. При чистовом нарезании применяют также способ кругового доворота колеса.

При нарезании зубьев глобоидного колеса способом радиального движения подачи возможно частичное подрезание боковых поверхностей на выходной части зуба у его вершины. Вероятность появления подреза и его размеры увеличиваются с уменьшением передаточного числа глобоидной передачи, с увеличением длины глобоидной фрезы по отношению к длине нарезанной части глобоидного червяка и с увеличением размера зубьев колеса, особенно ширины венца. При появлении подреза на выходе он практически не влияет на эксплуатационные свойства передачи, но портит товарный вид.

При отсутствии подрезания и использовании глобоидной фрезы с толщиной зубьев, обеспечивающей требуемую ширину впадины, для нарезания зубьев колеса достаточно одной операции, если по достижении заданного межосевого расстояния

ния заготовка делает еще столько оборотов, сколько витков имеет глобоидный червяк. При этом все зубья фрезы проходят по всем зубьям колеса и образуют боковую поверхность зубьев правильной формы. В этом случае черновая и чистовая обработки выполняются за одну операцию.

По мере повторных заточек фрезы толщина ее зубьев уменьшается, что приводит к уменьшению ширины впадин и соответственно — к увеличению толщины зубьев колеса. Поэтому для достижения заданной толщины зубьев необходима дополнительная операция — нарезание одной из сторон зубьев колеса при постоянном межосевом расстоянии способом кругового движения подачи, как при чистовом нарезании глобоидных червяков.

При необходимости устранения подреза способом кругового движения подачи обрабатывают поочередно обе стороны зубьев. Для обеспечения припуска с целью устранения подреза толщина зубьев инструмента должна быть уменьшена.

Особенность наладки станка — точная установка инструмента по оси так, чтобы его средняя плоскость проходила через ось заготовки колеса. Эта установка выполняется так же, как установка глобоидного червяка по оси при его зубообработке.

Для обеспечения требуемой формы боковых поверхностей зубьев колеса глобоидной передачи должны учитываться следующие требования:

1. Соответствие геометрии инструмента особенностям технологии зубообработки витков глобоидного червяка. В зависимости от способа модифицирования (коррекционного или бескоррекционного) боковая поверхность витка может иметь свои особенности. При этом линия витка модифицированного червяка может отличаться от линии витка классического червяка не только законом продольной модификации, но и изменением угла профиля вдоль витка, а в ряде случаев и отклонением от прямолинейности самого профиля в осевом сечении червяка. Поэтому исходная производящая поверхность глобоидной фрезы должна не только соответствовать размерам витков глобоидного червяка, но и должна быть получена способом, аналогичным способу модифицирования витков глобоидного червяка. Например, если витки глобоидного червяка были модифицированы способом *аи* при нарезании резцом, то при шлифовании боковых поверхностей зубьев глобоидной фрезы должны быть внесены изменения в параметры наладки станка, характерные для способа *аи*. Аналогично при проектировании инструмента типа фрезы-летучки положение профилирующих режущих кромок выбирают с учетом особенностей технологии боковой поверхности витка глобоидного червяка.

2. Обеспечение локализации пятна контакта в глобоидной передаче. Эта задача может быть решена двумя способами. Первый способ — изменение геометрических параметров теоретической поверхности витков червяка, т. е. создание на витках продольного и профильного завалов. Особенно важна для работы глобоидной передачи локализация пятна контакта по длине витка червяка и соответственно по ширине зуба колеса, т. е. наличие продольного завала. Завалы на витках червяка создают сравнительно редко, так как это связано с усложнением технологии зубообработки червяка. Более простым и удобным способом является второй — создание соответствующих отклонений теоретической поверхности зубьев колеса (завалов) при сохранении неизменной теоретической поверхности витков. Для получения завалов на зубьях колеса создают соответствующие отклонения производящей поверхности глобоидной фрезы противоположного по отношению к поверхности витка направления — антизавалы. Эти отклонения получают шлифованием боковых поверхностей зубьев глобоидной фрезы за счет дополнительных подналадок и изменения кривизны образующей шлифовального

Рис. 16.8. Схема четырехрезцової фрезы-летучки:

1 — корпус; 2 — левый крайний резец; 3 — левый средний резец; 4 — правый средний резец; 5 — правый крайний резец

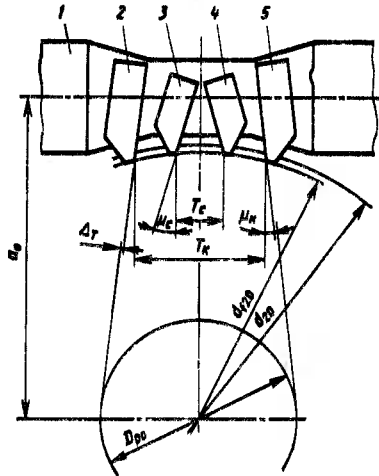
круга. При проектировании фрез-летучек локализация пятна контакта по ширине зуба колеса создается соответствующим расположением профилирующих режущих кромок.

3. Исключение первоначального контакта на подрезных зонах зубьев колеса для передач всех степеней точности, а также исключение контакта на границах огибающей зоны для передач 6-й и 7-й степени точности. Для удовлетворения этим требованиям необходимо, чтобы длина режущей части инструмента была равна или несколько больше длины нарезанной части глобоидного червяка. В противном случае подрезные зоны оказываются обработанными не полностью, что приводит к кромочному контакту боковой поверхности зуба со стороны входа и выхода с витком червяка, к ударам при входе витка в контакт и, как следствие, к поломкам входного конца витка или разрушению зубьев колеса у торцов.

Нарезание зубьев глобоидного колеса фрезами-летучками широко распространено при единичном, серийном производстве и при правильном изготовлении инструмента дает достаточно высокое качество глобоидных передач. Применением фрезы-летучки достигается формирование боковых поверхностей зубьев колеса с погрешностью, достаточно малой и легко устранимой приработкой. Кроме того, вследствие особенностей геометрии зуба колеса и фрезы-летучки практически всегда удается создать инструмент, обеспечивающий локализацию контакта и исключаящий контакт на зубьях колеса по подрезным зонам и на границах огибающей зоны, т. е. удовлетворяющий всем требованиям, предъявляемым к инструменту для зубообработки колеса глобоидной передачи.

Боковая поверхность каждой стороны зуба глобоидного колеса при нарезании фрезой-летучкой обрабатывается двумя режущими кромками. На рис. 16.8 приведена схема четырехрезцової фрезы-летучки с расположением всех резцов в одной осевой плоскости инструмента. Возможны варианты, когда крайние и средние резцы попарно располагаются в разных осевых плоскостях. Если профилирующие режущие кромки средних резцов совпадают с сечением витка в середине производящего червяка, вместо двух средних резцов используют один, расположенный в середине фрезы.

Крайние резцы — правый и левый — профилируют подрезные зоны на противоположных боковых поверхностях зубьев и занимают положения на корпусе фрезы, соответствующие положениям расчетных крайних прямых поверхностей витка глобоидного червяка. Профилирующие кромки крайних резцов расположены в расчетной осевой плоскости симметрично относительно средней плоскости инструмента, что упрощает расчет и изготовление фрезы. В процессе расчета и проектирования фрезы расстояние между крайними резцами подлежит корректировке, но в исходном положении число шагов между крайними резцами по делительной окружности станочного колеса диаметром d_{20} равно рабочему охвату глобоидного червяка K_{ϵ} .



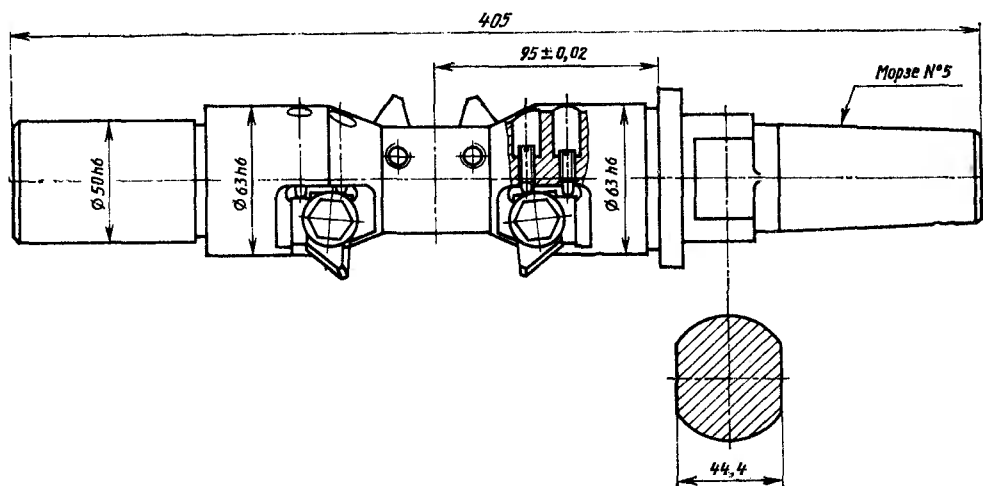


Рис. 16.9. Фреза-летучка для нарезания зубьев колеса модифицированной глобоидной передачи с локализованным контактом

Огибающая зона на зубе колеса получается в результате огибания различных положений витка червяка в процессе работы передачи и имеет сложную геометрию.

При нарезании колеса фрезой-летучкой огибающая зона профилируется одним лишь средним резцом, т. е. приближенно. Это используется для получения огибающей зоны такой геометрии, при которой обеспечивается продольная локализация контакта в передаче выбором положения средних резцов на корпусе. Первоначально делительный угол профиля средних резцов принимают равным делительному углу профиля витка червяка в этом месте. После выбора положения среднего резца по условиям локализации уточняют угол профиля среднего резца и корректируют его. Необходимость такого уточнения связана с тем, что в зависимости от способа модифицирования витка глобоидного червяка делительный угол профиля вдоль витка может быть переменным.

Углы, определяющие расположение режущей кромки среднего резца и образующей витка глобоидного червяка, которая вступает в первоначальный локализованный контакт с огибающей зоной зуба колеса, чаще всего не совпадают. Соответственно не совпадают и делительные углы профиля резца и витка червяка, что вызывает отсутствие сопряжения в этом месте витка червяка и зуба колеса и смещение первоначального контакта к вершине витка и впадине зуба колеса. Это нарушение контактирования исправляется корректировкой угла профиля среднего резца.

Для исключения из первоначального контакта подрезных зон и, что более важно, для исключения контакта на границах огибающей зоны производят смещение режущей кромки каждого крайнего резца в сторону зуба обрабатываемого колеса на расстояние Δ_r (см. рис. 16.8), равное 0,3—0,5 глубины продольной модификации витка.

На рис. 16.9 показана типовая конструкция четырехрезцовой фрезы-летучки для нарезания зубьев колеса модифицированной глобоидной передачи с локали-

зованным контактом. Для установки резцов в корпусе инструмента фрезеруются на координатно-расточном станке пазы с базовыми поверхностями, одна из которых расположена в осевой плоскости, а вторая — перпендикулярно ей под углом к оси инструмента μ_c или μ_k (см. рис. 16.8). Профилирующая режущая кромка каждого резца является продолжением грани, образованной пересечением плоскостей, прилегающих к базовым плоскостям корпуса. Это позволяет сохранять постоянно расположения профилирующих кромок резцов при их установке и замене.

Вылет резцов устанавливают по диаметру впадин колеса, а при нарезании червяка способом *аи* — по диаметру впадин d_{f20} станочного колеса.

Нарезание зубьев колеса глобоидными фрезами применяют в крупносерийном и массовом производстве. Размеры зубьев фрезы назначают с учетом необходимости создания в передаче бокового зазора и радиального зазора у поверхности впадин колеса. Фрезу изготавливают по возможности как чистовую, при этом высоту зубьев фрезы принимают такой, чтобы радиальный зазор у поверхности впадины был максимальным по ГОСТ 24438—80 и составлял $c_2 = 0,3m$. По мере повторных заточек фрезы зазор уменьшается до $0,15m$, после чего фрезу используют как черновую. Компенсацию уменьшения толщины зуба фрезы и удаление подреза зубьев производят при чистовом нарезании доворотом колеса.

В глобоидных фрезах наибольшую нагрузку несут зубья, наиболее удаленные от ее средней плоскости, причем в резании участвуют как профилирующие, так и передние режущие кромки. Поэтому подачи и скорости резания определяют в зависимости от стойкости крайних зубьев.

С целью облегчения работы крайних зубьев вносят различные изменения в конструкцию фрезы, например увеличивают радиус образующей глобоида вершин зубьев фрезы, благодаря чему средние зубья оказываются ближе расположенными к заготовке колеса и срезают больше металла.

При изготовлении глобоидных фрез для нарезания колес, сопрягаемых с глобоидными червяками, модифицированным способом *аи*, режущие зубья обрабатывают, наладивая станок на межосевое расстояние a_0 [см. уравнение (16.4)], как при зубообработке глобоидного червяка. При этом радиус глобоида вершин режущих зубьев увеличивается на Δa [см. уравнение (16.3)], чем обеспечивается перераспределение нагрузки между зубьями фрезы.

Боковая затылованная поверхность зубьев глобоидной фрезы является частью боковой поверхности глобоидного червяка с большим или меньшим углом подъема (в зависимости от направления витка и расположения затылованной поверхности). Боковая поверхность глобоидного червяка является линейчатой неразвертывающейся поверхностью и поэтому не может быть без погрешностей образована развертывающейся поверхностью (конусом, цилиндром или плоскостью). Поэтому при шлифовании боковой затылованной поверхности зубьев фрезы коническим кругом неизбежно возникает погрешность, при которой профиль зубьев становится выпуклым. При нарезании колеса такой фрезой профиль зубьев получается вогнутым, что приводит к раздвоенному по высоте зубьев контакту в передаче. Для устранения этого недостатка шлифование боковых затылованных поверхностей зубьев глобоидной фрезы выполняют шлифовальным кругом, форма которого близка к конусу, но имеет выпуклый профиль. Выпуклость выбирают с учетом не только устранения погрешности шлифования, но и обеспечения профильной локализации пятна контакта в передаче. Для осуществления продольной локализации пятна контакта в передаче при шлифовании глобоидной фрезой применяют специальные подналадки.

Теоретически достаточно, чтобы длина глобоидной фрезы была равна длине нарезанной части глобоидного червяка, который сопрягается с колесом, нарезаемым этой фрезой. При повторной заточке фрезы ее профилирующие кромки несколько смещаются вдоль оси фрезы вследствие наличия углов затылования, что может привести к относительному укорочению одной из боковых поверхностей фрезы. Поэтому на практике длину фрезы принимают как можно большей.

Глобоидные фрезы и резцы для фрез-летучек изготавливают из быстрорежущей стали Р18 или аналогичных ей сталей. Скорость резания при радиальном движении подачи принимают равной 15—25 м/мин, подачу 0,2—0,6 мм/об стола. При довороте стола скорость резания та же, а подача 0,03—0,08 мм/об стола.

Пятно контакта в глобоидной передаче является важнейшим показателем, определяющим ее нагрузочную способность и КПД. В производстве пятно контакта может быть проверено установкой элементов передачи — глобоидного червяка и колеса — на специальном приборе (стенде) или установкой их непосредственно на зубофрезерном станке. При сборке пятно контакта проверяют в корпусе редуктора после монтажа передачи на подшипниковые опоры. Пятно контакта определяют по краске при вращении червяка и легком торможении колеса. В глобоидной передаче после приработки под нагрузкой пятно контакта определяют по блеску.

Первоначальный контакт в глобоидной передаче всегда должен быть в огибающей зоне, контакт по подрезным зонам не допускается. Этим достигаются благоприятные условия приработки передачи в первоначальный период ее работы, обеспечиваются высокие эксплуатационные показатели, которые сохраняются затем на весь срок службы передачи, в том числе когда подрезные зоны зубьев колеса вступают в контакт с витками червяка.

Нормы контакта — размеры пятна контакта глобоидной передачи — регламентированы ГОСТ 16502—83 для каждой степени точности в зависимости от уровня сопряженности (сопряженная передача или с локализованным контактом) и числа зубьев колеса z_2 . В зависимости от закона продольной модификации поверхности витка глобоидного червяка ширина огибающей зоны на зубе колеса может быть различной. Соответственно будет меняться размер пятна контакта по ширине зуба колеса при постоянном размере пятна контакта по длине нарезанной части червяка. Нормы пятна контакта по ширине зуба колеса для модифицированных глобоидных передач, червяки которых нарезаны двусторонним бескоррекционным способом *au* с параметрами станочного зацепления в соответствии с рекомендациями ГОСТ 17696—80, приведены в ГОСТ 16502—83.

Пятно контакта, локализованное по длине витков (ширине зубьев) и по высоте витков (зубьев), т. е. при продольном и профильном завале, должно располагаться в средней части огибающей зоны зуба колеса и не доходить до краев этой зоны как по ширине зуба, так и по высоте (рис. 16.10, а). Пятно контакта, локализованное только по длине витка (ширине зубьев), т. е. при продольном завале, распространяется равномерно по высоте зуба и не должно доходить до границ огибающей зоны с подрезными зонами (рис. 16.10, б). В сопряженной глобоидной передаче пятно контакта распространяется на всю огибающую зону (рис. 16.10, в).

В практике производства глобоидных передач наиболее характерны следующие виды недопустимого контакта на зубьях колеса:

распространение контакта на зоны подрезной поверхности с выходом на край зуба (рис. 16.10, г), чаще всего со стороны входа витка, или на оба края зуба. Контакт является кромочным, что снижает нагрузочную способность передачи и КПД и увеличивает вероятность заедания. Вход витка в зацепление при

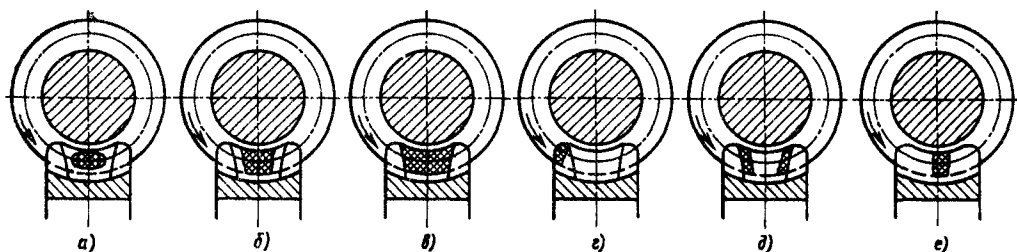


Рис. 16.10. Положение первоначального контакта на зубьях колеса глобидной передачи:

а — при продольной и профильной локализации пятна контакта; *б* — при продольной локализации пятна контакта; *в* — в сопряженной передаче; *г* — на подрезной зоне; *д* — на границах огибающей аомы; *е* — при отсутствии огибающей зоны

таким контакте происходит с ударом, приводящим к поломке входного конца витка. Наиболее вероятными причинами появления такого контакта являются применение инструмента для нарезания колеса (глобидной фрезы или фрезы-летучки) с длиной режущей части короче длины нарезанной части червяка или погрешности установки инструмента по оси при нарезании колеса;

контакт по границам огибающей зоны с подрезными зонами — раздвоенный контакт (рис. 16.10, *д*); он является кромочным. Если большая часть обоих контактов находится в огибающей зоне и расстояние между ними составляет менее 30 % ширины этой зоны, контакт может быть полностью исправлен путем приработки передачи под нагрузкой. Причина такого контакта — несогласованность геометрических параметров инструмента для нарезания колеса и витков червяка;

узкий контакт (до 10—15 % ширины зуба) в средней части зуба, огибающая зона отсутствует (рис. 16.10, *г*). Виток контактирует на длине примерно одного шага своей средней частью. При длительной приработке контакт расширяется, но нагрузочная способность передачи понижена, при больших нагрузках возможны выкрашивание (питтинг) и заедание. Основная причина — профилирование боковых поверхностей зубьев не двумя, а одной режущей кромкой, т. е. использование двузубых фрез-летучек.

Глава 17

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

17.1. Делительные червячные цилиндрические передачи

Делительные червячные цилиндрические передачи 3—4-й степени точности используются главным образом в зубообрабатывающих станках. Червяки изготавливают из цементуемых (12ХНЗА, 18ХГТ) и азотируемых сталей (38ХМЮА) диаметром 50—100 мм, модулем 2—6 мм, а колеса — из высококачественной оловянистой бронзы диаметром 200—800 мм.

Общие принципы изготовления колес высокой точности те же, что принципы изготовления червячных делительных передач. Высокая точность изготовления делительных червячных передач достигается: выбором оборудования и инструмента; минимальными отклонениями винтовой поверхности витков червяка от производящей поверхности червячного инструмента для нарезания колеса; минимальными отклонениями положения червяка и червячного инструмента относительно колеса при нарезании и после сборки. Минимальные отклонения винтовой поверхности витков червяка от производящей поверхности червячного инструмента достигаются на финишных операциях шлифования червяка и шевера, которые обрабатывают таким образом, чтобы систематические погрешности оборудования влияли на них в одинаковой фазе. Минимальные отклонения положения червяка и червячного инструмента относительно колеса при нарезании и после сборки обеспечиваются при зубоотделке червячного колеса и при сборке делительной пары, когда базирование шевера и червяка не должно нарушать их одинаковое угловое положение по углу.

Кроме малых отклонений размеров и формы червяка и червячного колеса, технологический процесс их изготовления должен обеспечить длительное сохранение полученных размеров и формы при эксплуатации. Это достигается приданием материалам червяка и колеса нужной структуры, твердости и равновесия внутренних напряжений, соответствующими способами получения заготовок, режимами термической обработки и распределением съема припусков между последовательными операциями механической обработки. Соответственно в технологический процесс включают металлографический контроль заготовок, определение твердости и проверку отсутствия трещин.

Технологический процесс изготовления червяка. Укрупненно технология изготовления делительного червяка из цементуемой стали включает в себя следующие операции: ковку заготовки; отжиг поковки; черновое обтачивание поковки; высокий отпуск; предварительную механическую обработку; высокий отпуск; цементацию с последующей нормализацией и высоким отпуском; промежуточную механическую обработку для снятия цементованного слоя; закалку с последующими обработкой холодом и низким отпуском; первое получистовое шлифование; стабилизирующий отпуск; второе получистовое шлифование; стабилизирующее старение; окончательное шлифование. Обязателен структурный анализ материала заготовки на полосчатость, которая не допускается.

Допуски формы и положения базовых поверхностей делительных червяков должны соответствовать 1—3-й степени точности, а базовых поверхностей колес — 2—4-й степени точности по ГОСТ 24643—81. Особо жесткие требования предъявляются к форме, положению и шероховатости торцовых опорных поверхностей червяка.

На все элементы деталей, определяющие их конечные погрешности, следует составлять паспорта. Это позволяет контролировать ход технологического процесса, осуществлять оперативное управление и укреплять технологическую дисциплину.

Центровые отверстия цельного червяка являются постоянными технологическими и измерительными базами. Поэтому после каждой операции термической обработки производится их восстановление притиркой чугунными или твердосплавными притирами на токарных станках или шлифованием на специальных станках.

Предварительная механическая обработка заканчивается шлифованием витков (рис. 17.1) для выравнивания припуска и толщины цементованного слоя. При

Рис. 17.1. Распределение припусков при обработке одновиткового червяка по операциям:

1 — черновая нарезка; 2 — предварительная проточка; 3 — обдирочное шлифование; 4 — первое получистовое шлифование; 5 — второе получистовое шлифование; 6 — чистовое шлифование

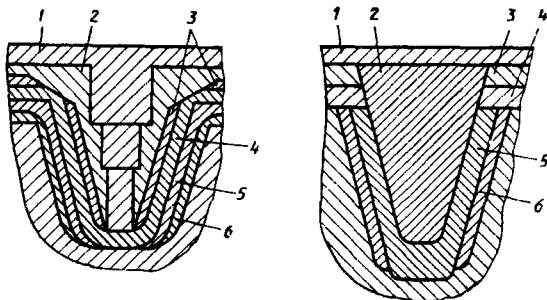


Рис. 17.2. Распределение припусков при обработке колеса по операциям:

1 — черновое обтачивание; 2 — черновое фрезерование; 3 — получистовое обтачивание; 4 — чистовое обтачивание; 5 — получистовое фрезерование; 6 — чистовое фрезерование или шевингование

предварительном точении снимается припуск 1,0—1,5 мм по толщине витка, а при предварительном шлифовании — 0,15—0,20 мм. При первом получистовом шлифовании витков снимается наибольший припуск (55—60 %) для устранения деформаций и черноты поверхности, возникающих в результате термической обработки.

При обработке используют круги ПП400×16×127 для червяков с $m = 2 \dots 4$ мм и ПП450×20×203 при $m = 4 \dots 6$ мм из электрокорунда Э9А, на керамической связке, 2-го класса дисбаланса по ГОСТ 3060—86. Правку осуществляют только алмазом и ограниченное число раз во избежание возникновения дисбаланса, направление правки — от периферии к центру круга. В качестве СОЖ применяют масло индустриальное 12.

Второе получистовое шлифование витков производят с высокой точностью на червячно- и резьбошлифовальных станках классов точности А и С, причем используют станок, на котором шлифовали шевер, предназначенный для нарезания колеса, сопрягаемого с данным червяком (соблюдаются условия обеспечения идентичности их винтовых поверхностей). Наиболее подходят для этой цели станки 5886В и 5887В. При чистовом шлифовании витков обеспечивают требуемые чертежом параметр шероховатости поверхности, толщину витка и идентичность винтовой поверхности с режущей поверхностью шевра. При этом снимается припуск по толщине, равный 0,10—0,15 мм, причем за номинал принимается фактическая толщина витка шевра, уменьшенная на величину бокового зазора в паре.

Технологический процесс обработки колеса. Укрупненно технология изготовления делительного червячного колеса (венца) из бронзы включает в себя следующие операции: центробежное литье заготовки; черновую механическую обработку (включает нарезку зубьев); старение; получистовую или чистовую механическую обработку (кроме зубьев); сборку со ступицей или планшайбой; совместную чистовую механическую обработку венца со ступицей или планшайбой; получистовое фрезерование зубьев; окончательное шевингование или чистовое фрезерование зубьев.

Схема распределения припуска при различных операциях изготовления зубчатого венца червячного колеса показана на рис. 17.2. Операция сборки венца со ступицей или планшайбой очень ответственна и производится тщательно путем посадки на конус и на торец. Степень прилегания контролируют по краске. Характер посадки должен обеспечить гарантированный натяг. Венец фиксируют коническими штифтами, проверенными по калибру, согласованному с разверткой, которой обрабатывают отверстия под штифты. Если венец имеет базовые поверхности, то после сборки их окончательно обрабатывают совместно с базовыми поверхностями ступицы или планшайбы.

Получистовое фрезерование зубьев, чистовое фрезерование выкружки по наружной поверхности и окончательное шевингование зубьев выполняют на одном станке за один установ. Выбор станка определяется наиболее ответственной операцией — шевингованием. Для этих операций применяют зубофрезерные мастер-станки класса точности С и выше. Для колес 4-й степени точности можно применять и станки класса точности А. Сумма отношений полной кинематической погрешности их цепи деления (обката) и погрешности, возникающей вследствие непостоянства положения оси вращения стола, к диаметру нарезаемого колеса, не должна превышать допустимой погрешности обката по ГОСТ 3675—81, а циклическая погрешность цепи деления — обката не должна превышать допустимой циклической погрешности обработки. Допуск осевого биения фрезерного шпинделя 1,0—1,5 мкм, а радиального — 2,5—4,0 мкм. Перечисленным выше требованиям удовлетворяет зубофрезерный мастер-станок 543 (табл. 17.1) для нарезания колес диаметром до 800 мм и зубофрезерный станок особо высокой точности (класса точности А) 5310А для нарезания колес диаметром до 200 мм.

17.1. Зубофрезерные станки для изготовления делительных червячных колес

Модель станка	Размеры колеса, мм		Наибольший диаметр фрезы, мм	Частота вращения фрезы, мин ⁻¹	Рекомендуемая подача, мм/об. заготовки
	Диаметр	Модуль			
542	До 320	До 5	100	—	—
543	200—800	До 6	125	5,8—46	0,11—0,64
544М	500—2000	До 10	320	6—50	0,066—2,2

Получистовое фрезерование зубьев колеса, фрезерование выкружки по наружной поверхности и чистовое шевингование производят за один установ. Заготовку колеса устанавливают на тумбу-подставку, прилегание которой к столу проверяют по краске.

Фрезерование осуществляют со скоростью 5—8 м/мин и подачей 0,03—0,05 мм/об. После прорезания производят 1—3 оборота стола без движения подачи. Режим шевингования: скорость 2—4 м/мин, подача 0,01—0,04 мм/об, затем 2—4 оборота стола без движения подачи. Продолжительное выхаживание вызывает тепловыделение и деформирование делительного колеса, что может привести к неисправимому браку. В качестве СОЖ при шевинговании применяют чистый керосин, в котором смачивают зубья шевера.

Фрезерование осуществляют с радиальным движением подачи до получения расстояния между осями инструмента и заготовки колеса, обеспечивающего необходимый припуск под шевингование по толщине зубьев колеса и необходимый радиальный зазор между головкой зуба шевера и дном впадины колеса. При этом учитывают фактические наружные диаметры, а также толщину зубьев фрезы и шевера.

Исходными для проектирования червячных фрез и шеверов являются параметры червяка. Наружный диаметр фрезы должен быть больше наружного диаметра червяка на величину, равную сумме удвоенного радиального зазора и запаса на повторную заточку.

Производительность чистового нарезания колес с помощью затылованных червячных фрез выше, чем с помощью шеверов (до 2,5 раз), а себестоимость колес ниже (стоимость инструмента снижается до 1,5 % общей себестоимости колес вме-

сто 15—60 %). Для обеспечения идентичности производящей поверхности фрезы и боковой поверхности одновиткового червяка расчетным или экспериментальным путем определяют фактическую производящую поверхность фрезы (новой или повторно заточенной) и осевой профиль дискового конического шлифовального круга, образующего винтовую поверхность червяка, которая идентична фактической производящей поверхности фрезы. Выбор производящей поверхности фрезы в качестве номинальной объясняется тем, что одной фрезой нарезают несколько колес, зацепляющихся с различными червяками. Кроме того, изменение формы винтовой поверхности витка червяка при его изготовлении, а также измерение ее параметров легче и проще, чем производящей поверхности фрезы.

Червячные фрезы и шеверы изготавливают из стали Р18. Ее карбидная неоднородность не должна превышать 3—4 баллов в зоне режущей части. Твердость после закалки должна быть не менее HRC₆₃. Фрезы и шеверы делают с контрольными поясками для измерения радиального и торцового биения.

Технические требования к полустачным фрезам должны соответствовать классу точности АА (ГОСТ 9324—80Е), а к шеверам — 1—2-й степени точности (ГОСТ 29613—81), 3—4-й степени точности (ГОСТ 3675—81) и допускам, составляющим 50—60 % допусков класса АА (ГОСТ 9324—80Е). Контроль цепи деления — обката зубофрезерного мастер-станка производят с помощью кинематометров.

17.2. Прецизионные глобоидные передачи

В высокоточных делительных машинах и других делительных механизмах широко применяют прецизионные глобоидные передачи с большими передаточными числами (180—2160). Накопленная погрешность прецизионных глобоидных передач составляет 1—20" в зависимости от их назначения и параметров. Применение глобоидных передач в делительных механизмах целесообразно, так как в зацеплении одновременно участвует большое число зубьев, что выравнивает шаговые погрешности и увеличивает кинематическую точность передачи. Эти передачи характеризуются также тем, что они имеют беззазорное зацепление витков червяка с зубьями колеса. Для предотвращения заедания контакта вследствие погрешностей и радиальных биений элементов передачи и устранения зазора узел червяка выполнен так, что червяк при работе может перемещаться относительно колеса в радиальном направлении.

Витки червяков прецизионных глобоидных передач, как и червяков силовых глобоидных передач, нарезают резцом. В качестве материалов могут быть использованы сталь 40Х или сталь 20 с твердостью не более HRC_{32—37}. Колеса изготавливают из бронзы БрО10Ф1 или БрО5Ц5С5 по ГОСТ 5017—74.

Для нарезания прецизионных глобоидных передач используют мастер-станок 543.

Погрешность установки вылета резцов по диаметру на точность элементов пары не влияет, так как вершины резцов входят в технологические канавки, нарезаемые при черновой обработке. С целью обеспечения одинаковой загрузки резцов при установке вылета допускается погрешность ± 10 мкм при зубообработке как червяка, так и колеса.

При чистовой зубообработке колеса двузубой фрезой-летучкой с резцами, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном диаметру профильной окружности D_p (рис. 17.3), погрешность межосевого расстояния и радиальное биение режущего инструмента на точность изделия не влияют. Погрешность межосевого рас-

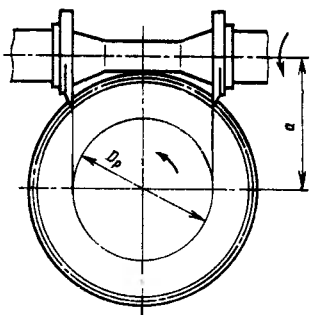


Рис. 17.3. Схема двузубой фрезы-летучки для нарезания колеса прецизионной глобоидной передачи

стояния принимают равной ± 10 мкм. Радиальное биение инструмента не должно превышать 5 мкм, что определяется техническими требованиями к станку 543.

Зубообработку глобоидного червяка выполняют после механической обработки всех поверхностей. Заготовку червяка закрепляют в шпинделе станка и проверяют радиальное биение. В осевом направлении заготовку устанавливают так, чтобы средняя плоскость червяка проходила через ось стола. Для контроля осевого положения используют шаблон с индикатором, щуп которого упирается в контрольную оправку, установленную в центрестола.

Резцовую головку устанавливают на столе станка и выставляют в радиальном положении по контрольной оправке. Расположение режущих кромок резцов на уровне оси шпинделя обеспечивается при изготовлении подставки резцедержателей и резцов.

После установки заготовки и инструмента — резцовой головки в резцедержатель, имеющий центральное гнездо, вставляют канавочный резец, вылет которого определяется с помощью шаблона. Технологическую канавку нарезают со скоростью 1,5 м/мин и подачей 0,03 мм/рабочий ход. После нарезания канавки производят предварительное нарезание боковых поверхностей витка.

После описанных операций и снятия детали со станка радиальное биение увеличивается до 3—15 мкм. Поэтому заготовку червяка подвергают старению в масле при температуре 180—200 °С в течение 20 ч, что позволяет уменьшить биение до 1—3 мкм.

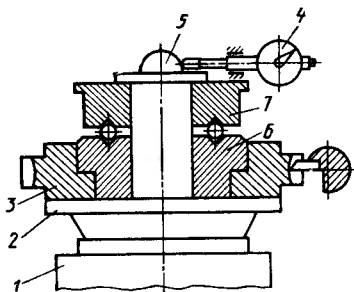
После старения производят повторное шлифование шеек и чистовое нарезание витка. Нарезание осуществляют с радиальным движением подачи при скорости резания 1 м/мин и подаче 0,025 мм/рабочий ход. При нарезании витка заготовки червяка охлаждают эмульсией. Для получения высокой точности червяков после нарезания витка выполняют выхаживание без движения подачи в течение не менее чем двух рабочих ходов с охлаждением эмульсией. Параметр шероховатости $Ra = 1,25 \dots 0,63$ мкм. Для повышения производительности операции нарезания технологических канавок, не требующих высокой точности, можно производить на обычном зубофрезерном станке с использованием специального фрезерного приспособления.

Нарезание колес, как и нарезание червяков, производится на мастер-станке (см. табл. 17.1). Колеса нарезают двузубыми фрезами-летучками; для нарезания колес прецизионных глобоидных передач глобоидные фрезы и шеверы не применяют. Такой инструмент слишком дорог и, главное, в его применении нет необходимости, поскольку достаточную точность удастся обеспечить при использовании упрощенного и сравнительно дешевого инструмента типа фрез-летучек с двумя профилирующими режущими кромками.

Прецизионные глобоидные передачи имеют немодифицированное зацепление и характеризуются большими передаточными числами. Глубина обкатной зоны в такой передаче мала и соизмерима с припуском, удаляемым в процессе приработки передачи с поверхности зуба колеса в месте расположения этой зоны. Поэтому использование для формирования зуба фрез-летучек практически не снижает точности передачи.

Рис. 17.4. Схема зубообработки колеса прецизионной глобоидной передачи:

1 — стол зубофрезерного станка; 2 — подставка; 3 — колесо; 4 — датчик; 5 — сфера; 6, 7 — соответственно нижняя и верхняя направляющие качения



В прецизионных глобоидных передачах используется небольшая длина червяка. Поэтому расположение резцов на фрезе-летучке, совпадающее с положением крайних образующих витка, трудно осуществимо. Для облегчения изготовления режущего инструмента резцы можно располагать на расстоянии, равном диаметру профильной окружности (см. рис. 17.3). При нарезании зубьев колеса передачи с передаточным числом $u = 2160$ припуск составляет около 2 мкм, что практически не создает трудностей для его удаления при приработке пары. С уменьшением передаточного числа припуск на приработку обкатной зоны увеличивается. Так, при передаточном числе $u = 180$ припуск составляет около 13 мкм. Для уменьшения припуска вводят дополнительные резцы.

При зубообработке на станке заготовку колеса кладут на подставку торцевой поверхностью, за которую принимают поверхность, свободную в собранной передаче и расположенную сверху, т. е. зубья нарезают при положении заготовки колеса, перевернутом по сравнению с рабочим положением (рис. 17.4). На нижней направляющей закрепляют сферу, которую выставляют относительно конструктивной базы с допустимой погрешностью 0,1—0,2 мкм. Сфера используется для определения биения колес. Колесо прикрепляют к подставке и еще раз проверяют биение.

Торцовое биение проверяется по опорной поверхности подставки. Высота от плоскости стола до средней плоскости заготовки колеса должна соответствовать положению оси шпинделя станка.

Зубообработку начинают с нарезания технологических канавок. Фрезу-летучку устанавливают в шпинделе станка и перемещением суппорта центрируют относительно центра стола. Канавки нарезают со скоростью 1,5 м/мин и подачей 0,02—0,05 мм/об стола.

После нарезания на колесе технологических канавок в шпиндель вставляют двузубую фрезу-летучку, которую выставляют по оси и закрепляют. Поворотом стола при отсоединенной гитаре деления колесо устанавливают таким образом, чтобы профилирующие резцы фрезы-летучки снимали слой металла с нарезанных канавок одинаковой толщины. При черновом и чистовом нарезании профилей зубьев скорость резания 1,2 м/мин, подача 0,02 мм/об стола. Обработку выполняют без охлаждения. При этом способе обработки с последующим выхаживанием от одного до двух оборотов накопленная погрешность не превышает 1" при $u = 1080$, $u = 2160$ и $m = 0,47$ мм и 4" при $u = 180$ и $m = 2,75$ мм. Параметр шероховатости $Ra = 0,63$ мкм.

Повышение точности колеса прецизионной глобоидной передачи достигается при его окончательной обработке червяком-притиром в беззазорном зацеплении. В процессе притирки под влиянием погрешностей колеса происходит периодическое сближение червяка-притира с колесом. В это время благодаря притирочному устройству специальной конструкции увеличивается тормозной момент. При этом червяк-притир не может выйти из зацепления, в результате чего увеличивается толщина срезаемого металла и повышается точность колеса.

Для точности прецизионных глобоидных передач огромное значение имеет сборка. Для обеспечения заданной точности и хорошего сопряжения червяка с колесом необходимо, чтобы их относительное положение в собранной передаче с максимальной точностью соответствовало их положению на станке, на котором производилась зубообработка. Установку колеса вдоль оси осуществляют по расчетным данным с помощью контрольных плиток и микронного индикатора, при этом погрешность угла скрещивания сводят до минимума. В осевом направлении червяк устанавливают с помощью микроскопа. Глобоидный червяк перемещают в осевом направлении в ту или другую сторону до достижения контакта 70 % витков с зубьями колеса по обеим сторонам профиля.

Приведенный технологический процесс обеспечивает изготовление прецизионных глобоидных передач, накопленная погрешность которых не превышает 2".

Глава 18

ДОПУСКИ И КОНТРОЛЬ ЧЕРВЯЧНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И ГЛОБОИДНЫХ ПЕРЕДАЧ

18.1. Допуски на червячные цилиндрические передачи

ГОСТ 3675—81 распространяется на червячные цилиндрические передачи и червячные пары (поставляемые без корпуса) с архимедовым ZA, эвольвентным ZI, конволютным ZN червяком и червяком типа ZK, образованным конусом. Межосевой угол передачи равен 90°. Стандарт распространяется на передачи с модулем 1—25 мм, делительным диаметром соответственно червяка до 450 мм и червячного колеса до 6300 мм.

Для параметров зацепления установлены нормы кинематической точности, плавности работы, а также контакта зубьев и витков червяка. Отдельно установлены нормы точности по боковому зазору.

Предусмотрено двенадцать степеней точности, относящихся к параметрам зацепления. В отличие от цилиндрических и конических передач для червячных передач нормы по показателям кинематической точности установлены для 12 степеней, а по показателям плавности работы и полноты контакта не установлены только для 1-й степени. Это объясняется тем, что для червячных передач разработаны более эффективные технологические и конструкторские приемы, позволяющие достигать точности передачи большей, чем точность цилиндрических и конических передач.

Ранее при нормировании точности выделяли кинематические и силовые передачи. Теперь такого разделения нет, поскольку требования к этим передачам могут быть заданы соответствующим комбинированием разных степеней точности по трем нормам (см. гл. 9) без искусственного разделения на виды передач.

В стандарте заданы нормы точности отдельно для червячного колеса, червяка и червячной передачи. Нормы контакта и бокового зазора различаются для передач с регулируемым и нерегулируемым расположением осей.

Нормы точности элементов червячных колес во многих случаях приняты равными аналогичным нормам точности цилиндрических зубчатых передач по ГОСТ

1643—81 (см. гл. 9), поскольку метод их нарезания и используемое оборудование существенно не различаются.

Эксплуатационные точностные показатели у всех видов передач совпадают, если задана одинаковая степень точности. Например, если выбрана передача 5-й степени, это означает, что обеспечена определенная точность передачи независимо от вида передачи — цилиндрической, конической или червячной.

18.2. Контроль цилиндрических червяков, червячных колес, передач и пар

В ГОСТ 3675—81, как в аналогичных стандартах на цилиндрические и конические передачи, установлены контрольные комплексы (табл. 18.1) в зависимости от норм точности и нормируемых объектов. Методы и средства измерения, используемые для различных комплексов, приведены в табл. 18.2.

Измерение параметров по нормам кинематической точности. Специфической особенностью червячных передач по сравнению с цилиндрическими и коническими является большое передаточное число. Цикл зацепления определяется одним оборотом червячного колеса, а червяк в это время совершает большое число оборотов. Исходя из этого для оценки по нормам кинематической точности установлены требования только к низкочастотной составляющей кинематической точности червячного колеса (накопленная погрешность шага, погрешность обката и т. д.). Кроме того, нормируются требования к наибольшей кинематической погрешности пар и передач. Этот параметр нормируется и для червячного колеса.

Показатели кинематической точности червячного колеса практически совпадают с показателями, установленными в ГОСТ 1643—81 для цилиндрических зубчатых колес и передач. Совпадает и принципиальный подход в отношении нормирования, т. е. взамен наибольшей кинематической погрешности нормируются ее дискретные значения в виде накопленной погрешности шага, а комплексные показатели заменяются дифференцированными (элементными) для оценки тангенциальной (погрешность обката) и радиальной (радиальное биение и колебание измерительного межосевого расстояния) составляющих.

В отличие от цилиндрических колес для червячных колес не нормируется колебание длины общей нормали.

Измерение наибольшей кинематической погрешности колес F'_{it} , передач и пар F'_{io} . На практике весьма редко измеряется кинематическая погрешность одного червячного колеса, хотя нормы в стандарте на этот параметр установлены. Объясняется это тем, что в червячных передачах невысокий уровень взаимозаменяемости. Иногда осуществляется спаривание колеса с определенным червяком, и для этого например, сравнивается точность червяка с точностью фрезы, которой будет нарезаться червячное колесо для этого червяка. Поэтому иметь измерительный червяк для проверки кинематической погрешности колеса не всегда удобно. Более эффективно измерение кинематической погрешности передачи и пары.

Измерение кинематической погрешности передачи осуществляется в собранном виде, а пары — в имитирующем собранную передачу в рабочем состоянии. Для этих измерений в основном используют те же приборы, что и для измерения погрешности обката (кинематической погрешности станка).

Измерение накопленной погрешности шага червячного колеса F_{Pt} и F_{Pkt} выполняется только в средней плоскости колеса теми же методами и средствами, что и цилиндрических колес (гл. 9).

18.1. Комплексы контроля (ГОСТ 3675—81) для червячных колес, червяков, червячных пар и передач

Контролируемый объект	Комплекс	Нормируемые параметры	Обозначение	Степень точности	Наибольший размер контролируемого объекта, мм
-----------------------	----------	-----------------------	-------------	------------------	-----------------------------------------------

Нормы кинематической точности

Червячное колесо	I	Наибольшая кинематическая погрешность червячного колеса	F'_{ir}	1—8	$d_2 = 6300$
	II	Накопленная погрешность шага червячного колеса Накопленная погрешность k шагов червячного колеса	F_{Pr} F_{Pkr}	1—6	$L^* \leq 7200$
	III	Накопленная погрешность шага червячного колеса	F_{Pr}	7—8	$L^* \leq 7200$
	IV	Погрешность обката червячного колеса Радиальное биение зубчатого венца червячного колеса	F_{cr} F_{rr}	1—8	$d_2 = 6300$
	V	Погрешность обката червячного колеса Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот червячного колеса	F_{cr} F''_{ir}	8	$d_2 = 6300$
	VI	Колебания измерительного межосевого расстояния за оборот червячного колеса	F''_{ir}	9—12	$d_2 = 6300$
	VII	Радиальное биение зубчатого венца червячного колеса	F_{rr}	9—12	$d_2 = 6300$
Червячная передача или пара	I	Наибольшая кинематическая погрешность червячной передачи (или пары)	F'_{i0r}	1—8	$L^* \leq 7200$

Нормы плавности работы

Червяк	1	Погрешность винтовой поверхности витка червяка Погрешность винтовой линии: в пределах оборота и длине нарезанной части	f_{hcr} f_{hr} f_{hkr}	2—6	$d_1 = 450$; $m = 25$
--------	---	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------	-----	---------------------------

Продолжение табл. 18.1

Контролируемый объект	Комплекс	Нормируемые параметры	Обозначение	Степень точности	Наибольший размер контролируемого объекта, мм
Червяк	II	Погрешность винтовой линии: в пределах оборота червяка на длине нарезанной части червяка Погрешность профиля витка червяка	f_{hr} f_{hkr} $f_{1,r}$	2—6	$d_1 = 450$; $m = 25$
	III	Отклонение осевого шага червяка Накопленная погрешность k шагов червяка Погрешность профиля витка червяка	f_{pxr} f_{pxkr} $f_{1,r}$	4—8	$d_1 = 450$; $m = 25$
	IV	Отклонение осевого шага червяка Радиальное бнение зубчатого венца витка червяка Погрешность профиля витка червяка	f_{pxr} f_{rr} $f_{1,r}$	7—12	$d_1 = 450$; $m = 25$
Червячное колесо	I	Циклическая погрешность червячного колеса	f_{zkr}	2—7	$d_2 = 6300$
	II	Колебания измерительного межосевого расстояния на одном зубе	f_{ir}''	8—12	$d_2 = 6300$
	III	Отклонение шага червячного колеса Погрешность профиля червячного колеса	f_{ptr} f_{ftr}	5—8	$d_2 = 6300$
	IV	Отклонение шага червячного колеса	f_{ptr}	8—12	$d_2 = 6300$
Червячная передача или пара	I	Циклическая погрешность червячной передачи (или пары) Циклическая погрешность зубцовой частоты червячной передачи (или пары)	f_{zk0r} f_{zz0r}	2—8	$d_3 = 6300$; $m = 25$

Продолжение табл. 18.1

Контролируемый объект	Комплекс	Нормируемые параметры	Обозначение	Степень точности	Наибольший размер контролируемого объекта, мм
-----------------------	----------	-----------------------	-------------	------------------	-----------------------------------------------

**Нормы контакта зубьев червячного колеса с витками червяков
для червячных пар и передач**

Червячная передача или пара с регулируемым и нерегулируемым расположением осей	I	Суммарное пятно контакта	—	2—12	$a = 400$
Червячная передача с нерегулируемым расположением осей	II	Отклонение межосевого расстояния червячной передачи Отклонение межосевого угла червячной передачи Смещение средней плоскости червячного колеса в передаче	f_{ar} $f_{\Sigma r}$ $f_{\alpha r}$	2—12	$a_w = 4000$

Нормы бокового зазора

Червячная передача с регулируемым расположением осей	I	Гарантированный боковой зазор	$j_n \min$	1—12	$a_w = 4000$
Червячная передача с нерегулируемым расположением осей	II	Наименьшее отклонение толщины витка червяка по хорде Допуск на толщину витка червяка по хорде	E_{asr}^- T_s^-	1—12	$a_w = 4000$

* L — длина дуги.

Измерение погрешности обката F_{cr} . Этот параметр, хотя и нормирует требования к колесу, но в справочном приложении к ГОСТ 3675—81 указано, что погрешность обката может определяться, как погрешность кинематической цепи деления зубообрабатывающего станка. Эту погрешность измеряют либо кинематометром (см. табл. 18.2), либо, измерив накопленную погрешность шага, исключают из нее циклические погрешности. Нормирование погрешности обката следует при

18.2. Средства измерения цилиндрических червячных колес, червяков, червячных пар и передач

Измеряемый объект	Комплексы из табл. 18.1	Измеряемый параметр и его обозначение	№ по пор.	Средство измерения, тип, модель. Завод-изготовитель	Размеры измеряемых объектов, мм
<i>Нормы кинематической точности</i>					
Червячное колесо	II III	Накопленная погрешность шага червячного колеса F_{pr} и накопленная погрешность k шагов червячного колеса F_{pkr}	1	Прибор для измерения элементов мелко модульных зубчатых колес, тип БВ-5035, мод. 27400. «ИЗМЕРОН»	$d_2 = 5...160$; $m = 0,5...1,25$
			2	Прибор для автоматизированного измерения шага мелко модульных зубчатых колес, тип БВ-5079, мод. 27600. «ИЗМЕРОН»	$d_2 = 5...120$; $m = 0,2...2$
			3	Прибор универсальный автоматический для поэлементного измерения зубчатых колес, мод. 27501. «ИЗМЕРОН»	$d_2 = 20...400$; $m = 0,2...18$
			4	Прибор для автоматического измерения шага зубчатых колес, тип БВ-5090, мод. 27700. «ИЗМЕРОН»	$d_2 = 20...320$; $m = 1...8$
			5	Оптическая делительная головка и отсчетная головка	$d_2 = 250$
	V VI	Колебания измерительного межосевого расстояния за оборот F''_{ir}	6	Межосемер с самопишущим прибором и электроприводом, мод. МЦ-160М.07. ЧЗИП	$d_2 = 5...120$; $m = 0,15...1$
			7	Межосемер без наладок и со сменными наладками, мод. МЦ400У. ЧЗИП	$d_1 = 20...100$ $d_2 = 50...320$
			8	Прибор для измерения крупногабаритных зубчатых колес, тип БВ-5077.06. ЧЗИП	$d_2 = 320...1250$
			9	См. п. 1, БВ-5035.25*	$d_2 = 5...120$

Продолжение табл. 18.2

Измеряемый объект	Комплексы по табл. 18.1	Измеряемый параметр и его обозначение	№ по пор.	Средство измерения, тип, модель. Завод-изготовитель	Размеры измеряемых объектов, мм
Червячное колесо	IV VII	Радиальное биение зубчатого венца червячного колеса F_{rr}	10	Биениемер полуавтоматический, тип 25004. «ИЗМЕРОН»	$d_2 = 20 \dots 200$; $m = 0,2 \dots 2$
			11	Биениемер, мод. Б-10М. ЧЗИП	$d_2 = 20 \dots 400$; $m = 1 \dots 10$
			12	Прибор для измерения зубчатых колес, мод. ЗИП-1. ЧЗИП	$d_2 = 20 \dots 260$; $m = 1 \dots 8$
			13	См. п. 1—БВ-5035.15*, см. п. 3—мод. 27500.19*, см. п. 7—БВ-5077.08*	—
	IV V	Погрешность обката F_{cr}	14	Приборы для измерения накопленной погрешности шага (см. пп. 1—4) при исключении радиального биения	—
			15	Кинематомер для измерения кинематической погрешности зубофрезерных станков, мод. КН7. ЧЗИП	Частота до 7 Гц, диапазон измерения 200"
Червячная передача или пара	I	Наибольшая кинематическая погрешность червячной передачи (или пары) F'_{i0r}	16	См. п. 15	—
<i>Нормы плавности работы</i>					
Червяк	II	Погрешность винтовой линии в пределах оборота червяка $f_{\lambda r}$ и на длине нарезанной части червяка $f_{\lambda \lambda r}$	17	Эвольвентомер универсальный с устройством для измерения винтовой линии, мод. БВ-5062. ЧЗИП	$d_1 = 20 \dots 320$; $m = 1 \dots 12$
			18	Прибор для комплексного измерения мелкомо-	$d_1 = 10 \dots 100$; $m = 0,2 \dots 2$

Продолжение табл. 18.2

Измеряемый объект	Комплексы по табл. 18.1	Измеряемый параметр и его обозначение	№ по пор.	Средство измерения, тип, модель. Завод-изготовитель	Размеры измеряемых объектов, мм
Червяк				дульных червячных фрез, мод. БВ-5080. ЧЗИП	
			19	Машина измерительная для комплексного измерения червячных фрез с применением управляющей ЭВМ, мод. БВ-5099. «ИЗМЕРОН»	$d_1=40...300$; $m=1...20$
	III	Отклонение осевого шага червяка f_{pxr} Накопленная погрешность k шагов червяка f_{pxkr}	20	Универсальный микроскоп	$d_1 \leq 200$
			21	Приспособления для измерения шага резьбовых элементов	—
	III, IV	Погрешность профиля червяка f_{flr}	22	См. пп. 19, 20	—
	III, IV	Радиальное биение зубчатого венца внтоков червяка f_{rr}	23	См. пп. 10, 11, 13, 20	—
Червячное колесо	I	Циклическая погрешность червячного колеса f_{zkr}	24	См. пп. 14, 15	—
	II	Колебания измерительного межосевого расстояния на одном зубе f''_{lr}	25	См. пп. 6, 7, 8, 9	—
	III, IV	Отклонение шага червячного колеса f_{ptr}	26	Шагомер для измерения шага зацепления и разности шагов, тип БВ-5070. «ИЗМЕРОН»	$d_2=2...28$
			27	Шагомер для измерения шага зацепления и разности шагов, мод. 21704. «ИЗМЕРОН»	$d_2=10...50$

Продолжение табл. 18.2

Измеряемый объект	Комплексы по табл. 18.1	Измеряемый параметр и его обозначение	№ по пор.	Средство измерения, тип, модель. Завод-изготовитель	Размеры измеряемых объектов, мм
Червячное колесо	III, IV	Отклонение шага червячного колеса j_{ptr}	28	См. пп. 1, 2, 3, 4, 5	—
	III	Погрешность профиля червячного колеса f_{pr}	29	Эвольвентомер универсальный с записывающим устройством и электроприводом, мод. КЭУ. ЧЗИП	$d_2 = 20...320$
			30	Эвольвентомер с записывающим устройством и электроприводом, для мелко модульных колес, тип БВ-5057. ЧЗИП	$d_2 = 5...120$; $m = 0,2...1$
			31	См. п. 17	—
Червячная передача или пара	I	Циклическая погрешность червячной передачи (или пары) $f_{x\theta\sigma}$ и циклическая погрешность зубцовой частоты в червячной передаче $f_{x\psi\sigma}$	32	См. п. 15	—

Нормы контакта зубьев червячного колеса с витками червяков для червячных пар и передач

Червячная передача или пара	I	Суммарное пятно контакта	33	Контрольно-обкатные станки, контрольные приспособления, в рабочем корпусе	—
Червячная передача с нерегулируемым расположением осей	II	Отклонение межосевого расстояния f_{ar} , отклонение межосевого угла $f_{i\sigma r}$, смещение средней плоскости червячного колеса f_{τ}	34	Специальные и универсальные средства измерения, например координатно-измерительные машины (КИМ)	—

Продолжение табл. 18.2

Измеряемый объект	Комплексы по табл. 18.1	Измеряемый параметр и его обозначения	№ по пор.	Средство измерения, тип, модель. Завод-изготовитель	Размеры измеряемых объектов, мм
<i>Нормы бокового зазора</i>					
Передачи с регулируемым расположением осей	I	Гарантированный боковой зазор $j_{b \min}$	35	Индикаторное приспособление, свинцовая пластина	—
Передачи с нерегулируемым расположением осей	II	Наименьшее отклонение толщины витка червяка по хорде E_{ss}^- , допуск на толщину витков по хорде $T_{\frac{1}{2}}^-$	36	Зубомер индикаторно-микрометрический, тип БВ-5085, КРИН БВ-5085-01, КРИН	$m=2-16$ $m=16...32$
			37	Штангензубомеры завода КРИН с ноннусом типов: ШЗ-18 ШЗ-36	$m=1...18$ $m=5...32$
			38	Микроскопы универсальный и инструментальный	—
			39	Проволочки, ролики и универсальные измерительные приборы	—

* Сменные узлы.

знать прогрессивным направлением, поскольку через погрешность станка предупреждается появление погрешности на обработанных колесах.

Измерение колебания измерительного межосевого расстояния за оборот колеса F_{ir} . Этот показатель полностью совпадает с показателем для цилиндрических зубчатых колес и измеряется с помощью тех же приборов, в конструкции которых имеются сменные кронштейны для установки червяка (рис.18.1). Толщина витка измерительного червяка должна превышать толщину витка рабочего червяка на величину, равную наименьшему отклонению толщины витка, с тем чтобы обеспечить зацепление по точкам контактной хорды.

Измерение радиального биения зубчатого венца F_{rr} , осуществляется по точкам разноименных профилей впадины колеса, нарезаемых одновременно. Такими точками являются точки, находящиеся на контактной хорде впадины колеса в нормальном сечении. Измерение осуществляется в средней плоскости колеса с помощью тех же приборов, что и для цилиндрических колес.

Измерение параметров по нормам плавности работы. Червячная передача—это тихоходная передача, и плавность ее работы в значительной мере опреде-

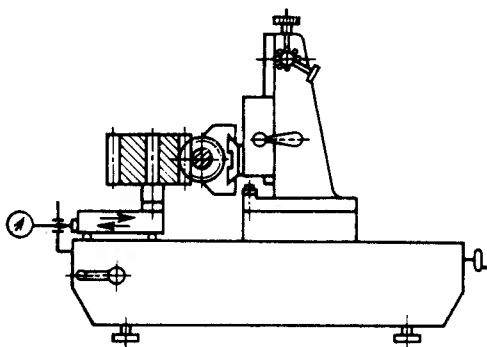


Рис. 18.1. Схема измерения колебания измерительного межосевого расстояния за оборот колеса

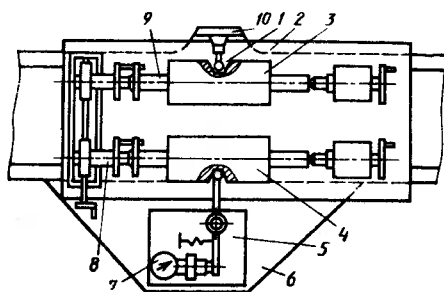


Рис. 18.2. Прибор для измерения идентичности червяков и червячных фрез:

1 — жесткий упор; 2 — подвижный стол; 3 — червяк; 4 — червячная фреза; 5 — измерительный узел; 6 — станнина; 7 — отсчетное устройство; 8 и 9 — шпindel; 10 — неподвижный кронштейн

ляется погрешностью ее быстроходного звена (червяка). Высокочастотные составляющие червячного колеса также влияют на плавность работы, поэтому они нормируются в стандарте параметрами, совпадающими с параметрами цилиндрических зубчатых колес. В качестве комплексного показателя, как и для других видов передач (цилиндрических, конических), нормируется циклическая погрешность передачи или пары.

Измерение параметров червяка. Нормируемые параметры, характеризующие точность червяка в отношении винтовой поверхности, в значительной мере совпадают с аналогичными параметрами для резьбы. Комплексным показателем, характеризующим плавность работы червяка, является погрешность его винтовой поверхности f_{hcr} и погрешность винтовой линии f_{hr} и f_{hkr} . Последняя является как бы частным показателем, характеризующим винтовую поверхность. Все остальные параметры являются дифференцированными, характеризующими винтовую поверхность: осевой шаг f_{pxr} и f_{pxkr} , погрешность профиля f_{j1r} и радиальное биение f_{rr} .

Измерение погрешности винтовой поверхности витка червяка f_{hcr} . Под этим параметром понимают наибольшее, в пределах активной поверхности витка червяка, расстояние между активной поверхностью червяка и условно-соприкасающейся с ней соосно расположенной производящей поверхностью червячной фрезы, используемой для окончательной обработки зубьев червячного колеса. Этот параметр определяет требования к винтовой поверхности червяка. Имеется в виду, что отклонения ряда параметров червяка не влияют на плавность работы передачи, если аналогичные отклонения имеются на фрезе, нарезающей колесо для этого червяка.

Наиболее полным и правильным является определение параметров червяка методом сравнения с параметром червячной фрезы. На производстве используются приборы для измерения идентичности червяков и червячных фрез для такого сравнения. В этих приборах червяк и фреза устанавливают последовательно или параллельно в центрах (рис. 18.2), а сравнение поверхностей осуществляют при их одновременном синхронном вращении. Достоинство такого нормирования и измерения — технологическое обеспечение точности; недостаток — уменьшение уровня взаимозаменяемости.

В принципе можно измерять отдельно винтовую линию у червяка и у червячной фрезы на приборах для измерения винтовой линии и сопоставлять полученные результаты.

Измерение погрешности винтовой линии в пределах оборота червяка f_{hr} и на длине нарезанной части червяка f_{hkr} . Параметры эти, т. е. погрешность винтовой линии, получаемой в сечении поверхности червяка соосным цилиндром, такие же, как у резьбовых поверхностей и у косозубых зубчатых колес. Поэтому специальные приборы только для измерения червяков практически не изготавливают. Чаще всего используют приборы для измерения винтовой линии червячных фрез или косозубых колес. В большинстве приборов (БВ-5080) измеряемый червяк вращается, а измерительный узел перемещается вдоль оси. Регистрирующее устройство фиксирует отклонение реальной винтовой линии червяка от теоретической винтовой линии, воспроизводимой прибором, вращением червяка и поступательным перемещением измерительного узла прибора. В измерительном приборе БВ-5099 используется другой принцип — сравнение реальной винтовой линии с теоретической осуществляется с использованием фотоэлектрических датчиков, характеризующих угловые и линейные перемещения, а ЭВМ производит расчеты погрешности винтовой линии по импульсам, поступающим с обоих датчиков.

Измерение отклонения осевого шага f_{pkr} и накопленной погрешности червяка на k шагах f_{pxr} и f_{pxkr} . Осевым шагом нормируется дискретный показатель, характеризующий точность винтовой линии. Отклонение осевого шага можно рассматривать как кинематическую погрешность при повороте одновиткового червяка на один оборот. Геометрически осевой шаг характеризуется расстоянием между одноименными сторонами соседних витков. Измерение этого параметра осуществляется с помощью приборов для измерения червячных фрез или резьбоизмерительных приборов по одинаковой схеме (рис. 18.3). Обычно червяк устанавливают неподвижно, а измерительный узел перемещается вдоль оси, значения шага отсчитываются по оптической шкале, например, на универсальном микроскопе.

Измерение радиального биения зубчатого венца витка червяка f_{rr} осуществляется с помощью сферических измерительных наконечников, укрепляемых на стержне измерительной головки, или плоского наконечника и ролика или шарика, закладываемых во впадину между витками. Специальные приборы для этих измерений не изготавливают, используют, например, универсальный или инструментальный микроскоп.

Измерение погрешности профиля витка червяка $f_{f,r}$. Профиль червяка измеряют в сечении, где он прямолинеен: для архимедова червяка — в осевом сечении, для эвольвентного — в плоскости, смещенной от оси на расстояние, равное радиусу основной окружности, для конволютного — в плоскости, перпендикулярной винтовой линии.

Измерение профиля червяка, как правило, осуществляется на приборах, предназначенных для измерения профиля червячных фрез. Приборы для измерения профиля червячных фрез, а следовательно, и червяков (рис. 18.4) предназначены обычно для архимедовых и эвольвентных червяков. При измерении профиля эвольвентных червяков отсчетное устройство должно подниматься или опускаться выше или ниже оси червяка. Устанавливается оно по концевым мерам длины.

Измерение параметров червячных колес. Параметры, которые нормируют для червячных колес с целью оценки плавности их работы, почти полностью совпадают с параметрами, нормируемыми для цилиндрических зубчатых колес. В связи с особенностью геометрической формы червячных

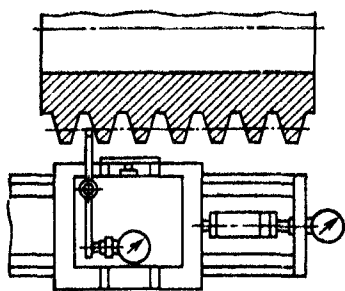


Рис. 18.3. Схема измерения осевого шага червяка

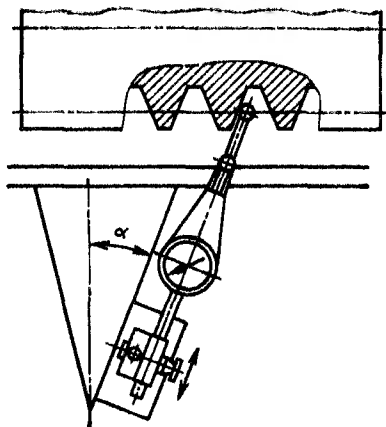


Рис. 18.4. Схема измерения профиля червяка

колес для них не нормируются погрешность шага зацепления, а также из-за тихой ходности колес местная кинематическая погрешность.

Измерение параметров червячного колеса осуществляется на тех же приборах, что и цилиндрического колеса. Но производится в среднем его сечении. При использовании шагомеров для измерения шага возникает необходимость дополнительного базирования (рис. 18.5).

Измерение параметров червячных передач и пар. Для червячных передач (пар) нормируются, как и для цилиндрических передач, циклическая погрешность $f_{z\theta r}$ в качестве высокочастотной гармонической составляющей кинематической точности и отдельно циклическая погрешность $f_{z\theta r}$ с частотой повторения, равной частоте входа зубьев в зацепление (зубцовая частота). Эти параметры измеряют одновременно с наибольшей кинематической погрешностью передачи (пары).

Измерение параметров по нормам контакта. В нормах контакта разделены требования к передачам с регулируемым и нерегулируемым расположением осей. Для передач обоих видов комплексным показателем точности контакта является суммарное пятно контакта. Для нерегулируемых передач приведены отдельные требования к погрешности монтажа, т. е. к параметрам, которые влияют на полноту контакта: отклонение межосевого расстояния f_{ar} , отклонение межосевого угла $f_{\Sigma r}$ и смещение средней плоскости колеса f_{xr} .

На практике обычно используют все эти нормы как для регулируемых, так и для нерегулируемых передач. Конечным показателем полноты контакта является пятно контакта независимо от вида передач, а для технологического процесса, обеспечивающего необходимое пятно контакта, необходимо выдерживать требования монтажа.

Измерение суммарного пятна контакта. Под этим комплексным показателем понимают часть активной боковой поверхности зуба червячного

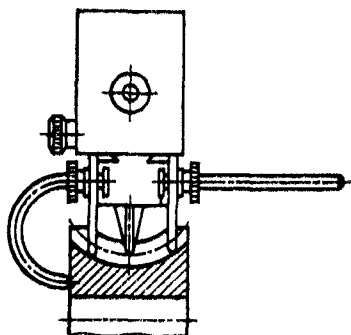


Рис. 18.5. Базирование накладных шагомеров при измерении червячных колес

колеса, на которой располагаются следы прилегания парного червяка в собранной передаче после вращения под нагрузкой, устанавливаемой конструктором. Нормируются относительные размеры пятна контакта в процентах ширины зубчатого венца и высоты зуба червячного колеса. В процессе монтажа передач с регулируемым расположением осей по суммарному пятну контакта судят о точности монтажа.

Для ускорения процесса получения пятна контакта определяют так называемое мгновенное пятно контакта, хотя нормы на него отсутствуют. Определяют этот параметр так же, как суммарное пятно контакта, но вращение передачи осуществляется только при легком торможении, обеспечивающем непрерывное контактирование зубьев колеса и витков червяка. Такие измерения чаще производят при рабочем монтаже с использованием краски (см. гл. 9). Метод в значительной мере субъективен, так как сложно оценить толщину наносимой краски и определить площадь отпечатка.

Измерение отклонения межосевого расстояния f_{ar} , отклонения межосевого угла $f_{\Sigma r}$, смещения средней плоскости червячного колеса f_{xr} . Хотя эти нормы указаны для передач, в действительности они относятся к корпусу передач. Наиболее совершенными современными средствами измерения отклонений расположения поверхностей корпусных деталей, в том числе в собранном виде, являются координатно-измерительные машины (КИМ). В условиях массового и крупносерийного производства червячных передач создают контрольные приспособления для измерения этих параметров монтажа.

Измерение параметров по нормам бокового зазора. Требования к боковому зазору нормируются отдельно для передач с регулируемым и нерегулируемым расположением осей. Для первых нормируются требования к гарантированному боковому зазору, а для вторых — требования к параметрам, относящимся к толщине витков червяка.

Нормирование требований к боковому зазору заключается в том, что нормируются ряды точности в зависимости от гарантированного бокового зазора $f_{n \min}$, которые обозначаются буквами А, В, С, D, Е, Н по мере уменьшения зазора. Они называются видами сопряжения. Предполагается, что в передачах с регулируемым расположением осей имеется возможность выставить необходимый гарантированный (наименьший) боковой зазор.

Для передачи с нерегулируемым расположением осей также используются сопряжения этих видов для оценки возможного бокового зазора. Для реализации требований к боковому зазору для передач с нерегулируемым расположением осей нормируется наименьшее отклонение толщины витка червяка $E_{\Sigma r}$ в зависимости от вида сопряжения. Требования к гарантированному боковому зазору задаются через наименьшее отклонение толщины витка. Помимо этого, для этих передач дается допуск на толщину витка $T_{\Sigma r}$, располагаемый в сторону уменьшения толщины витков от наименьшего смещения. Для передач с регулируемым расположением осей фактический допуск на боковой зазор не дается. А для передач с нерегулируемым расположением осей нормируются восемь возможных вариантов допусков на толщину витков червяка. Эти ряды точности на боковой зазор, как для других видов передач, названы видами допусков $T_{\Sigma r}$ бокового зазора, хотя формально непосредственно на боковой зазор допуски не указаны. Эти ряды точности обозначены в стандарте буквами х, у, z, а, b, с, d, h.

Таким образом, разделение норм для передач с регулируемым и нерегулируемым расположением осей в определенной мере условно, поскольку исходными нор-

мативными данными для передач обоих видов являются требования к гарантированному боковому зазору, а из требований к толщине витков червяка и межосевому расстоянию вытекают пути получения этого зазора.

Измерение гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$ осуществляют так же, как и у цилиндрических и конических передач, т. е. возможным поворотом колеса относительно неподвижного червяка, отсчитывая смещение по индикатору. Иногда определяют зазор, помещая пластину из свинца или другого легко деформируемого материала со стороны нерабочих профилей и измеряя толщину этой пластины в наиболее тонком обжатом месте.

Измерение отклонений толщины витка по хорде E_{ss}^- , T_s^- . Боковой зазор в червячной передаче, в отличие от бокового зазора цилиндрических передач, создают только путем уменьшения толщины зубьев витков червяка. Другими способами, например изменением межосевого расстояния, пользоваться не следует, поскольку увеличение или уменьшение межосевого расстояния передачи приводит к нарушению плавности работы и контакта между зубьями колеса и витками червяка. Практически нельзя обеспечить требуемый зазор и путем уменьшения толщины зубьев колеса заглублением фрезы, так как при этом также ухудшается плавность работы и нарушается полнота контакта в передаче.

Наименьшее отклонение толщины витка червяка по хорде E_{ss}^- обеспечивает получение гарантированного бокового зазора лишь при условии, что номинальная толщина витков червяка и действительная толщина зубьев фрезы для нарезания колеса к этому червяку равны. Поскольку фреза повторно затачивается, а следовательно, увеличивается толщина зубьев колеса, нарезаемого этой фрезой, необходимо изменять также номинальную толщину витков червяка.

Толщину витков червяка необходимо измерять от рабочей оси. Такие измерения могут быть выполнены, например, с помощью универсального микроскопа. Однако чаще всего производят измерения, базируя прибор по наружной поверхности червяка (измерение кромочными зубомерами). В этом случае необходимо пересчитать значение толщины витков червяка с учетом действительного значения наружного диаметра червяка. Для этого наименьшее уточнение витка должно быть увеличено на половину допуска, заданного на радиальное биение по наружному цилиндру червяка, умноженного на $2\text{tg}\alpha$, а также должна быть введена поправка, равная половине предельного отклонения наружного диаметра заготовки, умноженная на $2\text{tg}\alpha$.

Наименьшее отклонение толщины витка можно определить по формуле

$$E_{\text{сп}}^- = E_{ss}^- + 0,36f_{rr},$$

а допуск на толщину витка — по формуле

$$T_{\text{сп}}^- = T_s^- - 0,73f_{rD} - 0,36T_{Da},$$

где f_{rD} — радиальное биение наружного диаметра червяка; T_{Da} — допуск на наружный диаметр.

Измерение толщины витков червяков осуществляется также широко применяемым при измерении параметров резьбы способом с использованием проволочек или роликов и универсальных средств измерения (микрометров, рычажных скоб и т. д.). При четном числе заходов применяют две проволочки, при нечетном — три. Номинальный размер M , на который настраивается прибор, подсчитывают по следующим формулам:

а) для архимедовых червяков при угле профиля червяка в осевом сечении, $\alpha = 20^\circ$:

$$M = d_1 - 4,316m + d_p \left(\frac{1}{\sin \alpha_n} + 1 \right).$$

Здесь d_1 — диаметр делительного цилиндра червяка; d_p — диаметр проволок или роликов; α_n — угол профиля червяка в нормальном сечении, находят по формуле $\operatorname{ctg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha \cos \lambda$, где λ — угол подъема винтовой линии червяка на делительном цилиндре.

Полученное после измерения отклонение δM от расчетного размера M пересчитывают в отклонения толщины витка $E_{ss\text{np}}$ по формуле $E_{ss\text{np}} = \delta M \operatorname{tg} \alpha$;

б) для конволютных червяков

$$M = d_1 - P_x \cos \alpha / 2 \operatorname{tg} \alpha_0 + d_p (1 / \sin \alpha_0 + 1);$$

при $\alpha = 20^\circ$ $M = d_1 + 4,316 m_t \cos \lambda + 3,224 d_p$,

где P_x — осевой шаг конволютного червяка; α_0 — угол профиля инструмента.

Отклонение размера M пересчитывают в отклонение толщины витка $E_{ss\text{np}}$, по формуле $E_{ss\text{np}} = \delta M \operatorname{tg} \alpha_0 / \cos \lambda$;

в) для эвольвентных червяков $M = 2(r - r_b)$. Здесь r — расстояние между осями проволок и червяка, находят по формуле $r = r_b / \cos \alpha_r$; r_b — радиус основного цилиндра червяка, находят по формуле $r_b = mz_1 / 2 \operatorname{tg} \alpha_b$, где z_1 — число заходов червяка; λ_b — угол подъема червяка на основном цилиндре, который находят по формуле $\operatorname{tg} \lambda_b = \operatorname{tg} \lambda / \cos \alpha$; α_r — угол давления на радиусе r , находят по формуле $\operatorname{inv} \alpha_r = r_p / r_b \sin \lambda_b - \eta + \operatorname{inv} \alpha$, где r_p — радиус проволок или роликов; η — половина угловой ширины впадины на радиусе r_b , находят по формуле $\eta = W_x / 2P$ (W_x — ширина впадины червяка в осевом сечении, $P = mz_1 / 2$ — винтовой параметр), $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_n / \sin \lambda$.

Отклонение размера M пересчитывают в отклонение толщины витка:

$$E_{ss\text{np}} = \delta M 2 \sin \alpha \operatorname{tg} \lambda_b.$$

18.3. Допуски на глобоидные передачи

ГОСТ 16502—83 распространяется на глобоидные передачи и глобоидные пары (поставляемые без корпуса) с межосевым углом 90° , выполненные в соответствии с ГОСТ 24438—80, номинальные поверхности витков червяков которых образованы прямой линией или производящей поверхностью вращения, образованной прямой линией. Стандарт устанавливает четыре степени точности червяков, колес, пар и передач, обозначаемых в порядке убывания точности цифрами 6, 7, 8 и 9.

ГОСТ 16502—83 устанавливает нормы кинематической точности, нормы плавности работы и нормы контакта зубьев и витков, а также нормы бокового зазора. Допускается комбинирование норм кинематической точности, норм плавности и норм контакта зубьев и витков разных степеней точности.

Стандартом устанавливаются пять видов сопряжений глобоидного червяка с колесом, обозначаемые в порядке убывания бокового зазора буквами А, В, С, D, Е. Между видами сопряжения глобоидного червяка с колесом в передаче и степенью точности по нормам плавности устанавливается определенное соответствие.

18.4. Контроль глобoidных червяков, колес, передач и пар

ГОСТ 16502—83 устанавливает для контроля точности глобoidных червяков, колес, передач и пар контрольные комплексы (табл. 18.3).

18.3. Комплексы контроля, предусмотренные в ГОСТ 16502—83 для глобoidных червяков, колес, пар и передач

Контролируемые объекты	Комплексы	Наименование нормируемых параметров	Обозначение	Степень точности
------------------------	-----------	-------------------------------------	-------------	------------------

Нормы кинематической точности

Колесо глобoidной передачи	I	Наибольшая погрешность колеса глобoidной передачи	F'_{ir}	6—8
	II	Накопленная погрешность шага колеса глобoidной передачи Накопленная погрешность k шагов колеса глобoidной передачи	F_{Pr} F_{Pkr}	6—8
	III	Погрешность обката колеса глобoidной передачи Колебание бокового зазора	F_{cr} F_{vjr}	6,7
	IV	Колебание бокового зазора	F_{vjr}	8,9
Глобoidная пара и передача	I	Наибольшая кинематическая погрешность глобoidной передачи	F'_{i0r}	6—8

Нормы плавности работы

Глобoidный червяк	I	Погрешность линии витка в пределах оборота глобoidного червяка Погрешность линии витка на длине глобoidного червяка	f_{hr} f_{hkr}	6—9
	II	Отклонение шага глобoidного червяка Накопленная погрешность шагов глобoidного червяка	f_{Pxr} f_{Pxkr}	6—9
Колесо глобoidной передачи	I	Отклонение шага колеса глобoidной передачи Циклическая погрешность колеса глобoidной передачи	f_{Ptsr} f_{zkr}	6—8

Продолжения табл. 18.3

Контролируемые объекты	Комплекс	Наименование нормируемых параметров	Обозначение	Степень точности
Глобоидная пара или передача	II	Циклическая погрешность глобоидной передачи Циклическая погрешность зубцовой частоты в глобоидной передаче	$f_{z\text{кор}}$ $f_{z\text{зот}}$	6—8
<i>Нормы контакта</i>				
Глобоидная пара или передача	I	Отклонение межосевого расстояния глобоидной передачи Смещение средней плоскости червяка в глобоидной передаче Смещение средней плоскости колеса в глобоидной передаче Отклонение межосевого угла глобоидной передачи Погрешность профиля витка глобоидного червяка Погрешность профиля зуба колеса глобоидной передачи	f_{ar} f_{x1r} f_{x2r} $f_{\Sigma r}$ f_{f1r} f_{f2r}	6—9
	II	Пятно контакта	—	6—9
<i>Нормы бокового зазора</i>				
Глобоидная пара или передача	I	Гарантированный боковой зазор	$f_{n\text{min}}$	6—9
	II	Наименьшее отклонение толщины витка глобоидного червяка по хорде Допуск на толщину витка глобоидного червяка по хорде Допуск на толщину зуба колеса глобоидной передачи по хорде	E_{s-s}^- T_{s1}^- T_{s2}^-	6—9

Измерение параметров по нормам кинематической точности. Принципиальный подход к нормированию кинематической точности глобоидных передач такой же, как к ее нормированию для червячных цилиндрических передач.

В глобоидной передаче недопустимо изменять межосевое расстояние в процессе измерения и не используется такой параметр, как колебание измерительного межосевого расстояния, но в отличие от червячных цилиндрических передач нормируется колебание бокового зазора.

Параметры, характеризующие кинематическую точность, либо совпадают с аналогичными параметрами для червячных цилиндрических передач, либо для их определения используют в качестве базовых показатели для червячных цилиндрических передач, которые пересчитывают.

Измерение параметров, характеризующих кинематическую точность, принципиально не отличается от измерения этих же параметров применительно к червячной цилиндрической передаче.

Измерение параметров по нормам плавности работы. Плавность работы глобоидной передачи, так же как червячной цилиндрической передачи, в значительной степени зависит от точности червяка. Высокочастотные составляющие колеса глобоидной передачи, влияющие на плавность работы, нормируются параметрами, совпадающими с параметрами червячной цилиндрической передачи.

Показатели точности модифицированного глобоидного червяка, нарезанного бескоррекционным способом, ГОСТ 16502—83 рекомендует измерять при настройке измерительного прибора на параметры станочного зацепления. В этом случае измерение модифицированного глобоидного червяка сводится к измерению классического глобоидного червяка, имеющего параметры станочного зацепления, т. е. влияние кривой модификации на результаты измерения исключается, что значительно упрощает анализ результатов. При измерении профиля витка глобоидного червяка или глобоидной фрезы диаметр измерительной профильной окружности должен быть принят равным $D_{p0} = D_p + 2\Delta a \sin \alpha_{x1}$.

Измерение отклонения шага колеса f_{pt2} и циклической погрешности колеса f_{zkr} осуществляется с помощью приборов, используемых для колеса червячной цилиндрической передачи.

Измерение параметров по нормам контакта. В ГОСТ 16502—83 предусмотрены два комплекса показателей по нормам контакта — пятно контакта и погрешности взаимного расположения осей в корпусе редуктора, положения элементов передачи вдоль своих осей, а также профилей витка и зуба. При соответствии пятна контакта глобоидной пары или передачи требованиям стандарта контроль других показателей, определяющих контакт зубьев колеса глобоидной передачи и витков глобоидного червяка, не является обязательным.

Измерение отклонения межосевого расстояния f_{ar} и отклонения межосевого угла $f_{\Sigma r}$ глобоидной передачи относится к корпусу редуктора и производится с помощью измерительных устройств, применяемых для таких измерений.

Контроль смещения средней плоскости червяка в глобоидной передаче f_{x1r} и смещения средней плоскости колеса в глобоидной передаче f_{x2r} выполняется с помощью специальных шаблонов, используемых обычно как при монтаже, так и при нарезании витков и зубьев на станке. Для снижения потерь в подшипниковых опорах, вызванных температурными деформациями валов или чрезмерной затяжкой подшипников, в глобоидных редукторах часто предусмотрено свободное осевое перемещение подшипников (осевая игра). ГОСТ 16502—83 допускает при наличии предусмотренного свободного осевого перемещения (осевой игры) подшипников увеличивать предельные смещения средней плоскости червяка в глобоидной передаче f_{x1r} на 40 % и предельные смещения средней плоскости колеса в глобоидной передаче f_{x2r} на 60 %.

Погрешность профиля витка глобоидного червяка f_{f1r} и погрешность профиля зуба колеса глобоидной передачи f_{f2r} стандарт допускает определять путем измерения рабочей части инструмента, т. е. профилирующей режущей кромки резца. Для червяков такая замена допускается при любой конструкции инструмента, а для зубьев колес — в случае обработки огибающей зоны одним резцом, т. е. фрезой-летучкой. Таким образом, учитывается специфика профилирования боковых поверхностей витков глобоидного червяка и зубьев колеса передачи, когда рабочая поверхность профилируется как след одной образующей без обката. Соответственно погрешность режущей кромки при этом переходит в погрешность профиля витка или зуба. Измерение отклонений от прямолинейности режущей кромки производят универсальными средствами.

Измерение параметров по нормам бокового зазора. К нормам бокового зазора в глобоидной передаче предъявляются те же требования, что и к нормам бокового зазора в червячной цилиндрической передаче с нерегулируемым расположением осей.

Измерение нормируемых параметров производится, как в червячных цилиндрических передачах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адамонис И. Ю., Гульбинас А. С., Федотов Б. Ф. Определение возможности использования упрощенного режущего инструмента для нарезания мелко модульных глобоидных червячных колес./Станкостроение Литвы, 1971, Сб. III. С. 113—124.
2. Адамонис И. Ю., Зараускас В. Ю. Технология производства прецизионных глобоидных передач, применяемых в круговых делительных машинах/Станкостроение Литвы, 1973, Сб. VI. С. 109—120.
3. **Зубчатые передачи:** Справочник/Е. Г. Гинзбург, Н. Ф. Голованов, Н. Б. Фирун и др.; Под общей ред. Е. Г. Гинзбурга. Л.: Машиностроение, 1980. 415 с.
4. **Исследования червячных передач и редукторов.** Труды института ВНИИПТУГЛЕ МАШ/П. С. Зак, Б. Ф. Федоров, Д. Э. Голлер и др. Выпуск 8. М.: Недра, 1965, с. 244.
5. Левитан Ю. В., Обморнов В. П., Васильев В. И. Червячные редукторы: Справочник. Л.: Машиностроение, 1985. С. 168.
6. Острецов Г. В., Пичхадзе Щ. И., Филиппов Е. К. Повышение эффективности изготовления высокоточных червячных делительных пар./Станки и инструмент, 1979, № 3. С. 16—18.
7. Писаревский Н. И. Накатывание точных резьб, шлицев и зубьев. Л.: Машиностроение, 1973. 196 с.

РАЗДЕЛ V

Автоматизация производства и термическая обработка зубчатых колес

Глава 19

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

19.1. Автоматизация зубообрабатывающих станков

Автоматизация является одним из наиболее эффективных средств повышения производительности, качества, высвобождения рабочих, занятых ручным трудом и т. д. Опыт работы станков-автоматов и автоматических линий показывает, что автоматизация загрузки и выгрузки станков приводит к повышению производительности на 20—30 %. Это объясняется прежде всего уменьшением вспомогательного времени при автоматической загрузке и выгрузке, исключением задержки между отдельными операциями и возможностью работать во время перерывов и т. д.

Зубофрезерные автоматы. Зубофрезерование является самой распространенной и наиболее трудоемкой операцией при изготовлении зубчатых колес. Повышения производительности и качества при зубофрезеровании цилиндрических зубчатых колес достигают применением автоматизированных, высокоточных и мощных зубофрезерных станков, эффективных червячных фрез и рациональных методов нарезания зубьев. Зубофрезерные станки должны иметь высокую статическую и динамическую жесткость, большую массу, короткую кинематическую цепь, обильное охлаждение и т. д.

Наиболее эффективными являются длинные (до 200 мм) сборные червячные фрезы с поворотными вставными рейками и многозаходные червячные фрезы. Двухпроходное зубофрезерование за один установ заготовки удобно для автоматизации, обеспечивает наибольшие производительность и точность при обработке зубчатых колес с модулем свыше 4 мм.

Зубофрезерные автоматы оснащены магазинами-накопителями 5 (рис. 19.1) типа круглого стола прямоугольной и пятиугольной формы, расположенными вокруг неподвижной задней колонны 2 станка. Такое расположение магазина надежно, удобно для обслуживания, и автомат занимает мало места. Подвод и отвод инструмента 4 к заготовке осуществляется с помощью передней бабки 3 станка. Пакет заготовок или одну заготовку устанавливают в держатели магазина, которые проходят непосредственно через зону обработки. Шаговое вращение магазина 5 осуществляется от электродвигателя 1. Конечный выключатель 6 предотвращает попадание зубчатых колес с нарезанными зубьями в ту часть магазина, которая предназначена для заготовок с ненарезанными зубьями. Вместимость таких магазинов рассчитана на 1—2 ч непрерывной работы станка. Специальные держатели заготовок можно за короткое время перенастраивать на различ-

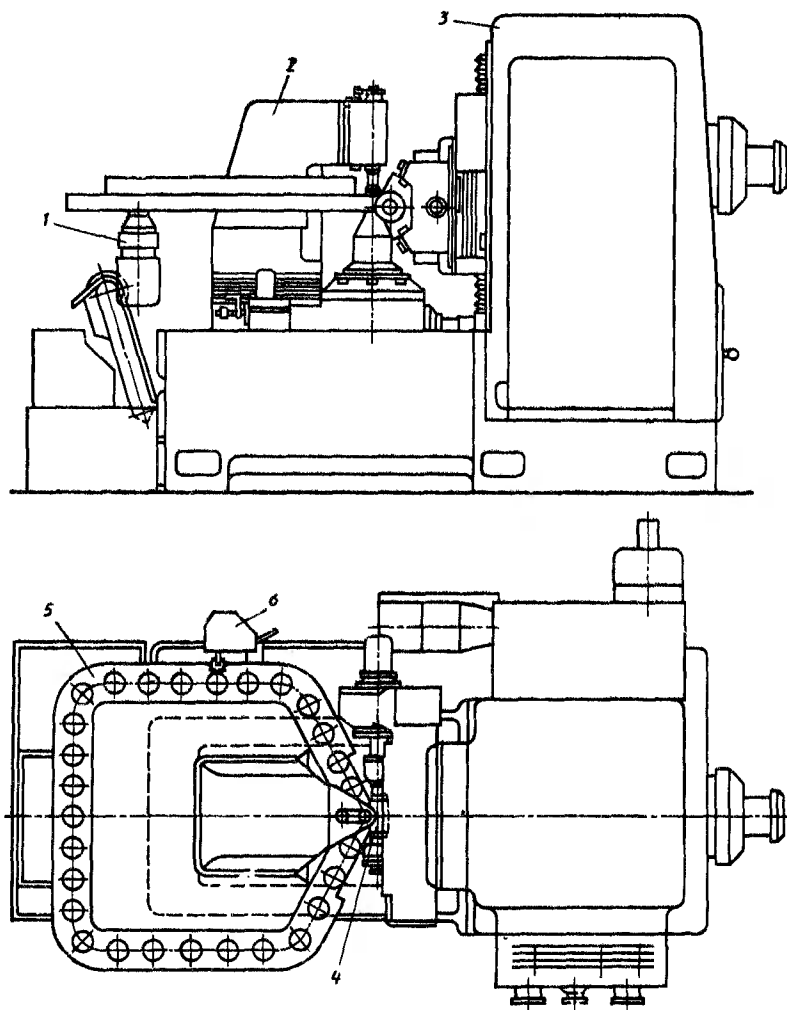


Рис. 19.1. Зубофрезерный автомат

ные диаметры зубчатых колес, что позволяет использовать автоматы в серийном производстве.

Магазины другого типа вместимостью на 8 ч непрерывной работы нашли применение при работе в вечернюю и ночную смены. В конце смены рабочий заполняет магазин заготовками и уходит. Блокирующие устройства выключают станок в случае нарушения его нормальной работы.

Зубодолбежные автоматы новой конструкции проходного типа легко автоматизируются, имеют высокую производительность, высокую частоту движения инструмента (2000 дв. ход/мин), повышенную жесткость и точность — шпиндель инструмента перемещается в гидростатических подшипниках. В целях снижения сил инерции до минимума при работе на высоких режимах резания инструмент от за-

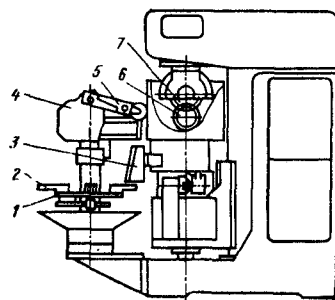
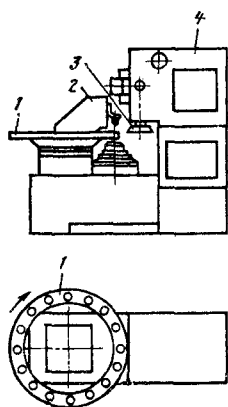


Рис. 19.3. Зубошевинговальный автомат

Рис. 19.2. Зубодолбежный автомат

готовки отводится с помощью специального кулачка. Вращение стола станка с заготовкой и инструмента контролируется счетчиком и датчиком импульсов. Команда на отвод стола после чистового рабочего хода дается с высокой точностью счетчиком, благодаря чему практически исключается возможность уменьшения толщины зуба колеса в конце цикла обработки. Режимы резания при черновом и чистовом нарезании зубьев автоматически изменяются.

Зубодолбежные автоматы обычно оснащают магазинами-накопителями дискового типа. На рис. 19.2 показан магазин 1 выполненный в виде диска и закрепленный в левой колонне 2 станка. Заготовки 5 устанавливают в гнезде (держателе) диска 6. Они проходят непосредственно через зону обработки путем шагового перемещения стола с магазином. После нарезания зубьев заготовка разжимается и магазин поворачивается на один шаг. Долбляк 3 закреплен в правой неподвижной колонне 4 станка.

Диски 6 магазина-накопителя изготавливают сменными в зависимости от размера обрабатываемого колеса. Замена диска осуществляется за короткое время. Другим вариантом этого загрузочного устройства является использование диска со сменными держателями для заготовок различных размеров. Наиболее универсальными для серийного производства являются магазины с регулируемыми губками-держателями.

Зубошевинговальные автоматы 5072 и их модификации предназначены для чистовой обработки зубьев цилиндрических колес-дисков и колес-валов различными методами с параллельным, диагональным и тангенциальным движениями подачи. Станок имеет повышенную жесткость, надежен в работе, обеспечивает высокую стабильную точность обработки зубчатых колес. Автомат (рис. 19.3) оснащен автоматическим загрузочно-разгрузочным устройством, которое состоит из магазина 1 дискового типа с гнездами 2 для установки заготовок и манипулятора 4. Поворотный манипулятор предназначен для загрузки заготовки в зону обработки и выгрузки зубчатого колеса в магазин.

Заготовка подается из гнезда магазина с помощью подъемника 3 в схват 5 манипулятора, который подает ее в зону обработки 6 и вводит в зацепление с шеве-ром 7. Заготовка закрепляется в бабках станка — манипулятор уходит из зоны. По окончании цикла зубошевингования манипулятор входит в зону обработки, забирает обработанную заготовку зубчатого колеса и укладывает ее в подъемник 3, последний опускает колесо в держатель, из которого оно было выдано.

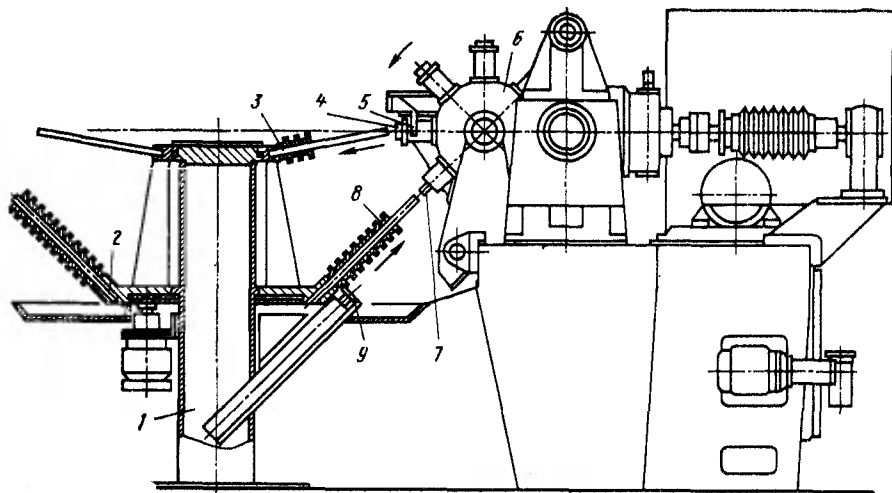


Рис. 19.4. Схема автомата для холодной прикатки зубьев

Если заготовка зубчатого колеса не войдет в зацепление с шевером, манипулятор автоматически будет подаваться вперед и назад до тех пор, пока не будет достигнуто правильное зацепление колеса с шевером.

Автоматы для холодной прикатки зубьев применяются на ЗИЛе взамен шевингования при обработке цилиндрического зубчатого колеса с параметрами: $z = 30$; $m_n = 2,54$ мм; $\beta = 39^\circ 31'$; $\alpha = 14^\circ 30'$, материал — сталь 35, твердость НВ 207—241. Производительность таких автоматов по сравнению с производительностью зубошевиговальных автоматов выше в 4—5 раз. Время прикатки зубчатого колеса 14 с. Параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,32 \dots 0,16$ мкм, уровень шума снизился на 2—3 дБ. Стабильность межосевого расстояния достаточно высокая. Стойкость накатников составляет 250—274 тыс. заготовок. Следует отметить, что перед холодной прикаткой точность обработки зубчатых колес должна быть выше, а припуск на сторону зуба меньше, чем перед шевингованием, примерно наполовину. Повышение точности в процессе зубофрезерования, а следовательно, уменьшение припуска было достигнуто применением разжимных оправок для беззазорного центрирования заготовки взамен жестких оправок.

На рис. 19.4 показана схема для прикатки зубьев автомата фирмы «Лорнец» (ФРГ) с двумя накатниками, расположенными в горизонтальной плоскости. Наибольший диаметр заготовки обрабатываемого колеса 125 мм, накатников 220 мм, модуль — до 5 мм. Накатники вращаются синхронно с частотой 80 мин^{-1} от одного электродвигателя мощностью 12 кВт.

Штыревой магазин-накопитель 1, имеющий два яруса, рассчитан на 150 заготовок (каждый ярус). На верхнем ярусе с 15 штырями 3 установлены прикатные зубчатые колеса, а на штырях 2 нижнего яруса — зубчатые колеса после зубофрезерования перед прикаткой. Между магазином и зоной обработки с накатниками находится восьмипозиционная поворотная револьверная головка 6. Толкатель 9 подает заготовки 8 на свободную позицию 7 револьверной головки, а толкатель 5 снимает обработанные заготовки 4 и устанавливает их на штыри 3 верхнего яруса. Револьверная головка 6, вращаясь, поочередно устанавливает заготовки в зону обработки между двумя синхронно вращающимися накатниками.

Заготовка до зацепления с накатником вращается от специального пневмомотора с частотой, которая незначительно отличается от частоты вращения накатников. Благодаря этому обеспечивается свободное зацепление зубьев заготовки с накатником.

Подвижная бабка, перемещаясь, вводит вращающийся накатник в зацепление с вращающейся заготовкой, а затем вместе с ней продолжает перемещаться к накатнику, закрепленному в неподвижной бабке. При достижении беззазорного зацепления накатников с заготовкой начинается прикатка зубьев заготовки с определенной силой. Расстояние между осями накатников постоянно уменьшается до получения требуемого размера зубьев. Конечное положение ограничивается жестким упором.

Зуборезные автоматы предназначены главным образом для нарезания прямозубых конических колес дифференциала автомобиля, трактора и других сельскохозяйственных машин в массовом производстве. Станки выпускают одно- и двухшпиндельными на одной базе. Если необходима высокая производительность, то с помощью каждого шпинделя двухшпиндельного автомата зубчатое колесо обрабатывается окончательно. Когда требуется более высокое качество, нарезание

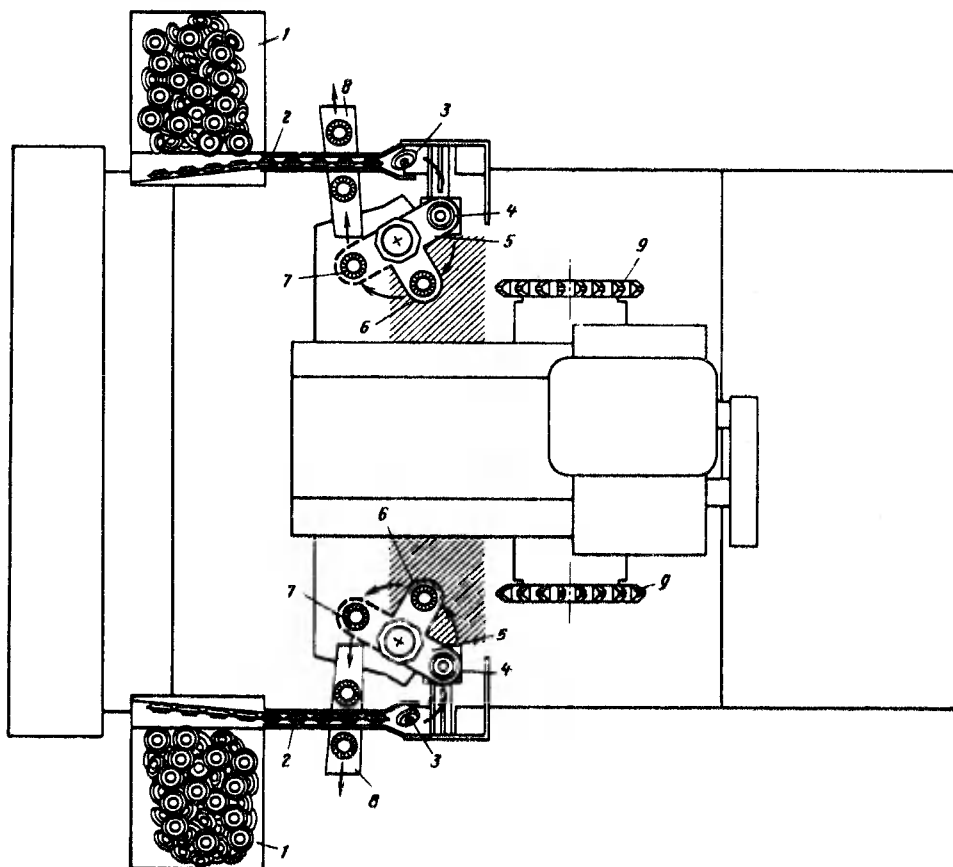


Рис. 19.5. Зуборезный автомат

зубьев выполняют за две операции: с помощью одного шпинделя — черновое, а с помощью второго — чистовое зубонарезание. У станков этой серии ось заготовки колеса расположена вертикально, силы резания направлены в массивную станину, благодаря чему повышается жесткость и уменьшаются вибрации в процессе резания.

На рис. 19.5 показана схема двухшпиндельного автомата фирмы «Глисон» для нарезания конических колес с прямыми зубьями методом кругового протягивания. Шпиндели станка-автомата при работе не влияют друг на друга.

Заготовки загружают в магазин 1 бункерного типа. Из магазина заготовки по лотку 2 через зону ориентирования 3 поступают в загрузочную позицию 4. Манипулятор 5 с двумя схватами опускается вниз, один схват снимает обработанное колесо из зажимного приспособления 6, другой — берет заготовку с загрузочной позиции 4. Затем манипулятор поднимается в верхнее положение, поворачивается, меняет заготовки местами и опускается вниз. В нижнем положении манипулятор устанавливает заготовку в зажимное приспособление 6 для нарезания зубьев, а обработанное колесо — в положение 7, откуда оно передается на отводящий лоток 8. После загрузки манипулятор 5 поднимается вверх, поворачивается на угол в первоначальное положение и находится там до окончания цикла обработки колеса.

Комбинированная резцовая головка-протяжка 9 за один оборот окончательно обрабатывает впадину зуба колеса в целой заготовке, время обработки одного зуба 2—5 с. Производительность зубопротяжного автомата по сравнению с производительностью станков с ручной загрузкой выше на 30—45 %.

19.2. Автоматические линии

Механизация и автоматизация технологических процессов механической обработки зубчатых колес предусматривает ликвидацию или максимальное сокращение ручного труда, связанного с транспортированием, загрузкой, выгрузкой и обработкой на всех этапах производства, включая контрольные операции. Более высокий уровень автоматизации характерен для автоматических или комплексных автоматических линий.

Автоматические станочные линии состоят из нескольких автоматизированных токарных (рис. 19.10), зубообрабатывающих станков (см. рис. 19.11, а) серийного выпуска, соединенных в линию автоматическими конвейерами, манипуляторами, переключателями, специальными зажимными приспособлениями и т. д. В линии соединяют обычно станки для выполнения однотипных операций технологического процесса, например токарные станки (см. рис. 19.10) для обработки заготовки по контуру, включая базовые поверхности, применяемые при зубообработке и контроле, а также зубофрезерные, зубодолбежные и зубошвинговальные станки (см. рис. 19.11, а) для выполнения зуборезных операций.

В комплексных автоматических линиях (см. рис. 19.12) осуществляется механическая и термическая обработка, мойка, контроль с последующей сортировкой деталей на группы точности, исправимый и неисправимый брак. Комплексные автоматические линии разделены на участки, между которыми установлены магазины-накопители заготовок, на этих участках реализуются различные стадии обработки, что обеспечивает линиям большую гибкость. Возможен дополнительный ввод или замена станков, переналадка на изготовление других деталей в любое время с минимальными затратами. Автоматические линии новой конструкции характеризуются значительно большим применением контрольно-измеритель-

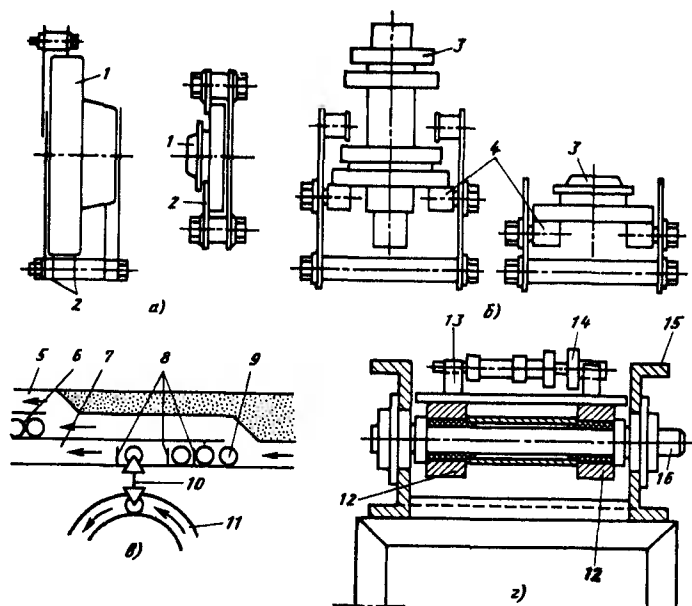


Рис. 19.6. Средства транспортирования зубчатых колес:

а — качением; б — скольжением; в — ленточным конвейером; г — рольганговым конвейером

ных средств. Контроль осуществляется на протяжении всего технологического цикла, начиная с контроля базовых поверхностей заготовки и кончая финишными операциями. Измерительные средства соединены между собой и управляются от ЭВМ. Самым последним достижением в автоматизации являются гибкие производственные системы (ГПС).

Механизмы, применяемые в автоматических линиях. При соединении производственного оборудования в линии для транспортирования, распределения, накопления заготовок и деталей применяют различные системы: гравитационный транспорт, ленточные конвейеры, приводные фрикционные ролики, магазины-накопители, отсекатели и др. Заготовки зубчатых колес в процессе изготовления более склонны, чем другие заготовки, к образованию забоин и других повреждений. Это необходимо учитывать при выборе транспортных систем.

В гравитационном транспорте заготовки перемещаются по наклонному желобу (лотку) под действием силы тяжести. Имеются две конструктивные разновидности желобов — качения и скольжения. Заготовки типа диска 1 с симметричной осью вращения перекатываются по ребрам полос 2 внутри наклонного желоба (рис. 19.6, а). Заготовки типа вала и диска 3 скользят по вращающимся подшипникам качения 4 в наклонном желобе (рис. 19.6, б). Преимущества гравитационного транспорта — простота конструкции, отсутствие привода, гибкость системы в условиях производственных цехов и др. Недостатки — необходимость применения подъемников для создания возможности перемещения деталей по наклонным желобам, громоздкость вследствие больших радиусов закругления.

Для транспортирования зубчатых колес с нарезанными зубьями широко применяют ленточные конвейеры. Лента непрерывно движется, обрабатываемые за-

готовки накапливаются перед станком. Преимущество этой транспортной системы — простота конструкции, принудительное транспортирование заготовок, возможность легкой переналадки на обработку заготовок другой формы, создание одного, двух и более потоков. Показанная на рис. 19.6, в транспортная система имеет три канала 5, 6 и 7 для обслуживания трех зубообрабатывающих станков. Заготовки 9 из накопителя поступают на ленточный конвейер по каналу 7 к первому станку 11, по каналу 6 — ко второму станку, а по каналу 5 — к третьему станку. Перед каждым станком заготовки задерживаются собачкой для накопления, затем по вызову они подаются в загрузочное устройство. Передача заготовок с конвейера в загрузочное устройство осуществляется перегружателем 10. Отсекатели 8 ритмично выдают заготовки из конвейера в загрузочное устройство станков.

Для заготовок массой более 10 кг типа валов и другой формы целесообразно применять рольганговые конвейеры с приводными фрикционными роликами (рис. 19.6, г). Заготовки 14 транспортируются, если допускает их геометрическая форма, на спутнике 13 или непосредственно на роликах 12, установленных на приводном валу 16 в жесткой раме 15. Под действием силы тяжести спутника с заготовкой ролики 12 образуют фрикционное соединение с приводным валом 16, благодаря чему крутящий момент приводного вала передается фрикционным роликам. Благодаря применению в этой системе фрикционных роликов заготовку можно остановить в любой желаемой точке конвейера и создать таким образом участки накопления.

Транспортная система с приводными фрикционными роликами и гравитационный транспорт успешно используются в качестве межоперационного транспорта при изготовлении зубчатых колес коробки перемены передач автомобиля на Камском автозаводе (КАМАЗ).

Необходимые элементы гравитационной транспортной системы: подъемники (рис. 19.7, а) и магазины-накопители (рис. 19.7, б). Заготовки поступают в элеваторный подъемник по лотку 1, затем поднимаются на требуемую высоту с помощью циркуляционной цепи, расположенной внутри колонны 3. Выходят заготовки из подъемника по лотку 2 и катятся под действием силы тяжести. В большинстве случаев из подъемника заготовки поступают в башенные спиральные магазины-накопители (рис. 19.7, б), позволяющие на малой площади накапливать большое число заготовок и создавать наклон для дальнейшего перемещения. Заготовки поступают в верхнюю часть магазина-накопителя. Внутри накопителя они катятся по винтовой линии под действием силы тяжести, выходят по лотку 4 и передаются на параллельно работающие станки. Участки накопления и башенные накопители обеспечивают заделы и регулируют выпуск продукции на производстве.

Распределение заготовок на металлообрабатывающие станки осуществляется собирательными конвейерами, стрелками, отсекателями, кантователями и другими устройствами, встроенными в системы грузопотока. Внутри линии грузопоток контролируется электрическими конечными выключателями, установленными на желобах.

Когда необходимо передавать только по одной заготовке с конвейера в загрузочное устройство станка с определенным ритмом, применяют отсекатели (рис. 19.8, а). Заготовки 4 на лотке 5 (конвейера) задерживаются собачкой 3. С помощью электромагнита 2 собачка 3 поднимается и первая заготовка свободно транспортируется, вторая заготовка, следующая за первой, удерживается противоположной стороной собачки. При следующем рабочем цикле транспортируется

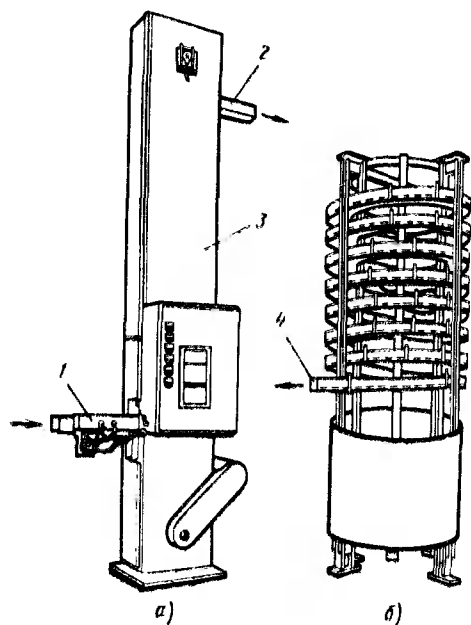


Рис. 19.7. Гравитационные транспортные средства:
а — подъемник; б — магазин-накопитель

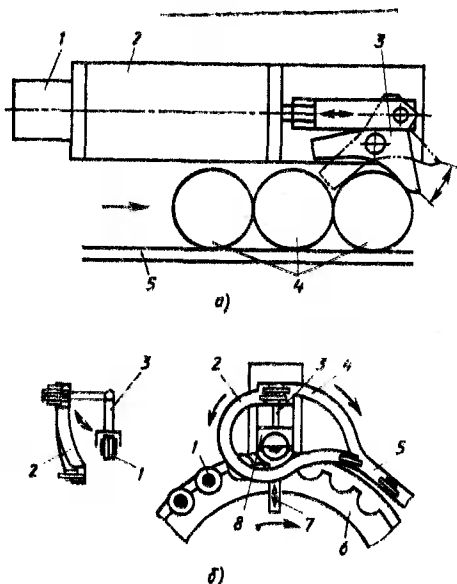
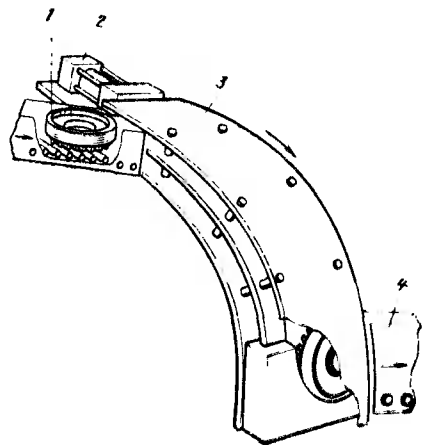


Рис. 19.8. Транспортные средства:
а — отсекатель потока заготовок; б — петля для
разделения пакета заготовок

вторая заготовка. Демпфер 1 смягчает удары электромагнита при реверсировании в крайних положениях.

На рис. 19.8, б показана схема петли для разделения пакета заготовок зубчатых колес с последующим их ориентированием. Пакет заготовок зубчатых колес 1 из магазина дискового типа б с помощью салазок 7 подается в карман 8 поворотного рычага 3, последний направляет пакет в петлю для разделения на два направления. Верхняя заготовка катится по короткой петле 4, а нижняя откатывается в противоположную сторону по длинной петле 2 и делает поворот на 180° . Таким образом, заготовки, соединенные в пакет, разделяются и переориентируются в одинаковое положение на лотке 5.



На рис. 19.9 показан кантователь — устройство в автоматической линии, предназначенное для поворота зубчатого колеса-диска на 90° , возможен также поворот заготовки на 180° . Заготовка зубчатого колеса 1, скользящая по роликам желоба, толкателем 2 направляется в поворотный желоб 3. При переходе в другой желоб 4 заготов-

Рис. 19.9. Кантователь для поворота заготовки на 90°

ка зубчатого колеса поворачивается на 90° . В желобе 4 заготовка вместо скольжения катится по шинам.

Автоматическая линия для изготовления заготовок. Производство зубчатых колес должно начинаться с получения точно изготовленной заготовки. Неточно изготовленная заготовка является первым источником образования большинства погрешностей в зубчатом зацеплении, которые при последующей обработке не могут быть исправлены. Поэтому при разработке нового технологического процесса особое внимание необходимо уделять точности обработки базовых поверхностей, применяемых при зубообработке и контроле. Для изготовления точных зубчатых колес иногда вводят дополнительные доводочные операции обработки посадочных поверхностей отверстий, шеек и торцов. На рис. 19.10, а приведена рекомендуемая точность базовых поверхностей заготовок цилиндрических зубчатых колес автомобильного типа перед зубообработкой.

Автоматическая линия (рис. 19.10, б) для изготовления колеса-диска состоит из четырех последовательно установленных автоматов. На первых двух многошпиндельных горизонтальных автоматах 3 и 4 сначала с одной, затем с противоположной стороны обрабатывают заготовку по всему контуру. Отверстие обрабатывается в окончательный размер. На двух последующих специальных одношпиндельных токарных автоматах 5, 6 с базированием по отверстию, преимущественно на оправке с безазорным центрированием, изготавливают оба базовых торца зубчатого венца одновременно. При таком методе обработки гарантируется малое отклонение от параллельности торцов, что имеет важное значение при обработке заготовок зубчатых колес пакетом.

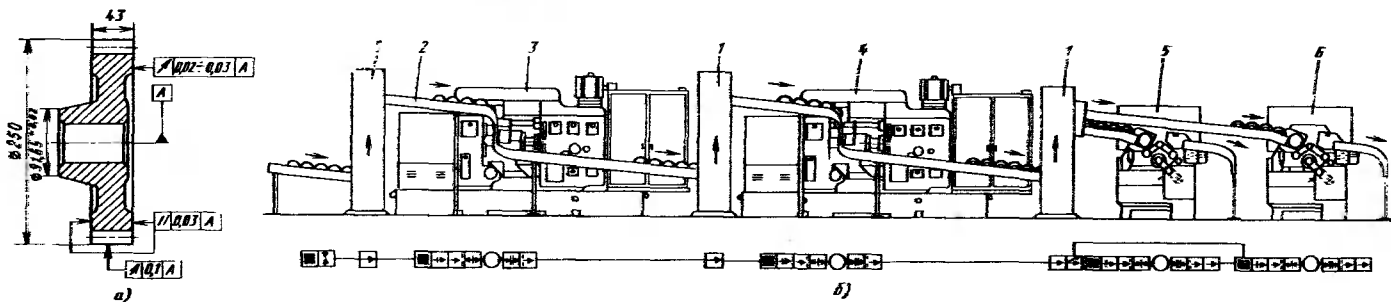


Рис. 19.10. Схема автоматической линии для изготовления заготовок зубчатых колес типа диска

Заготовки из подъемников 1 перекачиваются к станкам по наклонным желобам 2 под действием силы тяжести (гравитационный транспорт). Перед каждым многошпиндельным автоматом установлен подъемник. В одношпиндельные автоматы заготовки подаются из одного подъемника по двум потокам.

В последнее время для изготовления заготовок колес-дисков получили распространение двухшпиндельные токарные автоматы горизонтальной и вертикальной компоновки высокой точности. На одном шпинделе обрабатывается одна сторона заготовки и отверстие, на другом шпинделе — противо-

положная сторона заготовки. Преимуществом обработки на токарном двухшпиндельном автомате является то, что заготовка выходит со станка окончательно обработанная с двух сторон. Загрузка и разгрузка осуществляются с помощью манипулятора с тремя схватами или загрузчиком портального типа. Между шпинделями станка установлено поворотное устройство, которое при передаче заготовки из одного шпинделя в другой поворачивает заготовку на 180° .

Заготовки колес-валов обрабатывают также в автоматических линиях, где обычно фрезерование и центрирование торцов производят одновременно на одном станке специальной инструментальной головкой. Базовые шейки и опорный торец перед зубообработкой обрабатывают либо тонким точением, либо на многокрупных шлифовальных станках.

Для обеспечения высокого качества изготовления колес на автоматических линиях и станках-автоматах важно применение устройств автоматического измерения базовых размеров заготовки без вмешательства оператора. Измерение заготовок производят на самом станке или вне станка в измерительном приборе на отдельной позиции.

Автоматические линии для изготовления цилиндрических зубчатых колес. Схема автоматической линии для изготовления двухвенцового цилиндрического колеса автомобильного типа приведена на рис. 19.11, а. Линия состоит из зубофрезерного 4 и зубодолбежного 1 станков. Станки соединены между собой лотком 6 и разделительной петлей 5. Заготовки 3 пакетов по две штуки загружаются в магазин дискового типа зубофрезерного станка 4. Пакет обработанных заготовок зубчатых колес поступает в петлю 5, где они разделяются и направляются по лотку 6 в зону обработки 7 зубодолбежного станка, при этом они одинаково ориентированы в пространстве. Зубчатые колеса, обработанные на зубодолбежном станке, по лотку перемещаются на штырь 2.

Схема комплексной автоматической линии фирмы «Лоренц» (ФРГ) для изготовления двухвенцового цилиндрического колеса приведена на рис. 19.11, б. В этой линии рационально использованы две транспортные системы. При обработке заготовок до зубообработки используется гравитационный транспорт; заготовки катятся под действием силы тяжести, а заготовки с зубьями перемещаются ленточным конвейером. Все зубодолбежные станки для обработки зубьев соединены ленточным конвейером T непрерывного действия.

Из бункера 1 заготовки поступают на токарный станок 2 для обработки заготовки по всему контуру. С помощью прибора 3 производится контроль точности базовых поверхностей заготовки перед зубообработкой. По элеваторному подъемнику 4 заготовки поднимаются для передачи в магазин-накопитель 5 башенного типа. Из накопителя 5 через маркировочное устройство 6 заготовки направляются на трехленточный конвейер T , который распределяет заготовки к зубодолбежным станкам 7 и 9 по запросу. На зубодолбежном станке 7 обрабатываются прямые зубья малого венца под муфту (рис. 19.11, в).

На всех зубодолбежных станках линии установлены приспособления для снятия заусенцев и масляная центрифуга для удаления стружки. На позиции 8 (см. рис. 19.11, б) заготовки поворачиваются на 180° для обработки зубчатого венца с косыми зубьями (рис. 19.11, г) на зубодолбежных станках 9 (см. рис. 19.11, б). Передача заготовок с конвейера в подающее устройство зубодолбежных станков осуществляется перегружателем. Перемещение заготовок поштучно с транспортной ленты к перегружателю осуществляется отсекателем. Зубчатые колеса с нарезанными зубьями из конвейера T поступают в подъемник 10, затем в магазин-накопитель 11, а далее по лотку 12—на другие станки для дальнейшей обработки.

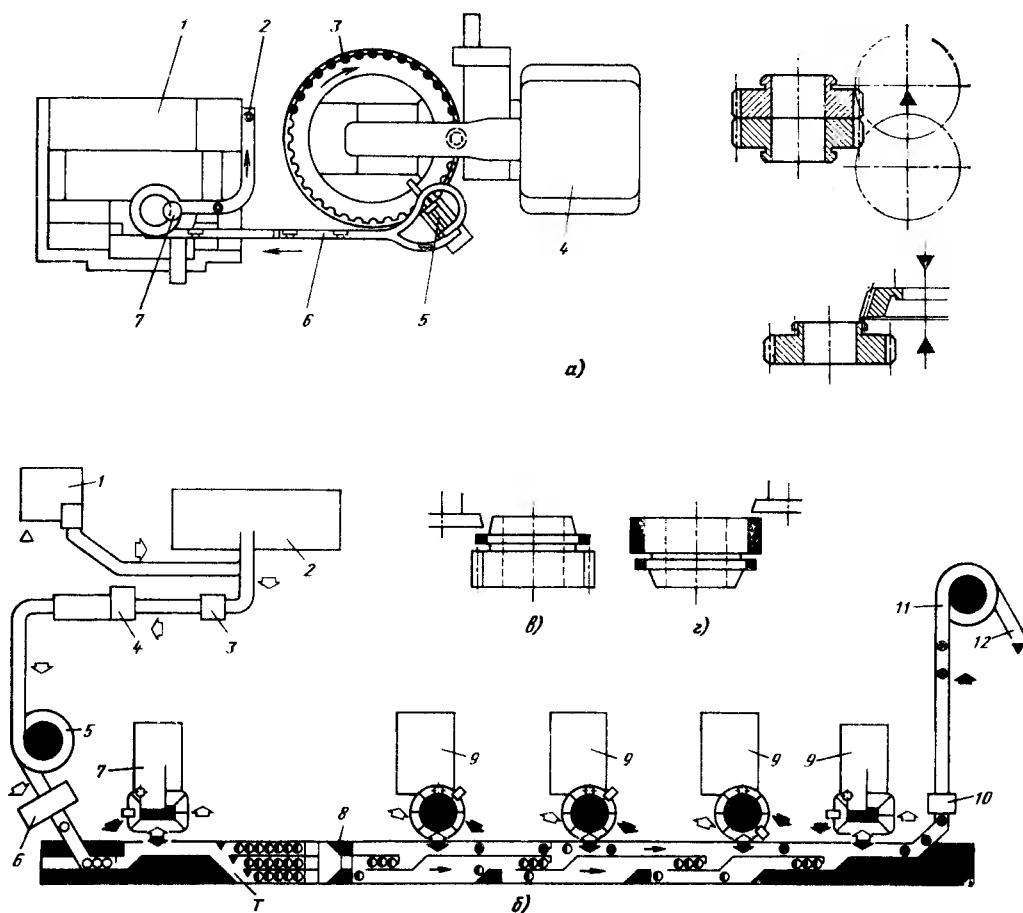


Рис. 19.11. Схема автоматической линии для изготовления цилиндрических зубчатых колес

На рис. 19.12 приведена схема комплексной автоматической линии для изготовления цилиндрической шестерни планетарного ряда коробки перемены передач легкового автомобиля. Производительность линии 680 шт/ч при 80%-ной загрузке. Заготовки из накопителя 21 по гравитационному транспорту 20 катятся к токарным автоматам 19 для обработки заготовки. После токарной обработки производят 100%-ный автоматический контроль базовых поверхностей заготовок на приборах 18. Годные заготовки через накопитель 17 направляются к зубофрезерным автоматам 16.

При зубофрезеровании выдерживают жесткие допуски, близкие к допускам при шевинговании, с последующим 100%-ным автоматическим контролем на приборах 15 фирмы «Иллитрон» (США), что гарантирует точность при шевинговании без введения в линию дополнительного контроля. На приборах 15 контролируют припуск под шевингование, колебание межосевого расстояния в двухпрофильном зацеплении и отклонения направления зуба. Фаски с острых кромок зубьев и за-

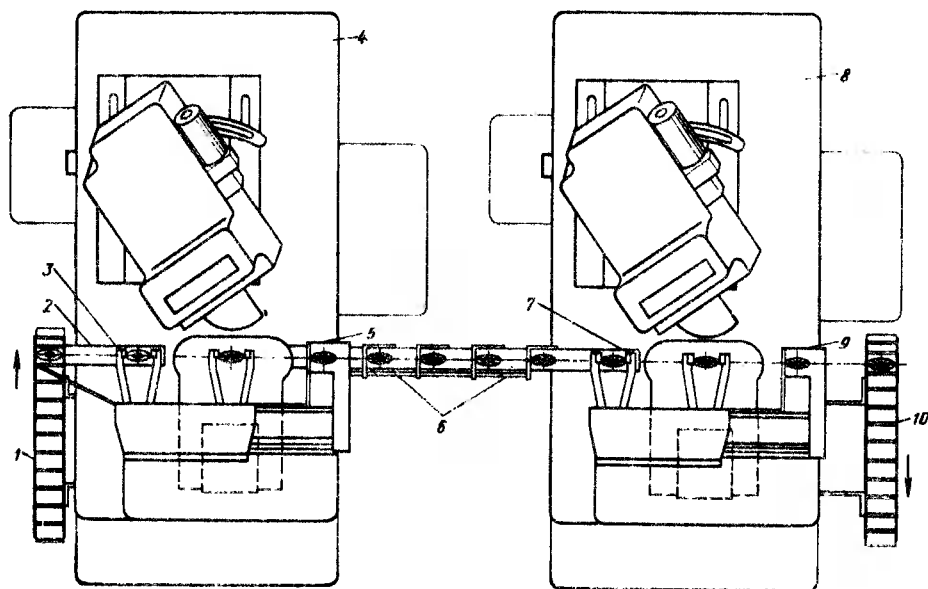


Рис. 19.13. Схема автоматической линии для нарезания круговых зубьев конических колес

Одной из характерных особенностей комплексной автоматической линии фирмы «ЦАНРАДФАБРИК» (ФРГ) является автоматический контроль с электронной системой. Контроль осуществляется на протяжении всего технологического цикла, начиная с контроля базовых поверхностей заготовки и кончая контролем окончательно изготовленного колеса с сортировкой на классы точности. Такая система контроля позволяет значительно повысить качество, стабильность размеров и сократить количество контролеров.

Автоматические линии для нарезания конических зубчатых колес. Для обработки конических колес-дисков с круговыми зубьями автоматические линии обычно komponуются из двух станков: зуборезного станка 4 для чернового нарезания зубьев методом врезания и станка 8 для чистового нарезания зубьев методом копирования (рис. 19.13). Заготовки из накопителя 1 поступают в загрузочную позицию 2, откуда они схватом 3 передаются на рабочую позицию станка 4 для чернового нарезания зубьев. С разгрузочной позиции 5 по конвейеру 6 заготовки поступают в загрузочную позицию 7. Отсюда заготовки передаются схватом в зону чистовой обработки на зуборезный станок 8. С разгрузочной позиции 9 колеса с нарезанными зубьями поступают в разгрузочный магазин 10. Разгрузочное устройство станка для чернового нарезания зубьев оснащено автоматическим прибором деления припуска, оставленного под чистовое нарезание.

В автоматической линии установлены зуборезные станки фирмы «Глисон»: 606 — черновой и 607 — чистовой. При нарезании зубчатого колеса ($z = 37$; $m_{тс} = 5,6$ мм; $b = 31$ мм; сталь 25ХГТ, твердость HB 160–190) режимы резания следующие: время обработки одного зуба 4 с, скорость резания $v_{чер} = 40,5$ м/мин; $v_{чис} = 11,1$ м/мин. Производительность автоматической линии по сравнению с производительностью ручной загрузки повышается на 20 %.

Десять таких линий обслуживает один рабочий, который периодически заполняет накопитель заготовками колес и освобождает магазин от нарезанных колес с нарезанными зубьями.

Фирма «Глисон» создала автоматическую линию 950 для нарезания зубьев гипоидных конических шестерен. Полная обработка зуба на ней, включая снятие фасок, выполняется почти в 4 раза быстрее, чем на обычных станках. Если ранее ведущая коническая шестерня с 12 зубьями и внешним окружным модулем 5,6 мм обрабатывалась на 15 стандартных станках 116 около 5 мин, то эта шестерня на автоматической линии обрабатывается за 1,27 мин при времени обработки одного зуба 5,5 с.

Линия состоит из четырех зуборезных станков: чернового, получистового и двух чистовых, попарно соединенных между собой. Заготовка с конвейера манипулятором с тремя схватами передается на черновой станок, на котором снимается основной металл во впадине зуба (около 60 %) трехсторонней головкой диаметром 7,5" с 28 резцами со скоростью резания $v = 38$ м/мин. Сначала резание происходит методом врезания, затем люльке сообщается обкаточное движение на небольшой угол. Получистовое нарезание зубьев производится методом обкатки двусторонней головкой диаметром 7,5" с 28 резцами при $v = 54$ м/мин. Получистовое нарезание предусмотрено для того, чтобы обеспечить минимальный и равномерный припуск под чистовую обработку, в среднем 0,13 мм на сторону зуба. Впадина зуба имеет переменную ширину. Перед чистовым нарезанием с острых кромок зубьев снимаются фаски.

На одном из чистовых станков обрабатывается вогнутая сторона зуба, на другом — выпуклая его сторона. Чистовое нарезание зубьев производится одно-сторонней резцовой головкой HARDAC II диаметром 7,5" с 16 резцами с $v = 160$ м/мин. Резцы в головке HARDAC II изготовлены из быстрорежущей стали твердостью $HRC_n = 67-70$. Эти резцы допускают обработку с $v \leq 200$ м/мин.

19.3. Гибкие производственные системы

Для современного производства зубчатых колес характерно увеличение выпуска, быстрый и экономичный переход на производство новой продукции. Решение этой проблемы обеспечивается изготовлением зубчатых колес с помощью гибких производственных систем (ГПС), управляемых от ЭВМ.

Гибкие производственные системы (ГОСТ 26228—84) включают в себя роботизированные технологические комплексы, станки-автоматы с ЧПУ, гибкие производственные модули (ГПМ), многоцелевые станки с автоматической загрузкой и автоматической сменой инструмента и другое оборудование. Чтобы ГПС работали эффективно и в течение длительного времени, включая ночные смены, без наблюдения, предусматривают автоматический контроль работы всей системы. ГПС оснащают специальными устройствами контроля срока службы и качества инструмента, диагностирования процесса обработки и состояния инструментов, магазинами заготовок и инструментов большой вместимости и т. д.

По сравнению с затратами на традиционные автоматические линии затраты на гибкие автоматизированные линии выше, и они зависят главным образом от степени их гибкости. Степень гибкости, в свою очередь, зависит от того, насколько различаются обрабатываемые заготовки. При выборе оптимальной степени гибкости необходимо учитывать несколько факторов.

1. Степень гибкости линии следует по возможности точно определять в начале ее проектирования.

2. Не следует предусматривать более высокой степени гибкости, чем требуется для обработки поступающих на линию заготовок.

3. Обрабатываемые заготовки не должны значительно различаться материалом, размерами и формой (колеса-диски, колеса-валы), параметрами зубьев (модуль, число зубьев, угол профиля и угол наклона линии зуба), способом изготовления. Не должна также различаться последовательность технологических операций.

4. С возрастанием числа вариантов обрабатываемых заготовок гибкие линии могут быть не экономичны. Целесообразным критерием использования гибкой

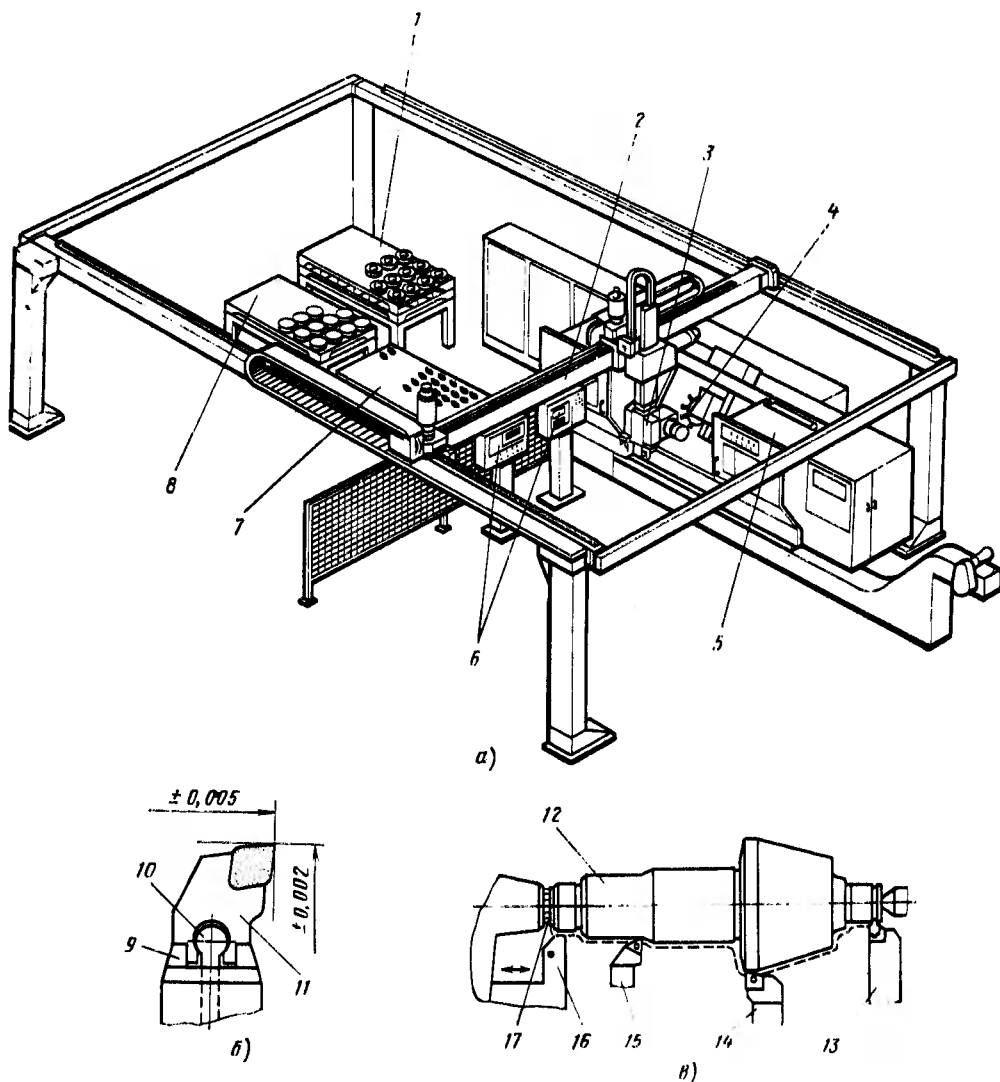


Рис. 19.14. Токарный гибкий производственный модуль:

а — общий вид; б — инструментальная головка; в — заготовка ведущей конической шестерни

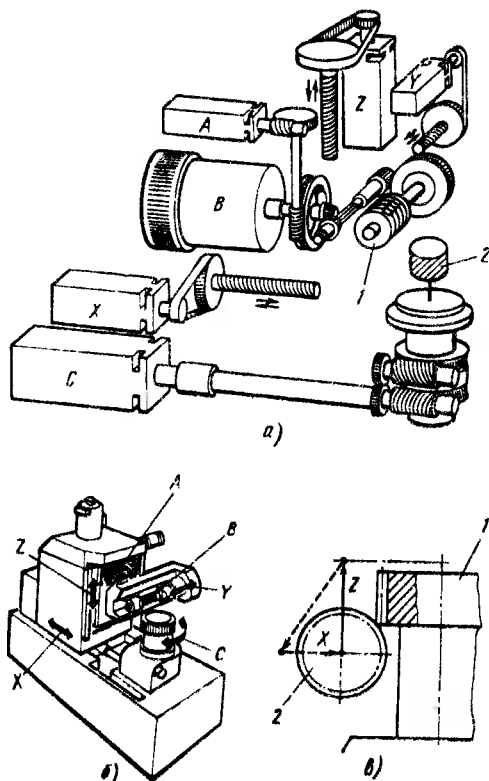


Рис. 19.15. Зубофрезерный станок с ЧПУ:
а — кинематическая схема; б — общий вид; в — схема нарезания зубьев колеса

линии обычно является число вариантов обработки одной и той же заготовки.

5. Следует значительно повысить квалификацию обслуживающего персонала на предприятии, который должен знать как производственный процесс, так и процесс управления (программное обеспечение) системы.

Ниже рассмотрены современные средства автоматизации, применяемые при изготовлении зубчатых колес, включая изготовление заготовок.

Токарный ГПМ фирмы «Питтлер» (ФРГ), показанный на рис. 19.14, а, предназначен для обработки заготовок колес-валов и колес-дисков. Он состоит из токарного станка 5 с ЧПУ, управляемого ЭВМ, загрузочного портала 2 с тремя основными осями координат и системой ЧПУ и двумя вспомогательными осями для управления универсальным схватом, робота 3 с двумя схватами для загрузки и разгрузки, поворотной револьверной головки 4 с двенадцатью инструментами.

В состав ГПМ входят также пульты управления 6, магазины 8 и 1 для хранения соответственно заготовок и готовых деталей, в которых заготовки типа диска укладываются в поддоны в два-три яруса, а заготовка типа вала — горизонтально на деревянные подставки. Магазин 7 инструментов выполнен в форме поддона с гнездами, его вместимость 80—100 инструментальных головок. Большой запас заготовок и инструмента позволяет ГПМ работать в течение длительного времени и в ночную смену без обслуживающего персонала. Инструментальная головка (вставка) 11 (рис. 19.14, б) с режущей пластиной автоматически снимается, устанавливается в державку 9 револьверной головки станка с высокой точностью позиционирования в осевом и радиальном направлениях и закрепляется тягой 10.

При установке в центрах заготовки ведущей конической шестерни 12 (рис. 19.14, в) кулачки 16 зажимного приспособления подтягивают ее влево и острые штыри 17 внедряются в ее торец, обеспечивая вращение во время обработки. Затем кулачки 16 отводятся в исходное положение, а заготовка может полностью обрабатываться за один установ. Черновая обработка производится двумя резцами 15 и 14, а чистовая — двумя-тремя аналогичными резцами и одним прорезным резцом 13 для проточки канавки. Остальные резцы револьверной головки используются как дублиеры и автоматически переключаются в рабочую позицию после изготовления требуемого числа заготовок. Наибольший диаметр заготовки из хромомолибденовой стали 120 мм, длина 280 мм, скорость резания при черновом и чистовом точении соответственно 240 и 300 м/мин, штучное время 1,5 мин.

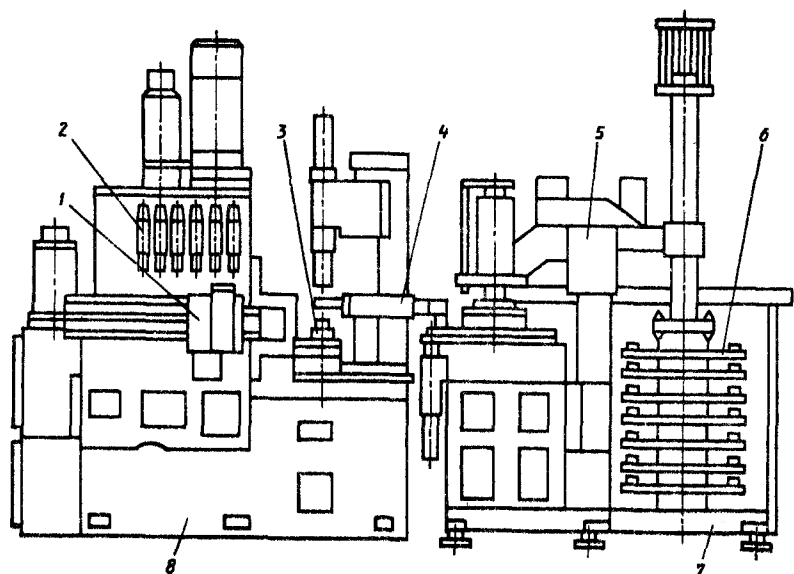
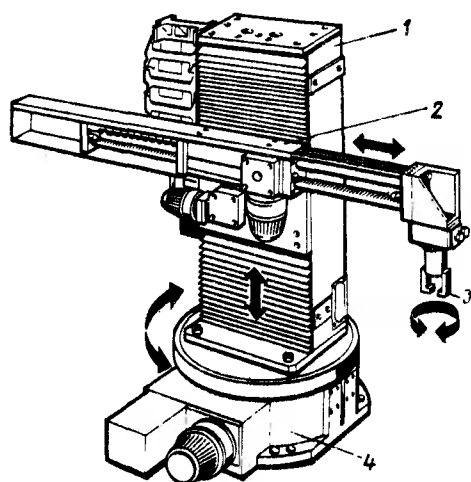


Рис. 19.16. Зубофрезерный модуль МА84Ф4 с ЧПУ

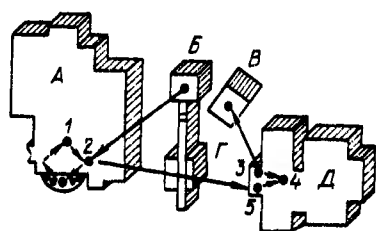
Зубофрезерный станок с ЧПУ. В отличие от стандартных станков у станков с ЧПУ кинематические цепи заменены электронными связями и индивидуальными приводами (рис. 19.15, а), управляемыми ЭВМ. Наладочные параметры станка для нарезания зубчатого колеса (передаточные отношения сменных колес гитар, угол наклона инструмента и т. д.) вводятся в программу с помощью цифрового управления. При наладке зубофрезерного станка с ЧПУ отпадает необходимость в ручной установке сменных колес и упоров, повороте фрезерной головки и т. д. При этом память системы управления станком допускает одновременное хранение нескольких программ для изготовления зубчатых колес с различными параметрами. Таким образом, станки с ЧПУ по сравнению с обычными станками позволяют сократить время на переналадку станка при переходе на изготовление новых партий деталей и в результате замены кинематических цепей электронными связями повысить точность нарезания зубчатого колеса 2 червячной фрезой 1 и долговечность работы станка.

На рис. 19.15, б показан зубофрезерный станок с ЧПУ для обработки широкой номенклатуры зубчатых колес в единичном и серийном производстве (наибольший диаметр заготовки обрабатываемого колеса 150 мм, модуль 3 мм). Станок имеет следующие управляемые от ЭВМ координаты: X , Z — перемещение инструмента в горизонтальной (радиальная подача) и вертикальной (осевая подача) плоскости; Y — перемещение инструмента вдоль своей оси; A — поворот фрезерной головки; B и C — вращение червячной фрезы и стола с обрабатываемой заготовкой. Цикл нарезания колеса 2 червячной фрезой 1 с осевой подачей показан на рис. 19.15, в.

Зубофрезерный ГПМ МА84Ф4 с ЧПУ (рис. 19.16), разработанный ЭНИМСом, предназначен для нарезания зубьев цилиндрических колес диаметром до 150 мм, модулем $m \leq 3$ мм с углом наклона линии зубьев $\beta \leq 30^\circ$ в условиях единичного и мелкосерийного производства. С правой стороны производственного зубофре-



а)



б)

Рис. 19.17. Схема обработки цилиндрических зубчатых колес:

а — промышленный робот; б — производственный участок

зерного станка 8 с ЧПУ установлена колонна, на которой расположены контрподдержка и перегружатель 4 с двумя схватами для переноса и установки заготовок из магазина 6 и оснастки в зону обработки. С передней стороны на станке расположены перегружатель 1 и магазин 2 инструментов (оправки с червячной фрезой), на платформе 7 — колонна с перегружателем 5 магазинов технологической оснастки. Магазины устанавливаются на поворотный стол, после чего заготовка или оснастка переносятся в шпиндель заготовки 3.

ГПМ работает в автоматическом режиме, который определяется несколькими закодированными программами изготовления одной детали или партии деталей, при этом каждая партия имеет свой код.

Промышленные роботы (ПР). В настоящее время ПР находят широкое применение при автоматизации сборочных работ, загрузке и разгрузке металлооб-

рабатывающих станков различных типов и групп магазинов, измерительных приборов, синхронной передаче деталей на конвейеры, укладке деталей в тару и т. д. ПР удобен для выполнения тяжелых и опасных работ, практически не выполнимых для человека операций. Типовая конструкция ПР показана на рис. 19.17, а. ПР состоит из четырех основных узлов: стойки 1 с вертикальными направляющими, каретки 2 с горизонтальными направляющими, поворотной схвата 3 и поворотной станины 4. Схват 3 перемещается по координатам от ЭВМ указанными стрелками.

ПР повышает производительность, экономичен, обеспечивает стабильное качество; он может работать в вечернюю и ночную смены без оператора. В память ПР закладываются различные функции для выполнения сложного цикла работы и т. д.

ГПС фирмы «ЧИМА» (Италия), показанная на рис. 19.17, б, скомпонована из двух станков с ЧПУ и робота Г: зубофрезерного А мод. SE220 (наибольший диаметр обрабатываемого колеса 220 мм, модуль 6 мм) и зубошевинговального Д мод. CS 400 X (наибольший диаметр обрабатываемого колеса 400 мм, модуль 8 мм). По окончании цикла зубофрезерования подающее устройство стола станка А поворачивается на 90° и перемещает заготовку в зону обработки 1, а заготовку с нарезанными зубьями на позицию 2, откуда она роботом Г передается на загрузочную позицию 3 шевинговального станка Д, а далее автоматически передается в зону обработки 4. После шевингования робот передает обработанную заготовку с загрузочной позиции 5 в тару В для готовых деталей. Робот Г пере-

мещается к магазину *Б*, берет заготовку и передает ее на загрузочную позицию 2 зубофрезерного станка *А*, где заготовка находится до тех пор, пока стол не повернется для осуществления начала нового цикла. Все операции транспортирования заготовок на участке осуществляются одновременно с зубонарезанием.

ГПС фирмы «ЧИМА» предназначена для изготовления цилиндрических зубчатых колес широкого диапазона и может непрерывно работать без обслуживающего персонала.

Глава 20

ПРОЦЕССЫ, РЕЖИМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

20.1. Основные процессы термической обработки

Целью термической обработки является получение заданных физико-механических свойств материала зубчатых колес под действием различных температур и скоростей охлаждения, вследствие чего изменяется структура; при химико-термической обработке предварительно изменяется химический состав поверхностного слоя. Общая характеристика процессов термической обработки зубчатых колес приведена в табл. 20.1. Предварительная термическая обработка заготовок (отжиг, нормализация) применяется для получения микроструктуры, обеспечивающей оптимальную обрабатываемость при механической обработке.

После предварительной термической обработки и нарезания зубьев колеса подвергаются упрочнению — закалке с отпуском или химико-термической обработке.

20.1. Общая характеристика процессов термической обработки зубчатых колес

Операция	Назначение	Тепловой режим		Структура после термической обработки
		Температура нагрева	Условия охлаждения	
Отжиг, нормализация				
Отжиг полный с замедленным охлаждением	Улучшение обрабатываемости резанием, повышение пластичности, измельчение зерна, снятие внутренних напряжений в доэвтектоидной стали	На 30—50 °С выше A_{c3}	Охлаждение до 500 °С со скоростью: 200 °С/ч — для углеродистых сталей, 100 °С/ч — для низколегированных сталей	Феррит и перлит

Продолжение табл. 20.1

Операция	Назначение	Тепловой режим		Структура после термической обработки
		Температура нагрева	Условия охлаждения	
Отжиг изотермический	Ускорение отжига легированной стали	При полном отжиге на 30—50 °С выше A_{c3} при неполном — в интервалах A_{c1} — A_{c3} , A_{c1} — A_{cm}	Ускоренное охлаждение до температуры ниже точки A_{c1} на 100 °С, выдержка при этой температуре для полного превращения аустенита в структуру перлитного типа	Феррит и перлит в доэвтектоидной стали, перлит и цементит в заэвтектоидной стали
Нормализация	Улучшение обрабатываемости, измельчение зерна и снятие напряжений в доэвтектоидной стали, ликвидация цементитной сетки в заэвтектоидной стали	На 40—50 °С выше A_{c3} , или A_{cm}	На спокойном воздухе. После нормализации высоколегированных сталей для снижения твердости и обеспечения хорошей обрабатываемости резанием — высокий отпуск при 550—670 °С	Феррит и перлит для доэвтектоидной стали, цементит и перлит для заэвтектоидных сталей

Закалки

Закалка обычная в одном охлаждающем	В сочетании с последующим отпуском обеспечение оптимальных физико-механических свойств стали в соответствии с условиями работы изделий при эксплуатации	На 30—50 °С выше точки A_{c3} для доэвтектоидных сталей или выше точки A_{c1} для заэвтектоидных сталей	Ускоренное охлаждение в воде, в водных растворах или масле для охлаждения аустенита до точки мартенситного превращения	Мартенсит и некоторое количество остаточного аустенита в доэвтектоидных сталях; мартенсит, зернистый цементит и некоторое количество остаточного аустенита в заэвтектоидной стали
Закалка ступенчатая	Уменьшение деформаций и внутренних напряжений в изделиях	То же	Охлаждение в расплавленных солях или масле, нагретых до температуры несколько выше точки M_n с целью выравнивания температуры по сечению изделия, но без распада аустенита. Последующее охлаждение в закалочной среде	В доэвтектоидных сталях — мартенсит и некоторое количество остаточного аустенита, в заэвтектоидных — мартенсит, цементит и некоторое количество остаточного аустенита

Продолжение табл. 20.1

Операции	Назначение	Тепловой режим		Структура после термической обработки
		Температура нагрева	Условия охлаждения	
Отпуск, обработка холодом				
Отпуск низкий	Снижение напряжений, сохранение высоких твердости и износоустойчивости при повышенной вязкости	150—220 °С	Медленное или ускоренное охлаждение	Мартенсит отпуска
Отпуск средний	Снижение напряжений, сохранение повышенной твердости и прочности в сочетании с высокой вязкостью	300—450 °С	Медленное или ускоренное охлаждение	Троостит отпуска
Отпуск высокий	Обеспечение максимальной вязкости при относительно высоких значениях предела прочности и предела текучести	450—670 °С	Медленное охлаждение; для сталей, подверженных охрупчиванию, — ускоренное охлаждение (в масле)	Сорбит отпуска
Обработка холодом	Стабилизация свойств и размеров, повышение твердости и износоустойчивости изделий благодаря превращению остаточного аустенита в мартенсит	Охлаждение до температуры ниже точки M_s	Замедленное охлаждение при погружении изделий в холодильную камеру во избежание возникновения больших внутренних напряжений	Мартенсит

20.2. Предварительная термическая обработка заготовок для улучшения обрабатываемости резанием

Для большинства ответственных зубчатых колес, используемых в машиностроении и подвергаемых химико-термической обработке (цементации, нитроцементации), оптимальная для обеспечения обрабатываемости структура представляет собой крупные зерна пластинчатого перлита (балл 1—3 по ГОСТ 5639—65) с сеткой хорошо дифференцированного феррита. Для получения такой структуры при использовании среднелегированных сталей 20ХГНМ, 19ХГН, 12ХН, 30ХМ и углеродистой стали 45 рекомендуется проводить изотермический отжиг по следующему режиму: нагрев до 950 °С в течение 1,5—2,0 ч; выдержка при 950 °С в течение 1 ч; быстрое охлаждение в течение 10 мин до 620 °С, выдержка при 620 °С в течение 3 ч, охлаждение до 100 °С в течение 45 мин.

Нежелательна мелкозернистая структура с равноосными зернами феррита и перлита. Полосчатая ферритно-перлитная структура недопустима в тех случаях, когда ширина ферритных полос превышает 50 мкм.

20.3. Окончательная термическая обработка зубчатых колес

Для обеспечения высоких показателей твердости и прочности при динамических нагрузках зубчатые колеса подвергают окончательной термической обработке: закалке объемной с последующим отпуском, закалке поверхностной и химико-термической обработке.

Объемная закалка. Основные режимы объемной закалки и отпуска зубчатых колес применительно к конструкционным сталям типовых марок, из которых преимущественно изготавливают колеса, приведены в табл. 20.2.

Объемную закалку колес с твердостью зубьев $HV > 400$ применяют редко, так как при этом наблюдаются разброс значений предела выносливости, низкая ударная вязкость, что снижает надежность работы передачи. Кроме того, при высокой твердости весьма сложно исправлять механической обработкой деформации, возникающие при закалке колес.

Поверхностная закалка. В тех случаях, когда требуется упрочнение различных зон изделий только на поверхности без изменения химического состава слоя, применяют поверхностную закалку. Наиболее распространенными видами такой обработки являются газопламенная закалка и закалка с индукционным нагревом токами высокой частоты (ТВЧ).

Газопламенная закалка проводится при нагреве поверхности пламенем с высокой температурой (около 3100 °C), образующимся при горении чаще всего смеси кислорода и ацетилена при соотношении 1:1,3.

Охлаждение после нагрева выполняется с помощью душа из воды или эмульсии, а также погружением в масло.

Преимуществом газопламенной закалки является простота и универсальность применяемого оборудования, а основной недостаток заключается в трудности регулирования оптимальной температуры нагрева без специальных малоинерционных устройств, обеспечивающих автоматическое регулирование температуры. Применяются устройства для автоматического регулирования температуры нагрева при газопламенной закалке (миллископы), что позволяет более широко использовать данный метод поверхностной термической обработки.

Для газопламенной закалки колес с модулем 2—8 мм рекомендуется установка УГЗ-1-58. Продолжительность нагрева колес с модулем 2—5 мм равна 12 с, колес с модулем 6—8 мм — 15 с, выдержка при нагреве для колес с модулем 2—8 мм составляет 10 с. Закаливаемые колеса вращаются с частотой 87 мин⁻¹.

Для обработки более крупных колес с модулем 10—30 мм используются автоматические установки УЗШ-1 и АЗШ-2. Закалка на установке УЗШ осуществляется непрерывно и последовательно с автоматическим поворотом колес и перемещением горелки посредством пневматического привода. Установка АЗШ-2 снабжена пневматическим управлением для всех операций. На этих установках можно закаливать зубчатые колеса диаметром 200—1500 мм на глубину 1—4 мм с получением поверхностной твердости HRC_3 51—56.

Наиболее совершенным методом поверхностной закалки является закалка с использованием токов высокой частоты (ТВЧ). Детали при этом помещают в индукторе, через который пропускают ток высокой частоты (10^3 — 10^6 Гц), вследствие чего в поверхностных слоях изделия индуцируются вихревые токи, посредством

20.2. Основные режимы объемной закалки и отпуска зубчатых колес

Сталь	Операция обработки	Температура нагрева, °C	Охлаждающая среда	Твердость HB, МПа
40	Закалка	830—850	Вода	—
	Отпуск	300—400	Воздух	3640—4440
	»	400—450	»	3210—4150
	»	510—550	»	2410—2860
	»	540—580	»	2030—2280
	»	580—640	»	1920—2030
	»	640—680	»	1700—1920
50Г2	Закалка	790—810	Масло	—
	Отпуск	400	Воздух	3020—3400
	»	500	Масло	2690—3020
	»	600	»	2170—2410
35ХГСА	Закалка	860—800	Масло	—
	Отпуск	500—550	»	2230—2480
38ХМЮА	Закалка	930—880	Масло	—
	Отпуск	600—675	Воздух	2860—3210
45Г2	Закалка	830—850	Масло	—
	Отпуск	400	Воздух	3870—4440
	»	500	Масло	3020—3400
	»	600	»	2550—2860
40Х 38ХА	Закалка	850—870	Масло	—
	Отпуск	420	Воздух	3400—3870
	Отпуск	540	Масло	2770—3110
	»	650	»	2170—2410
40ХН	Закалка	820—870	Масло	—
	Отпуск	550—560	»	2550—2860
45ХНМФА	Закалка	860—880	Масло	—
	Отпуск	390—420	Воздух	4150—4770
	»	460—530	»	3630—4440
	»	550—600	»	3210—3630
	»	600—650	»	2600—3210

которых производится быстрый нагрев наружной зоны детали. После нагрева выполняется охлаждение с помощью душевого устройства, в качестве охлаждающей жидкости используется вода или эмульсия, в некоторых случаях нагретое изделие погружают в бак с маслом. Применяют следующие способы закалки с нагревом ТВЧ:

одновременный нагрев и закалку всей поверхности детали (пальцы, валики, колеса с модулем менее 6), при этом деталь неподвижна или вращается, совершая 20—30 оборотов за цикл нагрева (рис. 20.1, а);

последовательный нагрев и закалку отдельных участков детали (колеса с модулем более 6, шейки и кулачки валов колес) (рис. 20.1, б);

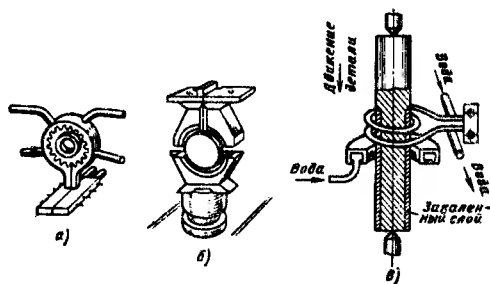


Рис. 20.1. Схемы закалки ТВЧ различными методами

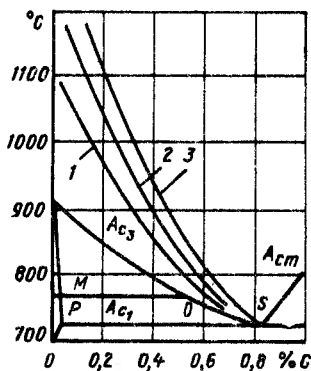


Рис. 20.2. Изменение оптимальных температур нагрева под закалку ТВЧ в зависимости от содержания углерода и скорости нагрева доэвтектоидной стали:

1 — 200 °C/с; 2 — 550 °C/с; 3 — 700 °C/с

непрерывно-последовательный нагрев и закалку с перемещением для длинных валов-колес (рис. 20.1, в).

Длительность нагрева при закалке ТВЧ зависит от толщины слоя и частоты тока (табл. 20.3). Вследствие высокой скорости нагрева (200—600 °C/с) и небольшой продолжительности выдержки при закалке ТВЧ оптимальная температура нагрева на 100—150° C выше, чем при обычной закалке (рис. 20.2).

20.3. Длительность нагрева при закалке ТВЧ в зависимости от частоты тока и толщины закаливаемого слоя

Толщина слоя, мм	Длительность нагрева, с, при частоте тока, Гц		Толщина слоя, мм	Длительность нагрева, с, при частоте тока, Гц	
	10 ⁴	3,6·10 ⁵		10 ⁴	3,6·10 ⁵
2,0	1	5	4,0	5	15
3,0	3	9	5,0	15	30

Закалка с нагревом ТВЧ является наиболее прогрессивным способом, так как при ее применении резко повышается производительность, снижается трудоемкость и себестоимость, а также обеспечивается возможность автоматизации процесса и установки оборудования в потоке механической обработки. В результате закалки ТВЧ значительно повышается твердость, износостойкость и контактная выносливость. Повышение сопротивления усталости зубьев зубчатых колес достигается только в том случае, если применяемый метод закалки обеспечивает закалку поверхности зуба по контуру и одновременную закалку переходной поверхности зуба, являющейся наиболее опасной зоной. Особенно актуально обеспечение закалки по контуру зуба при нагреве ТВЧ для зубчатых колес наиболее массовых видов с модулем 3—6 (автомобильные, тракторные, для станков).

Упрочнение зубьев колес при нагреве ТВЧ с использованием стали 55ПП с пониженной прокаливаемостью разработано и внедрено на ЗИЛе [9].

По сравнению с обычной углеродистой сталью в стали 55ПП резко понижено содержание марганца, несколько уменьшено содержание кремния, хрома и никеля, перед разливкой сталь модифицируется алюминием и титаном; прокаливаемость стали 55ПП вследствие этого весьма невелика. Нагрев колес из стали 55ПП осуществляется насквозь по всему сечению зуба, одновременно обязательно нагревается и впадина зуба. Длительность нагрева колес при этом значительно больше (20—90 с), чем при обычно применяемом для закалки колес поверхностном нагреве ТВЧ (8—20 с). Вследствие этого не требуется значительной мощности установки, в большинстве случаев для закалки автомобильных колес требуемая мощность не превышает 100 кВт. Критическая скорость закалки стали 55ПП значительно выше (700—1500° С/с), чем обычных углеродистых сталей 40—45 (150—400° С/с). Поэтому при ее закалке необходимо весьма интенсивное охлаждение, расход охлаждающей воды составляет 80—100 см³ на 1 см² поверхности в течение 1 с.

В результате закалки стали 55ПП на поверхности зубьев достигается твердость HRC_с 59—63; в сердцевине зуба твердость составляет HRC_с 32—42. Вследствие того, что сталь 55ПП обладает минимальной прокаливаемостью, зубья закаливаются по контуру, хотя нагрев ТВЧ осуществляется насквозь по всему сечению зуба. Глубина слоя закалки обычно 1,0—2,0 мм.

Стендовые и эксплуатационные испытания колес из стали 55ПП после закалки с нагревом ТВЧ показали, что такие стали обладают высокими показателями прочности (предел прочности при изгибе, ударная вязкость, предел выносливости), близкими (а иногда и более высокими) к показателям прочности цементованных колес. Контактная выносливость зубьев колес из стали 55ПП является удовлетворительной. Поэтому для ряда колес с модулем 4,8—6 мм, у которых контактные напряжения не достигают максимальных значений, применение стали 55ПП целесообразно.

Закалка с нагревом ТВЧ достаточно широко используется для сплошного нагрева зубьев колес станков с модулем 1,5—4,0 мм, а также колес автомобилей и тракторов менее ответственного назначения, при этом снижается деформация и уменьшается искажение профиля зубьев по сравнению с этими показателями после нагрева в печах. Режим закалки для указанных изделий приведен в табл. 20.4, распределение твердости по зубу показано на рис. 20.3.

20.4. Режимы закалки с нагревом ТВЧ зубчатых колес из стали 40Х

Характеристики колес			Условия индукционного нагрева		Твердость после отпуска HRC _с	Твердость после закалки HRC _с
Диаметр	Ширина зуба	Модуль	Мощность, кВт	Время нагрева, с		
мм						
46	14	1,5	36,5	3,5	51	53
87	15	1,5	54,4	5,0	46	53
49	15	2,25	41,3	4,5	56	59
85	13	2,25	53,2	5,0	56	59
130,5	15	2,25	53,2	12,0	56	59

Примечание. Температура отпуска 230°С.

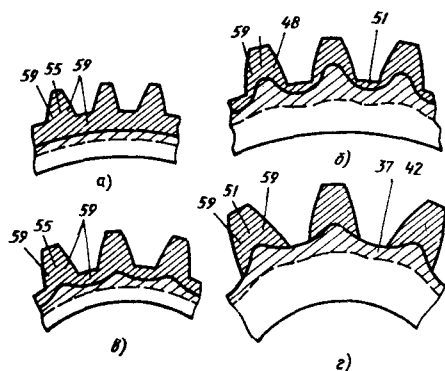


Рис. 20.3. Распределение закаленного слоя и твердости HRC_a на колесах с различным модулем m при сквозном прогреве зуба и обода током радиочастоты:

а — $m < 2,0$; б — $m = 2, \dots, 2,5$; в — $m = 2,5, \dots, 4,0$; г — $m > 4,0$. Цифры соответствуют значениям HRC_a для стали 40Х

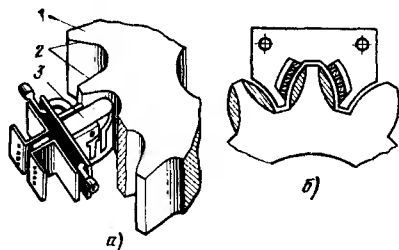


Рис. 20.4. Схема закалки крупномодульных колес:

а — с упрочнением боковой поверхности и впадины зуба; 1 — деталь; 2 — закаленный слой; 3 — индуктор; б — с упрочнением только боковой поверхности

Закалка по профилю зубьев при нагреве ТВЧ осуществляется и при термической обработке крупных колес с модулем более 6 мм. В этом случае производится последовательный нагрев и закалка каждого зуба в отдельности (зуб за зубом).

На рис. 20.4, а показано расположение индуктора при закалке впадины и боковой поверхности зубьев колеса с модулем свыше 10 мм. Закалка колес с модулем 6—10 мм осуществляется преимущественно по боковой поверхности зуба, так как достичь при этом полной закалки впадины зуба не удастся (рис. 20.4, б).

Химико-термическая обработка. При химико-термической обработке происходит изменение химического состава поверхностного слоя изделий в результате диффузии в сталь различных элементов из внешней среды. После насыщения в большинстве случаев выполняют закалку и низкий отпуск. Основной целью этой обработки является повышение твердости и износостойкости поверхности, а также повышение сопротивления усталости и предела выносливости при контактной нагрузке. Характеристики процессов химико-термической обработки, применяемых для колес, приведены в табл. 20.5.

Из процессов химико-термической обработки колес, указанных в табл. 20.5, наибольшее применение нашли газовая цементация в шахтных печах и печах непрерывного действия, а также нитроцементация (газовое цианирование). Применение этих способов обработки позволяет полностью механизировать и автоматизировать технологический процесс, обеспечить высокое качество продукции, упростить последующую термическую обработку, сократить длительность обработки, уменьшить производственную площадь. В связи с этим для указанных видов обработки колес ниже приведены более подробные данные, помимо основных параметров процессов, указанных в табл. 20.5.

Требования к колесам, подвергаемым цементации и нитроцементации. Зубчатые колеса, подвергаемые цементации и нитроцементации, относятся к группе наиболее напряженных деталей. Они должны обладать высоким сопротивлением усталости, контактной выносливостью при определенных значениях ударной вязкости. В качестве материала для них в современных условиях используют легированные мелкозернистые стали, подвергаемые насыщению преимущественно

20.5. Характеристики процессов химико-термической обработки зубчатых колес

Операция	Назначение	Состав среды для насыщения	Температура, °C	Продолжительность выдержки, ч
Цементация в твердом карбюризаторе	Насыщение поверхности углеродом	Твердый карбюризатор из древесного угля или каменноугольного полукокса в смеси с углекислыми солями бария и кальция	880—980, преимущественно 930	10 — для получения слоя толщиной 1 мм при 930 °C
Термическая обработка	Повышение твердости и износостойкости, сопротивления усталости и контактной выносливости	—	—	—
Газовая цементация в шахтных печах	Насыщение поверхности углеродом	Газовая смесь, получаемая непосредственно в шахтной печи из керосина, бензола, пиробензола, синтина и др.	930—950	См. табл. 20.6
Термическая обработка	Повышение твердости, износостойкости, сопротивления усталости и контактной выносливости	—	—	—
Газовая цементация в печах непрерывного действия, муфельных и безмуфельных	Насыщение поверхности углеродом	Газовая смесь, получаемая в рабочем пространстве печи; осветительный керосин, синтин, бензин, пиробензол, углеводородные газы-разбавители (продукты крекинга углеводородных газов, эндотермическая атмосфера) с добавкой к последним 5—10% метана или другого богатого углеводородом газа	930—950	8 — для получения слоя толщиной 1 мм при 930 °C
Термическая обработка	Повышение твердости и износостойкости, сопротивления усталости и контактной выносливости	—	—	—
Газовая нитроцементация	Одновременное насыщение поверхности стали углеродом и азотом	Смесь цементирующего газа и 2—10% аммиака	820—860	4 — для получения слоя толщиной 0,6 мм при 850 °C
Термическая обработка	Повышение твердости и износостойкости, сопротивления усталости и контактной выносливости	—	—	—

Продолжение табл. 20.6

Операция	Назначение	Состав среды для насыщения	Температура, °C	Продолжительность выдержки, ч
Изотермическое азотирование	Насыщение поверхности азотом с целью повышения твердости, износостойкости и сопротивления усталости	Аммиак со степенью диссоциации 10—25% при 480—520 °C или 30—40% при 540—560 °C	480—560	30 — для получения слоя толщиной 0,3 мм при 500 °C
Двухступенчатое азотирование	То же, что и для изотермического азотирования. Сокращение длительности азотирования при сохранении высокой твердости, преимущественно для колес ответственного назначения	Аммиак со степенью диссоциации 20—30% на первой ступени и 35—45% на второй ступени	500—520 на первой ступени, 560—600 на второй ступени	На первой и второй ступени одинакова; 10—20 — для получения глубины слоя 0,4—0,7 мм
Низкотемпературное цианирование (тенифер, туфтридинг-процесс)	Насыщение поверхности азотом для повышения износостойкости, сопротивления усталости и коррозионной стойкости	Расплавленные соли: 15% Na_2CO_3 и 85% смеси, состоящей из 40% KCNO + 60% NaCN	570	1—3
Ионное азотирование (азотирование в тлеющем разряде)	Насыщение поверхности азотом при наложении сильных электростатических полей	Предварительно диссоциированный аммиак: 25% N_2 + 75% H_2 . Для деталей сложной формы 80% диссоциированного аммиака + 20% аммиака	520—550 (нагрев производится за счет бомбардировки поверхности деталей ионами газа при тлеющем разряде)	6 — для слоя толщиной 0,2 мм, 18 — для слоя толщиной 0,4 мм. По сравнению с печным азотированием продолжительность выдержки сокращается в 1,5—2 раза
Низкотемпературная нитроцементация	Насыщение поверхности азотом и углеродом	Аммиак + углеродосодержащий газ. Состав атмосферы: аммиак + экзогаз (90% N_2 + 10% CO_2). В соотношении $\frac{\text{аммиак}}{\text{экзогаз}} = 1 : 2.$ При указанном составе атмосферы обеспечивается взрывобезопасность процесса	560—580	0,5—3,0
Термическая обработка	Обеспечение минимальной деформации деталей, высокой износостойкости, высокого сопротивления усталости, удовлетворительной контактной выносливости			

но в атмосфере с автоматическим регулированием концентрации углерода в слое и последующей закалке. При этом достигается минимальная деформация, что обеспечивает необходимую точность колес, не подвергаемых зубообработке после термической обработки, или минимальный припуск на отделочную зубообработку.

Применяемые стали и методы химико-термической обработки должны обеспечить соблюдение следующих основных требований:

глубина слоя должна составлять 0,125—0,175 толщины зуба при концентрации углерода на поверхности 0,8—1,0 % и при поверхностной твердости HRC₀ 60—64;

структура слоя должна представлять собой мелконгольчатый мартенсит с небольшими изолированными участками остаточного аустенита, недопустимы выделения карбидов в форме сетки в цементованном слое и массивные включения карбонитридов в нитроцементованном слое;

структура сердцевины должна представлять собой малоуглеродистый мартенсит или бейнит без выделений структурно-свободного феррита.

Концентрация углерода в периферийной зоне слоя оказывает значительное влияние на показатели прочности (рис. 20.5), для обеспечения максимальной прочности зубьев при изгибе рекомендуемое содержание углерода 0,8—1,0 %. Для колес с максимальными контактными напряжениями оптимальная концентрация углерода в слое может быть повышена до 1,2 %, однако при этом в структуре периферийной зоны недопустимы скопления крупных карбидов и карбонитридов и особенно выделения этих фаз в форме сетки по границам зерен.

Для оценки глубины слоя при химико-термической обработке используют различные критерии. На некоторых заводах определяют полную толщину слоя до исходной концентрации углерода в стали.

Более правильным является определение толщины эффективного слоя с твердостью выше HRC₀ 51, который представляет собой сумму толщин слоев с эвтектоидной структурой (свыше 0,8 % C), с эвтектоидной структурой (0,8% C) и структурой, соответствующей половине толщины переходной зоны при содержании 0,40 % C.

Следует учитывать, что при определении глубины слоя до исходной концентрации углерода в ответственных изделиях возникает опасность разрушения в переходной зоне, так как в этом случае напряжение изгиба превышает предел текучести даже при твердости сердцевины не менее HRC₀ 32 и при обычно применяемом для колес соотношении $\delta/s = 0,15$, где δ — глубина слоя; s — толщина слоя. Для колес с твердостью сердцевины ниже HRC₀ 32 опасность разрушения в переходной зоне еще более возрастает.

Газовая цементация в шахтных печах. Этот процесс химико-термической обработки применяется в основном в серийном производстве, ибо для шахтных печей периодического действия можно легко комплектовать аналогичные партии из деталей разных размеров.

Требуемая для цементации атмосфера создается в результате подачи в реторту печи жидкостей, богатых углеводородами (пиробензол, осветительный керосин, синтин, спирты), или сжиженных углеводородных газов. Одним из лучших карбюризаторов является синтин, являющийся смесью углеводородов парафинового ряда строго определенного состава. В ряде случаев при цементации в шахтных печах применяют газообразную эндотермическую атмосферу с автоматическим регулированием потенциала углерода.

Продолжительность выдержки при цементации в шахтных печах для получения различной толщины слоя приведена в табл. 20.6.

20.6. Продолжительность, ч, выдержки при цементации в шахтных печах при температуре 950 °С и использовании различных карбюризаторов

Полная толщина слоя, мм	Пиро-бензол	Керосин осветитель-ный	Синтин	Полная толщина слоя, мм	Пиро-бензол	Керосин осветитель-ный	Синтин
0,5—0,7	3—4	3—4	2,5—3	1,3—1,6	8—10	9—11	6—8
0,7—0,1	4—6	5—7	3—4	1,6—1,9	10—12	11—13	9—10
1,0—1,3	6—8	7—9	5—6				

На первом этапе цикла насыщения подается повышенное количество карбюризатора, при котором обеспечивается на поверхности 1,1—1,2 % углерода, затем количество карбюризатора снижается в 3 раза для получения на поверхности 0,8—1 % углерода.

Режимы термической обработки зубчатых колес после цементации существенно различаются в зависимости от степени легирования сталей.

Для низколегированных и среднелегированных сталей, содержащих менее 2% никеля (типа 20Х, 25ХГТ, 25ХГМ, 20ХНМ и др.), после насыщения при 930 °С производят, как правило, подстуживание до 850 °С, непосредственную закалку и низкий отпуск. Такая схема обработки наиболее экономична, при этом обеспечивается пониженная деформация изделий.

Для сталей, содержащих свыше 2% никеля (типа 20ХН3А, 12Х2Н4А, 18Х2Н4ВА и др.), непосредственная закалка с подстуживанием не может применяться, так как при этом в слое образуется значительное количество остаточного аустенита, снижается твердость до HRC₄ 48—56, уменьшается предел выносливости.

Для снижения количества остаточного аустенита на ряде заводов применяют высокий отпуск после цементации перед закалкой с нагревом до 600—650 °С с выдержкой в течение 2—6 ч. При этом происходит выделение и укрупнение карбидов, в них повышается содержание легирующих элементов. Это приводит к уменьшению степени легирования аустенита, образующегося при последующем нагреве под закалку. Вследствие этого температуры критических точек мартенситного превращения M_n и M_s повышаются, что приводит к снижению в цементованном слое после закалки содержания остаточного аустенита. Для стали 12Х2Н4А температура выдержки не должна превышать 630 °С, так как при большей температуре аустенит становится весьма устойчивым. После высокого отпуска производится закалка с повторным нагревом и низкий отпуск.

Значительно понизить содержание остаточного аустенита в цементованном слое высоколегированных сталей можно путем обработки холодом после закалки с подстуживанием перед низким отпуском. Однако необходимо учитывать, что механические свойства цементованной стали могут при этом заметно понизиться. Поэтому для зубчатых колес ответственного назначения обработку по данному режиму производить нецелесообразно. Для повышения усталостной прочности зубчатых колес из высоколегированных сталей успешно применяют наклеп дробью.

Газовая цементация и нитроцементация в печах непрерывного действия. Использование для газовой цементации печей непрерывного действия с размещением обрабатываемых изделий на поддонах, перемещаемых толкателем вдоль рабочей камеры, позволяет в максимальной степени обеспечить автоматизацию и механизацию процессов химико-термической обработки стали. Обрабатываемые де-

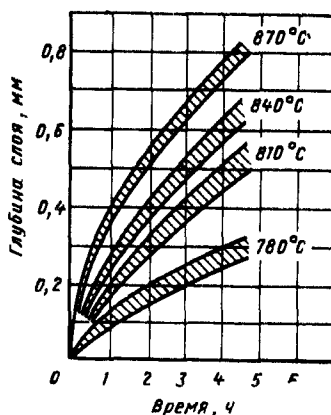
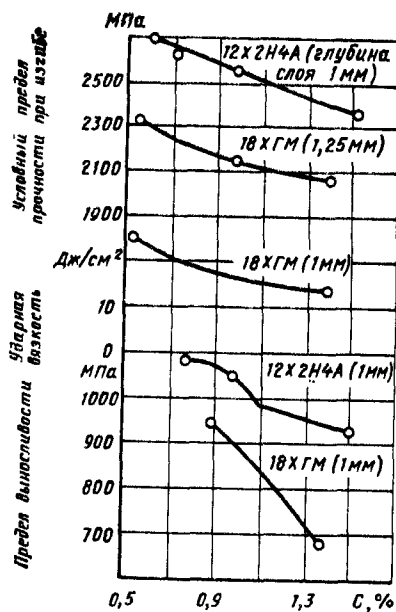


Рис. 20.6. Зависимость глубины слоя при нитроцементации от времени выдержки и температуры для печей периодического действия

Рис. 20.5. Влияние содержания С в цементованном слое на механические свойства цементуемых сталей

тали после цементации подвергают непосредственной закалке или закалке с подстуживанием до 800—850 °С в отдельных камерах, что позволяет снизить деформацию колес и стоимость обработки.

При нитроцементации детали после насыщения при 830—850 °С подвергаются непосредственной закалке без подстуживания. Длительность насыщения, требуемая для получения слоя заданной толщины, указана на рис. 20.6.

В современных условиях наибольшее применение находят автоматизированные безмуфельные агрегаты. По сравнению с ранее применяемыми муфельными печами безмуфельные агрегаты с трубчатыми радиационными нагревателями дают значительные экономические преимущества: повышение на 50 % удельной производительности и снижение на 25 % удельного расхода жаропрочных сталей. В этих агрегатах обеспечивается необходимая герметизация рабочего пространства, что особенно важно для последней зоны и камеры подстуживания, в которой детали охлаждаются перед закалкой. Изделия в этом случае вместе с поддонами охлаждаются без контакта с воздухом в контролируемой атмосфере с регулируемым потенциалом углерода, что предохраняет их поверхность от обезуглероживания. В камере подстуживания муфельных печей идеальные условия для термической обработки невозможно обеспечить, вследствие чего физико-механические свойства изделий снижаются. Весь цикл химико-термической обработки, вплоть до промывки и отпуска в безмуфельном агрегате, полностью механизирован и автоматизирован. Производительность такой печи значительно выше, чем муфельной, так как размеры рабочего пространства не лимитируются шириной муфеля.

На рис. 20.7 показан однорядный безмуфельный агрегат конструкции ЗИЛ, используемый для цементации и нитроцементации зубчатых колес. Технические характеристики агрегата приведены ниже.

Производительность, кг/ч:

при цементации с толщиной слоя 1,2—1,3 мм	250
при нитроцементации с толщиной слоя 0,5—0,7 мм	500

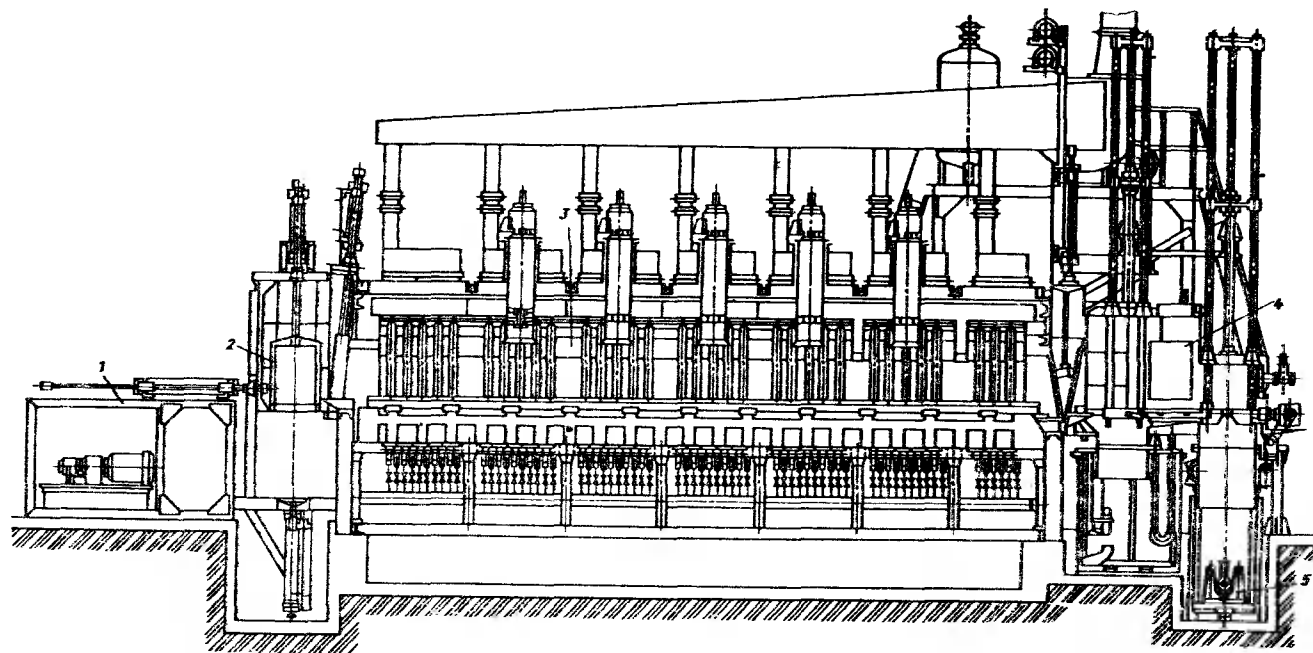


Рис. 20.7. Безмуфельный агрегат для газовой цементации:

1 — толкатель; 2 — тамбур загрузки; 3 — рабочая камера безмуфельной печи; 4 — тамбур разгрузки с закалочным баком; 5 — бак

Рабочая температура, °С, в камере печи:	
безмуфельной	850—940
для отпуска	150—210
Число поддонов в безмуфельной печи	21
Размер поддонов, мм	650×450
Расход газа для нагрева изделий, м³/ч	120
Расход газов для химико-термической обработки, м³/ч:	
эндотермическая атмосфера	60
природный газ	2
аммиак (при нитроцементации)	1,5
Влажность эндотермической атмосферы (по точке росы), °С	—3
	—5
Мощность электродвигателей, кВт	84

Для приготовления газового карбюризатора в печах непрерывного действия чаще всего используют газы, богатые углеводородами. В результате частичного сжигания этих газов при небольшом коэффициенте избытка воздуха, равном 0,25, в присутствии катализатора и при внешнем нагреве камеры сжигания создаются различные контролируемые атмосферы. Состав наиболее распространенных атмосфер приведен в табл. 20.7.

20.7. Состав газовых карбюризаторов для печей непрерывного действия

Атмосфера	Состав атмосферы, %					
	CO	H ₂	CO ₂	CH ₄	N ₂	Точка росы, °С
Эндотермическая Экзоэндотермическая	18—20	38—43	0,18	0,4	Остальное	—1
	14—18	20—25	0,1	0,2	Остальное	—9

Для интенсификации насыщения углеродом к атмосферам указанного состава в печь добавляют до 10 % богатых углеродом газов (метана, пропана).

Основным преимуществом эндотермической и экзоэндотермической атмосферы является возможность автоматического регулирования концентрации углерода в слое при цементации и нитроцементации. Для этого используют датчики для автоматического контроля содержания водяных паров по точке росы или контроля содержания двуокиси углерода в рабочей камере печи.

Конкретные режимы процесса и химический состав комплексно-легированных сталей следует подбирать с таким расчетом, чтобы после закалки сохранились легирующие элементы в твердом растворе, необходимые для обеспечения прокаливаемости и закаливаемости периферийных зон на расстоянии от поверхности до 0,2 мм. В противном случае сопротивление усталости изделий может значительно снизиться.

Необходимо учитывать также, что при цементации легированных сталей показатели прочности могут ухудшаться и в результате внутреннего окисления ряда элементов (хром, марганец, кремний, титан), широко используемых для легирования сталей. Образование окислов приводит к снижению содержания легирующих элементов в твердом растворе на расстоянии от поверхности до 0,03 мм. При наличии зоны внутреннего окисления с толщиной свыше 0,013 мм резко снижается усталостная прочность стали (рис. 20.8).

Ликвидировать или уменьшить вредное влияние внутреннего окисления можно легированием стали молибденом (свыше 0,3 %) или дополнительным леги-

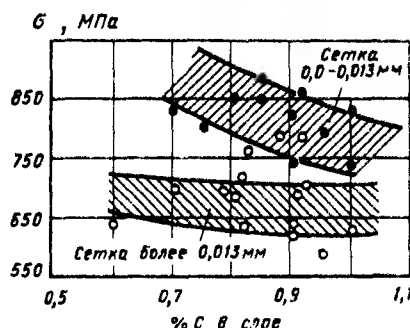


Рис. 20.8. Влияние глубины слоя внутреннего окисления, определяемого по сетке троостита, на предел выносливости цементованной стали 25ХГТ. Цементация в эндогазе с автоматическим регулированием потенциала углерода.

ванием периферийной зоны слоя азотом, осуществляемым при химико-термической обработке путем добавки 5—10 % аммиака в рабочее пространство печи за 10 мин до окончания процесса цементации.

Образование низкокачественной немартенситной структуры на поверхности вследствие

внутреннего окисления не обнаруживается, если твердость определяется по Роквеллу. Эта структура фиксируется только при измерении микротвердости или при пробе напильником. Особенно вредно снижение микротвердости в наиболее опасной зоне — на переходной поверхности зуба, вследствие чего резко падает сопротивление усталости зубчатых колес даже для высоколегированной хромоникельвольфрамовой стали.

При нитроцементации в безмуфельных агрегатах температура насыщения углеродом и азотом равна 840—870 °С и ступенчатая закалка производится без подстуживания от температуры 840 — 870 °С. Колеса охлаждают в горячем масле с температурой 170—180 °С, а затем в холодном масле.

Использование для нитроцементации более низкой температуры, чем при газовой цементации (840 °С вместо 930 °С), и применение ступенчатой закалки в горячем масле обеспечивают значительное снижение деформации изделий. Биение зубчатого венца автомобильных колес с модулем 4 мм при этом составляет 0,08 мм вместо 0,12 мм, обычно получаемых после газовой цементации; деформация по профилю зуба не превышает 0,04 мм.

Описанный выше процесс газовой нитроцементации с точки зрения обеспечения минимальной деформации является наиболее совершенным, однако в производственных условиях требуется тщательное регулирование условий насыщения.

Автоматическое регулирование концентрации углерода в слое при нитроцементации осуществляется при использовании эндотермической атмосферы регулированием концентрации двуокиси углерода в атмосфере, выходящей из печи. Для автоматического регулирования концентрации азота в слое нет надежных методов, поэтому во избежание перенасыщения слоя азотом строго дозируется количество аммиака, добавляемого в рабочую камеру печи:

Толщина слоя при нитроцементации, мм	0,2—0,4	0,5—0,7	0,8—1,1
Добавка аммиака, %	3—7	Не более 5	Не более 2

При чрезмерно высокой концентрации азота в слое в микроструктуре наблюдаются массивные включения карбонитридов и повышенное количество остаточного аустенита. В периферийной зоне слоя на глубине 0,01—0,3 мм может образоваться сетка темных включений («темная составляющая»), являющихся смесью дисперсных окислов и карбонитридов. «Темная составляющая» в структуре нитроцементованного слоя резко снижает сопротивление усталости и контактную выносливость зубчатых колес. Такой дефект структуры недопустим для ответственных изделий.

Необходимо учитывать, что для нитроцементованных зубчатых колес опасно даже частичное обезуглероживание поверхности при повторном нагреве под закалку в атмосфере воздуха или при переносе изделий из закалочной печи в бак. При этом резко ухудшаются механические свойства, в особенности снижаются сопротивление усталости и ударная вязкость, даже при наличии оптимальной суммарной концентрации углерода и азота. Таким образом, даже при химико-термической обработке колес с использованием наиболее прогрессивного оборудования в поверхностной зоне цементованного или нитроцементованного слоя могут образоваться дефектные и немартенситные структуры. В результате снижается сопротивление усталости и контактная выносливость зубчатых колес. Для предотвращения образования указанных дефектов в периферийных зонах цементованного и нитроцементованного слоя на расстоянии до 0,2 мм от поверхности используются различные способы. Такие способы базируются на рациональном выборе системы легирования сталей и на совершенствовании режимов насыщения зубчатых колес углеродом и азотом. Однако на сопротивление усталости зубчатых колес весьма существенное влияние оказывает и интенсивность охлаждения изделий при закалке.

Следует учитывать, что скорость охлаждения при закалке в наиболее опасной зоне во впадине зуба в несколько раз меньше, чем на боковой рабочей поверхности зуба. Так, например, для колес с модулем 4 при обычно принятой в производственных условиях интенсивности охлаждения скорость охлаждения на боковой поверхности зуба составляет 100 °C/с, а во впадине 40 °C/с. Для количественной оценки интенсивности охлаждения при закалке используется параметр H . При охлаждении в идеальной закалочной среде, отнимающей теплоту с поверхности стали с бесконечной скоростью, $H = \infty$.

Интенсивность охлаждения зависит от характеристик циркуляции масла, применяемого для закалки легированных сталей:

Отсутствие циркуляции	0,25—0,30
Слабая циркуляция	0,30—0,35
Умеренная циркуляция	0,35—0,40
Достаточная циркуляция	0,40—0,50
Сильная циркуляция	0,50—0,80
Буриная циркуляция	0,80—1,00

На рис. 20.9 приведены результаты экспериментального определения скорости охлаждения зубчатых колес с различным модулем как на рабочей поверхности зуба, так и во впадине в зависимости от интенсивности охлаждения в масле. Такие измерения проводились на расстоянии 1 мм от поверхности в обеих зонах для того, чтобы установить скорости охлаждения на глубине, соответствующей величине эффективного слоя упрочнения при химико-термической обработке.

Для оценки качества упрочненного слоя используют в основном твердость:

- а) твердость поверхности при обеспечении оптимальной концентрации углерода и азота, при качественной структуре должна составлять HRC_s 59—63;
- б) на глубине эффективного слоя твердость должна быть не менее HRC_s 51 при 0,4 % С.

Для обеспечения указанных требований необходимо применить при закалке изделий охлаждение с определенной (критической) скоростью ($v_{кр}$), которая зависит от концентрации углерода и азота в слое, а также от содержания легирующих элементов в стали.

Значения критической скорости охлаждения определяют по диаграммам прокаливаемости цементованного и нитроцементованного слоя в зависимости от

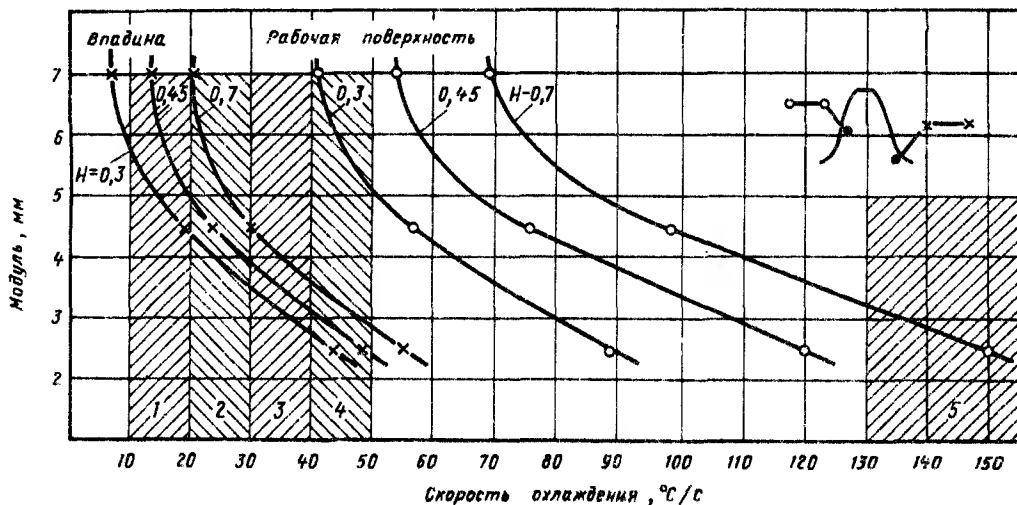


Рис. 20.9. Зависимость скорости охлаждения на рабочей поверхности зуба и во впадине колеса (на глубине 1 мм от поверхности) для колес с различным модулем от интенсивности охлаждения H при закалке

концентрации углерода и азота. В настоящее время имеются данные о критических скоростях охлаждения различных цементуемых и нитроцементуемых сталей. При сопоставлении известных значений $v_{\text{крит}}$ и значений скоростей охлаждения (см. рис. 20.9) представляется возможным определить величину модуля зубчатых колес, для которых обеспечивается охлаждение со скоростью, равной или выше $v_{\text{крит}}$, при различной интенсивности охлаждения как на боковой поверхности зуба, так и во впадине. На рис. 20.9 в виде заштрихованных областей показаны пределы изменений критических скоростей закалки применительно к пяти различным группам сталей после химико-термической обработки по различным режимам. Характеристики режимов обработки различных групп сталей и значения критических скоростей охлаждения приведены в табл. 20.8.

Необходимо учитывать, что для обеспечения требуемой твердости на поверхности $HRC_{\text{в}}$ 59—63 при качественной структуре критическая скорость охлаждения для различных легированных сталей составляет 5—10 °C/с. Как показано на рис. 20.9, при такой критической скорости охлаждения достигается требуемая поверхностная твердость во впадине и на крупных зубчатых колесах с модулем свыше 7 мм. Таким образом, при принятой в практике интенсивности охлаждения (при $H > 0,30$) обеспечение требуемой поверхностной твердости не вызывает особых затруднений в тех случаях, когда структура является качественной. Однако, как показано выше, для обеспечения контролируемой твердости $HRC_{\text{в}}$ 51 на глубине эффективного слоя во впадине требуется выбрать режим химико-термической обработки и марку стали для зубчатых колес с различным модулем с учетом зависимостей, приведенных на рис. 20.9 и в табл. 20.8. В результате достигается высокое сопротивление усталости зубьев при изгибе.

При цементации и азотировании колес в ряде случаев необходимо предохранять отдельные поверхности от насыщения углеродом и азотом. Характеристика методов изоляции поверхности при цементации приведена в табл. 20.9.

20.8. Значения критических скоростей охлаждения для различных цементуемых сталей при концентрации углерода в слое 0,40%, твердости HRC_с 61 в зависимости от режимов химико-термической обработки

№ группы сталей	Сталь	Режим химико-термической обработки	Критическая скорость охлаждения, °C/с	Модуль колеса, мм, при котором обеспечивается скорость охлаждения на глубине слоя 1,0 мм во впадине, эквивалентная критической скорости для данной стали		
				H=0,30	H=0,45	H=0,70
1	25ХГМ	Цементация 930 °С, охлаждение до 860 °С, непосредственная закалка	15	5	6	7
	25ХГМ	Цементация 930 °С, непосредственная закалка	13	5,5	6,5	7
	25ХГМ	Нитроцементация 860 °С, непосредственная закалка	18	4,5	5,0	6,0
	25ХГМ	Нитроцементация 930 °С, подстуживание до 860 °С, непосредственная закалка	15	5	6	7
2	25ХГМ	Нитроцементация 870 °С, подстуживание 820 °С, непосредственная закалка	20	4,5	5,0	6,0
	25ХГТ	Нитроцементация 930 °С, подстуживание 860 °С, непосредственная закалка	24	4,0	4,5	5,0
	25ХГТ	Нитроцементация 870 °С, непосредственная закалка	24	4,0	4,5	5,0
	20ХН3А	Цементация 930 °С, охлаждение до 860 °С, непосредственная закалка 860 °С	36	3,0	3,5	4,0
	20ХН3А	Нитроцементация 870 °С, непосредственная закалка	25	4,0	4,5	5,0
	20ХН3А	Цементация 930 °С, непосредственная закалка	22	4,0	4,5	5,5
	20Х	Нитроцементация 870 °С, непосредственная закалка	22	4,0	4,5	5,5
3	25ХГТ	Цементация 930 °С, непосредственная закалка	32	3,3	3,8	4,3
	20ХН3А	Цементация 870 °С, непосредственная закалка	32	3,3	3,8	4,3
4	25ХГТ	Цементация 870 °С, непосредственная закалка	40	2,7	3,0	3,5
	20Х	Цементация 870 °С, непосредственная закалка	45	2,5	2,9	3,3

20.9. Методы изоляции поверхности деталей от цементации

Метод	Толщина наносимого слоя, мм	Характеристика метода
Гальваническое малопористое меднение	При газовой цементации — 0,01—0,05, при цементации с толщиной слоя 1 мм в твердом карбюризаторе — 0,01—0,015, при газовой цементации 0,025—0,050	Высокая надежность; после цементации слой омеднения снимается механическим или гальваническим способом
Нанесение пасты состава, г: 50 свинцового сурьма, 100 окиси алюминия, 200 талька, 10 жидкого стекла; плотность 1,4—1,5 г/см ³ . Покрытие наносится двумя слоями	0,8—1,0	Обеспечивается удовлетворительная защита от цементации при нагреве до 1000 °С
Оставление припуска, снимаемого после цементации	Толщина припуска в 1,5—2 раза больше глубины цементованного слоя	Метод надежный, но сложный и требующий больших затрат
Нанесение на поверхность пасты для защиты от науглероживания и азотирования состава, % по массе: 5—20 каолина, 20—45 каучука натурального, 10—20 бензина, остальное — порошкообразный V_2O_5 . Сушка выполняется при 20 °С для испарения растворителя бензина. После обработки осуществляется замачивание детали в воде для удаления покрытия	0,5—1,0	Обеспечивается удовлетворительная защита, облегчается удаление пасты после химико-термической обработки

Наиболее распространенным методом защиты поверхности при азотировании является гальваническое лужение с последующим фосфатированием, толщина слоя 0,10—0,12 мм.

Экономичным и простым методом изоляции поверхности является двукратное нанесение на поверхность изделия жидкого стекла с последующей сушкой при 100—120 °С, толщина слоя 1,0—2,0 мм.

20.4. Оборудование для термической обработки зубчатых колес

Для осуществления описанных выше процессов термической и химико-термической обработки колес используется разнообразное оборудование. Для отжига и нормализации стали при обработке деталей мелких и средних размеров при серийном или единичном производстве применяют камерные печи. Закалка деталей этой группы также проводится в камерных печах, а высокий и низкий отпуск — в шахтных печах, снабженных вентилятором для обеспечения требуемой равномерности прогрева.

При массовом производстве для отжига, нормализации, закалки и отпуска используются механизированные печи с толкателем или конвейерные печи. Применение этих печей позволяет обеспечить высокую степень автоматизации и механизации, вследствие чего повышается качество и снижается стоимость обработки изделий. Поверхностная закалка ТВЧ производится с использованием ламповых или машинных генераторов.

Для газовой цементации и нитроцементации при массовом производстве применяют безмуфельные агрегаты непрерывного действия. Азотирование проводится в шахтных печах.

Как отмечено выше, в условиях серийного производства при большой номенклатуре изделий, подвергаемых химико-термической обработке, нередко используют шахтные печи периодического действия. Необходимо учитывать, однако, что при обработке зубчатых колес в шахтных печах возможно снижение качества в связи с контактом нагретой до 950 °С детали с воздушной атмосферой при переносе садки деталей из шахтной печи в закалочный бак. Хотя длительность такой операции сравнительно невелика (1—3 мин), на рабочей поверхности зубьев наблюдается падение концентрации углерода на глубине 0,03—0,04 мм. В результате при последующей закалке на поверхности развиваются остаточные напряжения растяжения и предел выносливости зубьев снижается на 20—30 %.

В связи с этим для цементации и нитроцементации зубчатых колес ответственного назначения применение шахтных печей нецелесообразно. Поэтому для серийного производства рекомендуется при термической обработке ответственных зубчатых колес применять камерные универсальные печи, в которых исключается (так же, как в безмуфельных агрегатах) контакт поверхности нагретых изделий с воздухом при переносе из печи в закалочный бак. В конструкции таких печей, кроме рабочей камеры для насыщения, предусмотрена дополнительная форкамера для загрузки и разгрузки изделий, в которую подается контролируемая атмосфера с автоматически регулируемым потенциалом углерода и с добавками аммиака при нитроцементации.

В нижней части форкамеры установлен встроенный герметизированный закалочный бак. Для обеспечения требуемой циркуляции контролируемой атмосферы и закалочного масла печь снабжена соответствующими вентиляторами и насосами. Характеристика типовой универсальной камерной печи для цементации и нитроцементации приведена ниже.

Номинальная мощность, кВт	108
Мощность двигателей, кВт	16,6
Размеры рабочей камеры, мм:	
длина	1000
ширина	500
высота	500
Рабочая температура, °С	950
Максимальная загрузка, кг	200
Расход контролируемой атмосферы, м³/ч:	
эндогаз	15
метан (при закалке)	1,5
аммиак	1,0

20.5. Деформирование зубчатых колес в результате термической обработки

При термической обработке зубчатых колес происходит их деформирование, которое обусловлено структурными превращениями, связанными с изменениями объема, а также возникновением тепловых напряжений, вызывающих изменения формы колес.

Для зубчатых колес деформация в результате термической обработки имеет особо важное значение, так как во многих отраслях промышленности (станкостроение, сельскохозяйственное машиностроение и др.) рабочая поверхность зубьев после термической обработки не подвергается механической обработке и все искажения формы и размеров сохраняются в готовых изделиях. В результате нарушается правильность контакта при зацеплении, снижается долговечность колес, возрастает шум в агрегатах узлов машины при эксплуатации.

Объемные изменения при закалке прямо пропорциональны концентрации углерода в твердом растворе стали. Ниже приведены данные, показывающие резкое возрастание деформации при закалке нитроцементованных колес из мелкозернистой стали 25ХГМ в зависимости от твердости в сердцевине зуба, т. е. от прокаливаемости и закаливаемости стали:

Твердость в сердцевине зуба HRC _с	37	43	46
Число колес, забракованных вследствие деформации, %	0—1	0,9—1,7	3,4—5,1

Очевидна целесообразность контроля прокаливаемости стали не только для обеспечения прочности, но и для стабилизации и уменьшения деформаций изделий.

На деформацию существенное влияние оказывают концентрация углерода и азота в слое, глубина насыщения и режим охлаждения при закалке.

Весьма эффективно применение непосредственной закалики с подстуживанием вместо закалики с повторного нагрева. Такой режим позволяет уменьшить деформацию колеса по делительной окружности с 0,2—0,3 до 0,08—0,12 мм.

Значительное уменьшение деформации колес достигается использованием ступенчатой закалики, при которой изделия вначале выдерживаются в нагретом до 150—200 °С масле или в расплавленной соли, а затем подвергаются закалке в масле при температуре 30—40 °С. В результате температура по сечению изделия выравнивается, ликвидируются тепловые внутренние напряжения, что приводит к существенному уменьшению деформации (табл. 20.10).

20.10. Влияние режима охлаждения при закалке на деформацию зубчатых колес

Закалка	Деформация, мм		Влияние делительной окружности, мм	Закалка	Деформация, мм		Влияние делительной окружности, мм
	отверстия	по профилю зуба			отверстия	по профилю зуба	
Непосредственная в потоке масла при 40 °С	+0,055	+0,15	+0,13	Непосредственная ступенчатая	-0,040	+0,05	+0,08

В настоящее время ступенчатая закалка широко используется применительно к массовому производству, при этом достигается повышение долговечности колес примерно на 20 %. Зубчатые колеса малой жесткости с тонкими сечениями целесообразно подвергать закалке на калиброванных оправках или в закалочных прессах. Применение оправок позволяет снизить деформацию в 4—5 раз (с 0,5 до 0,1 мм). При закалке в прессах оптимальные результаты получают при автоматическом ступенчатом регулировании количества масла — на первом этапе в течение 20 с подается 750 л масла в 1 мин, а на втором этапе после охлаждения до

температуры ниже 200 °С подается 130 л масла в 1 мин. Одновременно применяют циклическое нагружение штампа с частотой одного колебания 2 с в течение первых 20 с цикла охлаждения, вследствие чего предотвращается возникновение напряжений при трении между штампом и зубчатым колесом.

Усовершенствование конструкции закалочных прессов позволяет получить минимальные деформации; для зубчатых колес (автомобильных) заднего моста диаметром 300 мм отклонение торца от плоскости и эллиптичность отверстия не превышают 0,06 мм. При закалке аналогичных колес в прессах старой конструкции деформация выше в 2 раза (0,12 мм).

Кроме перечисленных мероприятий, существенное значение для стабилизации и уменьшения деформации имеет правильная загрузка изделий на поддоны в печах непрерывного действия; масса деталей на одном поддоне не должна превышать 100 кг.

Очистка изделий от окалины. Если термическая обработка зубчатых колес проводится в печах без контролируемой атмосферы, на поверхности изделий образуется окалина, которую необходимо удалить. Для этого ранее использовали пескоструйные установки, теперь их применение запрещено в связи с несоответствием их требованиям охраны здоровья. Оптимальным методом очистки является гидropескоструйная очистка. В этом случае очистка производится смесью воды (50 % по массе) и песка (50 % по массе). Такая смесь специальным насосом подается по гибкому шлангу в рабочую камеру и распыливается через сопла сжатым воздухом 0,4—0,5 МПа. Отработанная смесь поступает в отдельную камеру и вновь может быть использована. В результате применения гидropескоструйной очистки запыленность помещения снижается в 10—20 раз (до 3 мг/м³). Может применяться также очистка поверхности стальной дробью, в результате чего, помимо очистки от окалины, достигается дополнительное упрочнение поверхности зубчатых колес. В случае необходимости удаления с поверхности изделий масла, используемого для закалки, перед отпуском изделия предварительно промывают в моечных машинах с использованием горячего (80—90 °С) водного 10%-ного раствора соды или 36%-ного раствора каустической соды.

20.6. Контроль качества зубчатых колес, подвергаемых термической обработке

Зубчатые колеса при эксплуатации машин подвергаются разнообразным и значительным нагрузкам. Особенно высокие требования предъявляются к деталям, подвергаемым цементации, нитроцементации, поверхностной закалке. При контроле микроструктуры необходимо учитывать, что структура слоя после химико-термической обработки должна состоять в основном из мартенсита и некоторого количества остаточного аустенита. При этом в цементованных деталях допускается не более 25 % остаточного аустенита. В нитроцементованном слое, для которого характерны включения остаточного аустенита в виде дисперсных включений, допускается значительное количество остаточного аустенита — до 50 %.

Опыт показывает, что при таком количестве остаточного аустенита в нитроцементованных зубчатых колесах значительно облегчается приработка пары шестерня—колесо при обкатке перед сборкой деталей заднего моста автомобилей, а также повышается сопротивление заеданию и схватыванию в процессе эксплуатации. В сердцевине зуба цементованных и нитроцементованных колес структура должна состоять из бейнита или малоуглеродистого мартенсита. В структуре сердцевины не допускаются включения феррита. Рекомендуемые нормы твердо-

сти поверхности и сердцевины, глубины слоя и концентрации углерода и азота в слое приведены в разд. «Требования к колесам, подвергаемым цементации и нитроцементации».

При контроле микроструктуры слоя обязательно проверяют, нет ли дефектов: сетки цементита, избыточных скоплений карбидов, трооститной сетки, образование которой обусловлено внутренним окислением легирующих элементов, а также темной составляющей в нитроцементированном слое и недопустимо высокого количества остаточного аустенита. Причины образования дефектных структур и методы предотвращения их рассмотрены выше.

Необходимо учитывать, что в нитроцементированном слое азот повышает прокаливаемость стали только в том случае, если он находится в твердом растворе. Поэтому если в процессе совместного насыщения углеродом и азотом образуется нитридная или карбонитридная фаза, то вследствие перехода азота в эти фазы или последующего деазотирования прокаливаемость нитроцементированного слоя может быть ниже, чем цементованного. Допустимые пределы отклонений структуры цементованного слоя устанавливают в соответствии с принятыми на заводах шкалами балльности, которые разрабатывают применительно к конкретным условиям производства и назначению изделий. Учитывая высокие требования, предъявляемые к зубчатым колесам, на заводах внедрена система жесткого и комплексного контроля качества изделий и параметров технологического процесса. В качестве иллюстрации в табл. 20.11 приведены данные о периодичности и методах текущего контроля параметров автомобильных зубчатых колес.

20.11. Методы и периодичность текущего контроля основных параметров зубчатых колес и параметров технологического процесса после химико-термической обработки

Параметр, подлежащий контролю	Метод контроля	Периодичность контроля
Толщина слоя общая	Измерение на контрольных образцах	Через 4 ч
Эффективная толщина слоя	Косвенный — измерение твердости поверхности в одной точке при двух нагрузках	Через 2 ч
Твердость поверхности при измерении экспрессным методом	С помощью напильника, тарированного на твердость HRC _{59—63}	Через 1 ч
Твердость поверхности после закалки и отпуска	С помощью прибора Роквелла	Через 2 ч
Твердость сердцевины зуба после закалки и отпуска	То же	Через 4 ч
Микроструктура слоя и сердцевины зуба	С помощью металлографического микроскопа	Не менее одного раза в смену
Параметры технологического процесса (температура, состав атмосферы, длительность насыщения)	С помощью контрольных приборов, газоанализаторов	Не менее одного раза в смену
Деформация зубчатых колес после химико-термической обработки (для наиболее ответственных изделий)	С помощью контрольно-измерительных приборов	Через 2—4 ч

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавлев В. Н., Николаева О. И. Машиностроительные стали. М.: Машиностроение, 1981. 391 с.
2. Кальнер В. Д. Цементация и нитроцементация стали. М.: Машиностроение. 1973. 40 с.
3. Козловский И. С., Оловинишников В. А., Зинченко В. М. Критерии оценки и основы выбора цементуемых и нитроцементуемых сталей//Металловедение и термическая обработка металлов 1982, № 2. С. 3—7.
4. Козловский И. С. Химико-термическая обработка шестерен. М.: Машиностроение, 1970. 232 с.
5. Коровин А. И. Газопламенная поверхностная закалка//Труды ВНИИавтоген. Вып. 1. М.: Машгиз, 1960. 112 с.
6. Лахтин Ю. М., Арзамасов Б. Н. Химико-термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1985. 256 с.
7. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1980. 493 с.
8. Производство зубчатых колес/С. Н. Калашников, Г. И. Коган, И. С. Козловский и др. Справочник. Под ред. Б. А. Тайца. М.: Машиностроение, 1975. 728 с.
9. Сильвестров Б. Н. Справочник молодого зуборезчика. М.: Высшая школа, 1981. 198 с.
10. Справочник технолога-машиностроителя/В. Б. Борисов, Е. И. Борисов, В. Н. Васильев и др.; Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. Т. 1. 655 с.
11. Сыроежкин А. А., Калашников С. Н. Автоматизация и механизация производства зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1970. 247 с.
12. Термическая обработка в машиностроении/А. В. Адурнарчук, А. А. Астафьев, Ю. А. Башнин и др. Справочник; Под редакцией Ю. М. Лахтина и А. Г. Рахштадта. М.: Машиностроение, 1980. 783 с.
13. Шепеляковский К. З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве. М.: Машиностроение, 1976. 287 с.
14. Шубин Р. П., Приходько В. С. Технология и оборудование термического цеха. М.: Машиностроение, 1971. 280 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

П1. Значения модулей зубчатых колес в различных системах

<i>m</i> , мм	<i>DP</i> , "	<i>CP</i> , "	<i>m</i> , мм	<i>DP</i> , "	<i>CP</i> , "	<i>m</i> , мм	<i>DP</i> , "	<i>CP</i> , "
0,3*	—	—	2,25	—	—	9,601	—	1 ⁵ / ₁₆
0,35	—	—	2,309	11	—	10*	—	—
0,4*	—	—	2,5*	—	—	10,106	—	1 ¹ / ₄
0,45	—	—	2,527	—	5/6	10,16	2,5	—
0,5*	—	—	2,54	10	—	10,612	—	1 ⁵ / ₁₆
0,505	—	3/80	2,75	—	—	11	—	—
0,529	48	—	2,822	9	—	11,117	—	1 ⁵ / ₈
0,55	—	—	3*	—	—	11,289	2,25	—
0,6*	—	—	3,032	—	3/8	11,622	—	1 ⁷ / ₁₆
0,635	40	—	3,175	8	—	12*	—	—
0,7	—	—	(3,25)	—	—	12,128	—	1 ¹ / ₂
0,706	36	—	3,5	—	—	12,7	2	—
0,794	32	—	(3,75)	—	—	13,138	—	1 ⁵ / ₈
0,8*	—	—	4*	—	—	14	—	—
0,847	30	—	4,043	—	1/2	14,149	—	1 ³ / ₄
0,9	—	—	4,233	6	—	14,514	1,75	—
0,907	28	—	(4,25)	—	—	15,16	—	1 ⁷ / ₈
0,977	26	—	4,5	—	—	16*	—	—
1*	—	—	4,548	—	9/16	16,17	—	2
1,011	—	1/8	5*	—	—	16,933	1,5	—
1,016	25	—	5,053	—	5/8	18	—	—
1,058	24	—	5,08	5	—	20*	—	—
1,125	—	—	5,5	—	—	20,32	1,25	—
1,155	22	—	5,559	—	11/16	22	—	—
1,25*	—	—	6*	—	—	24,255	—	3
1,270	20	—	6,064	—	3/4	25*	—	—
1,337	19	—	6,35	4	—	25,4	1	—
1,375	—	—	(6,5)	—	—	28	—	—
1,411	18	—	6,569	—	13/16	32*	—	—
1,494	17	—	7	—	—	33,867	0,75	—
1,5*	—	—	7,074	—	7/8	36	—	—
1,516	—	3/16	7,257	3,5	—	40*	—	—
1,588	16	—	7,58	—	15/16	45	—	—
1,693	15	—	8*	—	—	50*	—	—
1,75	—	—	8,085	—	1	50,8	0,5	—
1,814	14	—	8,467	3	—	55	—	—
1,954	13	—	8,59	—	1 ¹ / ₁₆	60*	—	—
2*	—	—	9	—	—	70	—	—
2,021	—	1/4	9,096	—	1 ¹ / ₈	80*	—	—
2,117	12	—	9,236	2,75	—	90	—	—
						100*	—	—

Примечания: 1. Обозначения: *m* — модуль в метрической системе; *DP* — питчевая система; *CP* — система окружного шага в дюймовом измерении; знаком * отмечены модули, входящие в 1-й ряд по ГОСТ 9563—60, полужирным — модули, входящие во 2-й ряд по ГОСТ 9563—60, светлым шрифтом — модули, соответствующие питчевой системе.

2. Переходные формулы: $m = 25,4/(DP) = 8,09CP$; $CP = m/8,09 = 3,14/(DP)$; $DP = 25,4/m = 3,1416/CP$.

П.2. Ряды модулей m по ГОСТ 9563--60 и соответствующие им шаги P и шаги зацепления P_b при угле исходного контура $\alpha=20^\circ$

m , мм, для ряда		P , мм	P_b , мм	m , мм, для ряда		P , мм	P_b , мм	m , мм для ряда		P , мм	P_b , мм
1-го	2-го			1-го	2-го			1-го	2-го		
0,05	—	0,157	0,148	0,6	—	1,885	1,771	8	—	25,133	23,617
—	0,055	0,173	0,162	—	0,7	2,199	2,067	—	9	28,274	26,569
0,06	—	0,188	0,177	0,8	—	2,513	2,362	10	—	31,416	29,521
—	0,07	0,220	0,207	—	0,9	2,827	2,657	—	11	34,557	32,473
0,08	—	0,251	0,236	1	—	3,142	2,952	12	—	37,699	35,425
—	0,09	0,283	0,266	—	1,125	3,534	3,321	—	14	43,982	41,330
0,1	—	0,314	0,295	1,25	—	3,927	3,690	16	—	50,265	47,234
—	0,11	0,346	0,325	—	1,375	4,319	4,059	—	18	56,549	53,139
0,12	—	0,377	0,354	1,5	—	4,712	4,428	20	—	62,832	59,043
—	0,14	0,440	0,413	—	1,75	5,498	5,166	—	22	69,115	64,947
0,15	—	0,471	0,443	2	—	6,283	5,904	25	—	78,540	73,804
—	0,18	0,565	0,531	—	2,25	7,069	6,643	—	28	87,965	82,660
0,2	—	0,628	0,590	2,5	—	7,854	7,380	32	—	100,530	94,468
—	0,22	0,691	0,649	—	2,75	8,639	8,118	—	36	113,098	106,277
0,25	—	0,785	0,738	3	—	9,425	8,856	40	—	125,664	118,086
—	0,28	0,880	0,827	—	3,5	10,996	10,333	—	45	141,371	132,846
0,3	—	0,943	0,886	4	—	12,566	11,808	50	—	157,079	147,607
—	0,35	1,100	1,033	—	4,5	14,137	13,285	—	55	172,787	162,368
0,4	—	1,257	1,181	5	—	15,708	14,761	60	—	188,496	177,129
—	0,45	1,414	1,328	—	5,5	17,279	16,237	—	70	219,911	206,650
0,5	—	1,571	1,476	6	—	18,850	17,713	80	—	251,328	236,172
—	0,55	1,728	1,624	—	7	21,991	20,665	—	90	282,743	265,693
—	—	—	—	—	—	—	—	100	—	314,160	295,213

Примечания: 1. При назначении модулей первый ряд следует предпочитать второму.

2. Кроме модулей, указанных в таблице, допускается применение модулей 3,25, 3,75 и 4,25 для автомобильной промышленности и модуля 6,5 для тракторной промышленности.

П.3. Значения длины общей нормали для прямоугольных колес при $m=1$ мм, $\alpha=20^\circ$ и $x=0$

z	z_n^*	W_1 , мм	z_n^*	W_1 , мм	z_n^*	W_1 , мм	z	z_n^*	W_1 , мм	z_n^*	W_1 , мм	z_n^*	W_1 , мм
8	1	1,58811	2	4,54024	—	—	23	2	4,75031	3	7,70244	4	10,65457
9	1	1,60211	2	4,55424	—	—	24	2	4,76432	3	7,71645	4	10,66858
10	1	1,61612	2	4,56825	—	—	25	2	4,77832	3	7,73045	4	10,68258
11	1	1,63012	2	4,58225	—	—	26	2	4,79233	3	7,74446	4	10,69659
12	1	1,64413	2	4,59626	3	7,54839	27	2	4,80633	3	7,75846	4	10,71059
13	1	1,65813	2	4,61026	3	7,56239	28	3	7,77247	4	10,72460	5	13,67673
14	1	1,67214	2	4,62427	3	7,57640	29	3	7,78647	4	10,73860	5	13,69074
15	1	1,68614	2	4,63827	3	7,59040	30	3	7,80048	4	10,75261	5	13,70474
16	1	1,70015	2	4,65228	3	7,60441	31	3	7,81448	4	10,76661	5	13,71874
17	1	1,71415	2	4,66628	3	7,61841	32	3	7,82849	4	10,78062	5	13,73275
18	1	1,72816	2	4,68029	3	7,63242	33	3	7,84249	4	10,79462	5	13,74675
19	2	4,69429	3	7,64642	4	10,59855	34	3	7,85650	4	10,80863	5	13,76076
20	2	4,70830	3	7,66043	4	10,61256	35	3	7,87051	4	10,82264	5	13,77477
21	2	4,72230	3	7,67443	4	10,62656	36	3	7,88451	4	10,83664	5	13,78877
22	2	4,73631	3	7,68844	4	10,64057	37	4	10,85065	5	13,80278	6	16,75491

Продолжение табл. П.3

z	z_n^*	W_1 , мм	z_n^*	W_1 , мм	z_n^*	W_1 , мм	z	z_n^*	W_1 , мм	z_n^*	W_1 , мм	z_n^*	W_1 , мм
38	4	10,86465	5	13,81678	6	16,76892	63	6	17,11904	7	20,07117	8	23,02330
39	4	10,87866	5	13,83079	6	16,78292	64	7	20,08517	8	23,03730	9	25,98943
40	4	10,89266	5	13,84479	6	16,79692	65	7	20,09918	8	23,05131	9	26,00344
41	4	10,90667	5	13,85880	6	16,81093	66	7	20,11318	8	23,06531	9	26,01744
42	4	10,92067	5	13,87280	6	16,82493	67	7	20,12719	8	23,07932	9	26,03145
43	4	10,93468	5	13,88681	6	16,83894	68	7	20,14120	8	23,09333	9	26,04546
44	4	10,94868	5	13,90081	6	16,85294	69	7	20,15520	8	23,10733	9	26,05946
45	4	10,96269	5	13,91482	6	16,86695	70	7	20,16921	8	23,12134	9	26,07347
46	5	13,92882	6	16,88095	7	19,83308	71	7	20,18321	8	23,13534	9	26,08747
47	5	13,94283	6	16,89496	7	19,84709	72	7	20,19722	8	23,14935	9	26,10148
48	5	13,95683	6	16,90896	7	19,86109	73	8	23,16335	9	26,11548	10	29,06761
49	5	13,97084	6	16,92297	7	19,87510	74	8	23,17736	9	26,12949	10	29,08162
50	5	13,98484	6	16,93697	7	19,88910	75	8	23,19136	9	26,14349	10	29,09562
51	5	13,99885	6	16,95098	7	19,90311	76	8	23,20537	9	26,15750	10	29,10963
52	5	14,01285	6	16,96498	7	19,91711	77	8	23,21937	9	26,17150	10	29,12363
53	5	14,02686	6	16,97899	7	19,93112	78	8	23,23338	9	26,18551	10	29,13764
54	5	14,04086	6	16,99299	7	19,94512	79	8	23,24738	9	26,19951	10	29,15164
55	6	17,00700	7	19,95913	8	22,91126	80	8	23,26139	9	26,21352	10	29,16565
56	6	17,02100	7	19,97313	8	22,92527	81	8	23,27539	9	26,22752	10	29,17965
57	6	17,03501	7	19,98713	8	22,93927	82	9	26,24153	10	29,19366	11	32,14579
58	6	17,04901	7	20,00114	8	22,95327	83	9	26,25553	10	29,20766	11	32,15979
59	6	17,06302	7	20,01515	8	22,96728	84	9	26,26954	10	29,22167	11	32,17380
60	6	17,07702	7	20,02915	8	22,98128	85	9	26,28354	10	29,23567	11	32,18780
61	6	17,09103	7	20,04316	8	22,99529							
62	6	17,10503	7	20,05716	8	23,00929							

* Число зубьев, охватываемых при измерении.

Примечания: 1. Предпочтительны к применению значения z_n и W_1 , помещенные в среднем столбце.

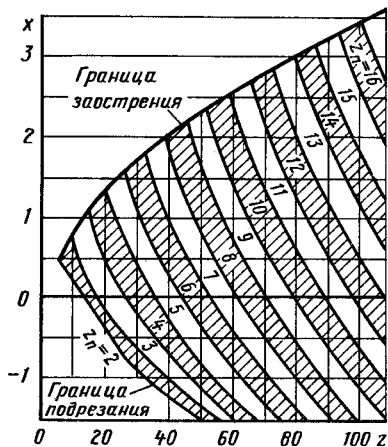
2. Длина общей нормали для колес с $m \neq 1$ мм определяется умножением W_1 на модуль $W = W_1 m$; для корригированных колес длина общей нормали должна быть $W + 2xm \sin \alpha = W + 0,684xm$.

П.4. График для определения числа зубьев, охватываемых при контроле длины общей нормали прямозубых корригированных колес

z — число зубьев прямозубого колеса;

x — коэффициент коррекции;

z_n — число зубьев, охватываемых при измерении длины общей нормали.



П5. Данные для определения длины общей нормали косозубых колес при $\alpha=20^\circ$ А. Определение углового коэффициента k_β

$\beta, ^\circ$	k_β	Разность	$\beta, ^\circ$	k_β	Разность	$\beta, ^\circ$	k_β	Разность
5	1,0110	48	7	1,0216	68	9	1,0361	86
6	1,0158	58	8	1,0284	77	10	1,0447	97
11	1,0544	107	21	1,2161	240	31	1,5479	441
12	1,0651	118	22	1,2401	257	32	1,5951	472
13	1,0769	130	23	1,2658	275	33	1,6456	505
14	1,0899	141	24	1,2933	295	34	1,6997	541
15	1,1040	153	25	1,3228	315	35	1,7577	580
16	1,1193	166	26	1,3543	337	36	1,8200	623
17	1,1359	180	27	1,3880	360	37	1,8868	668
18	1,1539	193	28	1,4240	386	38	1,9586	718
19	1,1732	206	29	1,4626	412	39	2,0356	770
20	1,1938	223	30	1,5038		40	2,1184	828

Б. Определение десятичных долей длины общей нормали, приходящихся на дробные части условного числа зубьев

z_y	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0	1	3	4	6	7	8	10	11	13
0,1	14	15	17	18	20	21	22	24	25	27
0,2	28	29	31	32	34	35	36	38	39	41
0,3	42	43	45	46	48	49	51	52	53	55
0,4	56	57	59	60	61	63	64	66	67	69
0,5	70	71	73	74	76	77	79	80	81	83
0,6	84	85	87	88	82	91	92	94	95	97
0,7	98	99	101	102	104	105	106	108	109	111
0,8	112	114	115	116	118	119	120	122	123	124
0,9	126	127	129	130	132	133	135	136	137	139

Пример. Определить длину общей нормали косозубого колеса с модулем $m_n = 4$ при числе зубьев $z = 23$ с углом наклона зуба $\beta = 20^\circ$.

Определяем условное число зубьев:

$$z_y = zk_\beta = 23 \cdot 1,1938; \quad z_y = 27,4574.$$

Находим длину общей нормали для целого числа зубьев по табл. П3 $W_{27} = 10,71059$ при $z_n = 4$.

Определяем длину общей нормали, приходящуюся на части зуба контролируемого колеса: $W_{0,45} = 0,0063$, $W_{0,0074} = 0,000104$.

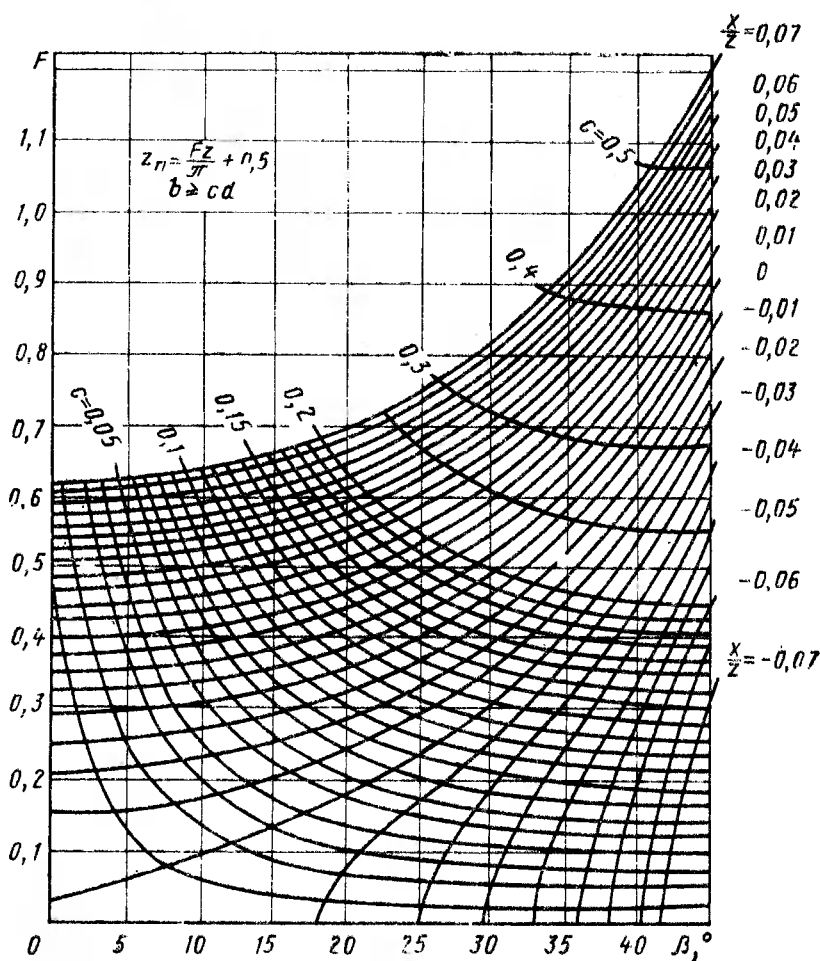
Находим полную длину общей нормали колеса с $z_y = 27,454$ и $m = 1$

$$W_{27} = 10,71059$$

$$W_{0,45} = 0,00630$$

$$\frac{W_{0,0074} = 0,000104}{W_{27,4574} = 10,716994}$$

П. 6. График для нахождения коэффициентов для определения числа зубьев, охватываемых при измерении длины общей нормали косозубых колес и наименьшей ширины венца или полушестерона



z — число зубьев косозубого колеса; x — коэффициент коррекции; β — угол наклона зуба на делительном цилиндре; b — ширина косозубого колеса или полушестерона; d — делительный диаметр; F и c — коэффициенты, определяемые по графику.

Пример. $z = 250$; $x = -0.5$; $x/z = -0.5/250 = 0.002$, $\beta = 20^\circ$, откуда $F = 0.425$ и $c = 0.125$. Число охватываемых при измерении зубьев $z_n = 34$, а ширина колеса должна быть $b \geq 0.125d$.

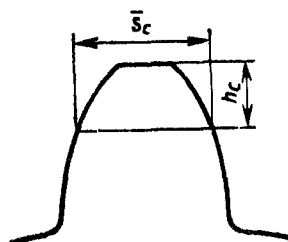
П7. Размеры, мм, зуба по постоянной хорде некорригированных колес:

$$\alpha = 20^\circ \text{ и } x = 0; \bar{s}_c = m \frac{\pi}{2} \cos^2 \alpha; \bar{h}_c = \left(1 - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha\right) m$$

m	\bar{s}_c	\bar{h}_c	m	\bar{s}_c	\bar{h}_c	m	\bar{s}_c	\bar{h}_c	m	\bar{s}_c	\bar{h}_c
1,0	1,387	0,748	3,0	4,161	2,243	5,5	7,629	4,112	12,0	16,645	8,971
1,25	1,734	0,934	(3,25)	4,508	2,430	6,0	8,322	4,485	14,0	19,419	10,466
1,5	2,081	1,121	3,5	4,855	2,617	(6,5)	9,016	4,859	16,0	22,193	11,961
1,75	2,427	1,308	(3,75)	5,201	2,803	7,0	9,709	5,233	18,0	24,967	13,456
2,0	2,774	1,495	4,0	5,548	2,990	8,0	11,096	5,981	20,0	27,741	14,952
2,25	3,121	1,682	(4,25)	5,895	3,177	9,0	12,483	6,728	22,0	30,515	16,447
2,5	3,468	1,869	4,5	6,242	3,364	10,0	13,870	7,476	25,0	34,676	18,689
2,75	3,814	2,056	5,0	6,935	3,738	11,0	15,258	8,223	28,0	38,837	20,932

Примечание. Для корригированных колес внешнего зацепления должны быть приняты: толщина зуба $\bar{s}_c + x m \cdot 0,643$, а высота до постоянной хорды $\bar{h}_c - x m \cdot 0,117$.

П8. Значения длины постоянной хорды и ее расстояния мм, от делительной окружности при $m=1$ мм (для корригированных колес) и $\alpha=20^\circ$



x	\bar{s}_c^*	\bar{h}_c^*	x	\bar{s}_c^*	\bar{h}_c^*	x	\bar{s}_c^*	\bar{h}_c^*
-0,50	1,0657	0,1940	-0,16	1,2842	0,2337	0,18	1,5028	0,2735
-0,49	1,0721	0,1951	-0,15	1,2906	0,2349	0,19	1,5092	0,2747
-0,48	1,0785	0,1963	-0,14	1,2971	0,2361	0,20	1,5156	0,2758
-0,47	1,0850	0,1975	-0,13	1,3035	0,2372	0,21	1,5220	0,2770
-0,46	1,0914	0,1986	-0,12	1,3099	0,2384	0,22	1,5285	0,2782
-0,45	1,0978	0,1998	-0,11	1,3164	0,2396	0,23	1,5349	0,2793
-0,44	1,1042	0,2010	-0,10	1,3228	0,2408	0,24	1,5413	0,2805
-0,43	1,1107	0,2021	-0,09	1,3292	0,2419	0,25	1,5477	0,2817
-0,42	1,1171	0,2033	-0,08	1,3356	0,2431	0,26	1,5542	0,2828
-0,41	1,1235	0,2045	-0,07	1,3421	0,2443	0,27	1,5606	0,2840
-0,40	1,1299	0,2057	-0,06	1,3485	0,2454	0,28	1,5670	0,2852
-0,39	1,1364	0,2068	-0,05	1,3549	0,2466	0,29	1,5735	0,2864
-0,38	1,1428	0,2080	-0,04	1,3614	0,2478	0,30	1,5799	0,2875
-0,37	1,1492	0,2092	-0,03	1,3678	0,2490	0,31	1,5863	0,2887
-0,36	1,1557	0,2103	-0,02	1,3742	0,2501	0,32	1,5927	0,2899
-0,35	1,1621	0,2115	-0,01	1,3806	0,2513	0,33	1,5992	0,2910
-0,34	1,1685	0,2127	-0,00	1,3870	0,2524	0,34	1,6056	0,2922
-0,33	1,1749	0,2138	0,01	1,3935	0,2536	0,35	1,6120	0,2934
-0,32	1,1814	0,2150	0,02	1,3999	0,2548	0,36	1,6185	0,2945
-0,31	1,1878	0,2162	0,03	1,4063	0,2559	0,37	1,6249	0,2957
-0,30	1,1942	0,2174	0,04	1,4128	0,2571	0,38	1,6313	0,2969
-0,29	1,2007	0,2185	0,05	1,4192	0,2583	0,39	1,6377	0,2981
-0,28	1,2071	0,2197	0,06	1,4256	0,2594	0,40	1,6442	0,2992
-0,27	1,2135	0,2209	0,07	1,4320	0,2606	0,41	1,6506	0,3004
-0,26	1,2199	0,2220	0,08	1,4385	0,2618	0,42	1,6570	0,3016
-0,25	1,2264	0,2232	0,09	1,4449	0,2630	0,43	1,6635	0,3027
-0,24	1,2328	0,2244	0,10	1,4513	0,2641	0,44	1,6699	0,3039
-0,23	1,2392	0,2255	0,11	1,4578	0,2653	0,45	1,6763	0,3051
-0,22	1,2457	0,2267	0,12	1,4642	0,2665	0,46	1,6827	0,3062
-0,21	1,2521	0,2279	0,13	1,4706	0,2676	0,47	1,6892	0,3074
-0,20	1,2585	0,2291	0,14	1,4770	0,2688	0,48	1,6956	0,3086
-0,19	1,2649	0,2302	0,15	1,4835	0,2700	0,49	1,7020	0,3098
-0,18	1,2714	0,2314	0,16	1,4899	0,2711	0,50	1,7084	0,3109
-0,17	1,2778	0,2326	0,17	1,4963	0,2723			

Примечание. Толщина зуба по постоянной хорде для $m \neq 1$ мм; $\bar{s}_c = \bar{s}_c^* m$, а расстояние до постоянной хорды от наружной окружности $\bar{h}_c = \frac{d_a - d}{2} - \bar{h}_c^* m$, где d_a и d — соответственно диаметр вершин зубьев и делительный.

П9. Размер по роликам для колес внутреннего зацепления
с $m=1$ мм, $\alpha=20^\circ$, $x=0$

R_2 — расстояние от центра колеса до центра ролика, мм;

M_1 — расстояние от центра колеса до ближайшей образующей ролика, мм;

M_2 — расстояние между ближайшими образующими двух роликов при четном числе зубьев колеса, мм;

M_3 — то же, при нечетном числе зубьев

Диаметр ролика $d_p=1,5m$

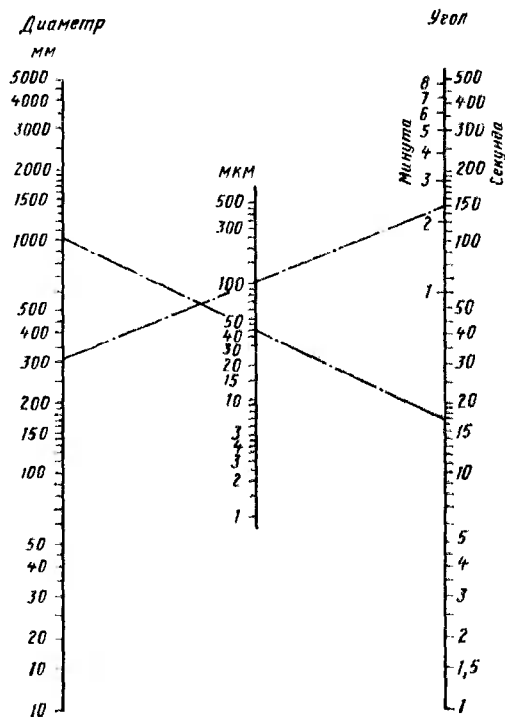
Число зубьев z	R_2	M_1	M_2	M_3	Число зубьев z	R_2	M_1	M_2	M_3
20	9,9645	9,2145	18,4290	—	53	26,4647	25,7147	—	51,4061
21	10,4645	9,7145	—	19,3704	54	26,9647	26,2147	52,4294	—
22	10,9645	10,2145	20,4290	—	55	27,4647	26,7147	—	53,4069
23	11,4646	10,7146	—	21,3758	56	27,9647	27,2147	54,4294	—
24	11,9645	11,2145	22,4290	—	57	28,4648	27,7148	—	55,4080
25	12,4645	11,7145	—	23,3799	58	28,9648	27,2148	56,4296	—
26	12,9645	12,2145	24,4290	—	59	29,4650	28,7150	—	57,4094
27	13,4646	12,7146	—	25,3837	60	29,9647	29,2147	58,4294	—
28	13,9645	13,2145	26,4290	—	61	30,4648	29,7148	—	59,4094
29	14,4646	13,7146	—	27,3866	62	30,9648	30,2148	60,4296	—
30	14,9646	14,2146	28,4292	—	63	31,4648	30,7148	—	61,4100
31	15,4647	14,7147	—	29,3897	64	31,9648	31,2148	62,4296	—
32	15,9647	15,2147	30,4294	—	65	32,4648	31,7148	—	63,4108
33	16,4646	15,7146	—	31,3920	66	32,9648	32,2148	64,4296	—
34	16,9645	16,2145	32,4290	—	67	33,4647	32,7147	—	65,4113
35	17,4646	16,7146	—	33,3939	68	33,9648	33,2148	66,4296	—
36	17,9646	17,2146	34,4292	—	69	34,4648	33,7148	—	67,4117
37	18,4646	17,7146	—	35,3960	70	34,9648	34,2148	68,4296	—
38	18,9646	18,2146	36,4292	—	71	35,4648	34,7148	—	69,4127
39	19,4647	18,7147	—	37,3979	72	35,9648	35,2148	70,4296	—
40	19,9648	19,2148	38,4296	—	73	36,4650	35,7150	—	71,4131
41	20,4648	19,7148	—	39,3996	74	36,9650	36,2150	72,4300	—
42	20,9647	20,2147	40,4294	—	75	37,4649	36,7149	—	73,4133
43	21,4647	20,7147	—	41,4006	76	37,9649	37,2149	74,4298	—
44	21,9646	21,2146	42,4292	—	77	38,4648	37,7148	—	75,4134
45	22,4646	21,7146	—	43,4018	78	38,9647	38,2147	76,4294	—
46	22,9645	22,2145	44,4290	—	79	39,4647	38,7147	—	77,4137
47	23,4645	22,7145	—	45,4027	80	39,9646	39,2146	78,4292	—
48	23,9647	23,2147	46,4294	—	81	40,4647	39,7147	—	79,4139
49	24,4646	23,7146	—	47,4042	82	40,9647	40,2147	80,4294	—
50	24,9647	24,2147	48,4294	—	83	41,4645	40,7145	—	81,4140
51	25,4649	24,7149	—	49,4057	84	41,9645	41,2145	82,4290	—
52	25,9647	25,2147	50,4294	—	85	42,4645	41,7145	—	86,4145

Примечание. Для получения R_2 , M_1 , M_2 , M_3 при $m \neq 1$ мм необходимо табличные данные умножить на m . Например, при $z=30$ и $m=5$ мм $M_2=28,4292 \cdot 5=142,1460$ мм.

П10. Значение угла зацепления α_t в торцевой плоскости при различных углах наклона зуба β по делительному цилиндру и нормальном угле зацепления $\alpha = 20^\circ$

β°	$\alpha_t, ^\circ$	β°	$\alpha_t, ^\circ$	β°	$\alpha_t, ^\circ$	β°	$\alpha_t, ^\circ$
0	20,0000	12	20,4103	24	21,7231	36	24,2226
1	20,0028	13	20,4829	25	21,8802	37	24,5007
2	20,0112	14	20,5617	26	22,0457	38	24,7915
3	20,0252	15	20,6469	27	22,2197	39	25,0957
4	20,0450	16	20,7386	28	22,4025	40	25,4138
5	20,0703	17	20,8368	29	22,5945	41	25,7464
6	20,1014	18	20,9419	30	22,7958	42	26,0942
7	20,1382	19	21,0538	31	23,0070	43	26,4580
8	20,1802	20	21,1728	32	23,2283	44	26,8384
9	20,2292	21	21,2991	33	23,4601	45	27,2363
10	20,2836	22	21,4327	34	23,7028		
11	20,3439	23	21,5740	35	23,9568		

П11. Номограмма для перевода линейных (дуговых) отклонений в угловые



Пример 1. Отклонение 40 мкм при $d = 1000$ мм составляет в угловой мере $16,5''$.

Пример 2. Отклонение $140''$ при $d = 300$ мм составляет в линейной мере 102 мкм.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

- Автоматизация зубообрабатывающего оборудования — Назначение 407
- Автоматические линии — Назначение 411 — Средства транспортирования заготовок и деталей 412—415
- для изготовления заготовок 415, 416
- для изготовления цилиндрических зубчатых колес 416—419
- для нарезания конических колес с круговыми зубьями 419, 420
- Автоматы для холодной прокатки зубьев — Назначение 409 — Принцип работы 409, 410
- зубодолбежные — Магазины-накопители 408 — Принцип работы 406, 407
- зуборезные — Назначение 410 — Принцип работы 410, 411
- зубошеввинговальные 5072 — Назначение 408 — Принцип работы 408, 409

Г

- Гибкие производственные системы (ГПС) — Выбор оптимальной степени гибкости 420—422 — Понятие 420
- фирмы «ЧИМА» 424, 425
- Гибкий производственный модуль (ГПМ) зубофрезерный МА84Ф4 с ЧПУ 423, 424
- токарный фирмы «Питтлер» 421, 422
- Зажимные приспособления для зубообрабатывающих и контрольно-обкатных станков — Контроль 235—238 — Особенности 234 — Требования 234
- кулачковые 240
- мембранные с разжимным центрирующим элементом 238, 239
- универсальные 236
- цапговые беззазорного центрирования 236, 237
- цапговые с коротким конусом 239, 240
- цапговые с разжимными центрирующими элементами 239
- Закалка объемная — Основные режимы 429 — Применение 428
- Закалка поверхностная газоплазменная — Принцип 428 Установки 428
- с индукционным нагревом ТВЧ — Длительность нагрева 430 — Преимущества 430, 431 — Принцип 428 — Режимы для зубчатых колес из стали 40Х 431 — Способы 429, 430
- Зубодолбление цилиндрических колес с внешними зубьями — Выбор режимов 97—99
- Наладка и контроль стоек 100
- Основные технические характеристики долбяков 96
- Применение 91
- Принцип работы стайка с механическими кинематическими связями 91, 92

- Принцип работы станка с ЧПУ 95
- Схема 91, 92
- Технические характеристики станков 93

И

- Изготовление заготовок колес — Выбор метода 16—18 — Типовой технологический маршрут 17
- горячей прокаткой на многопозиционных автоматах 21, 22
- из пластмассы литьем 19—21
- конических с круговыми зубьями горячей штамповкой 27, 28
- конических с круговыми зубьями горячим накатыванием 25, 26
- конических с прямыми зубьями горячей штамповкой 26—28
- литьем в кокиль 18
- литьем по выплавляемым моделям 18—20
- литьем под давлением 18
- поперечно-клиновой прокаткой 21
- точной вырубкой 23, 24
- холодной объемной штамповкой 22, 23
- Изготовление заготовок цилиндрических колес с внешними зубьями — Выбор технологических баз 41—44

К

- Калибрование термически неупрочненных зубьев у цилиндрических колес с внешними зубьями — Методы 116—118
- Применение 115
- Принцип 115—117
- Технические характеристики станков 116
- Колеса — Изготовление заготовок — см. *Изготовление заготовок колес*
- Материалы 16
- Разновидности 10—12
- Колеса гипоидных передач — Погрешности 314
- Средства измерения 337—339
- Схема технологического процесса изготовления 211
- Колеса конические — Виды контроля 213
- Выбор базовых поверхностей 198, 199
- Допустимые отклонения параметра 198
- Контроль бокового зазора 343—345
- Контроль кинематической точности 336, 339—341
- Контроль контакта зубьев 343
- Контроль плавности работы 341—343
- Применение 194
- Прогрессивные методы механической обработки 202—204
- Разновидности 194, 195
- Средства измерения 337—339
- Технические требования к заготовкам перед зубонарезанием 195—197
- Технические требования к заготовкам по-

сле термической обработки 197

— Факторы, влияющие на технологию обработки 199, 201, 202

— Экономические показатели, полученные при использовании заготовок с предварительно формованными зубьями 210

Колеса конические с криволинейными зубьями — Подбор в пары 322, 323

— Притирка зубьев 323—326

— Снятие фасок с острых кромок зубьев заготовок 273—275

— Схема технологического процесса обработки 211, 212

Колеса конические с круговыми зубьями — см. *Колеса конические с криволинейными зубьями*

— Маршруты обработки 202

— Примеры оформления чертежей

— Прогрессивные методы обработки 202

— Типовой технологический маршрут обработки 212

Колеса конические с прямыми зубьями — Зажимные приспособления для обработки и контроля 234—240

— Обработка базовых поверхностей после термической обработки 246—250

— Притирка 259—260

Колеса цилиндрические — Автоматизация средств измерения 188—190

— Виды контроля 159, 160

— Допуски 154, 155, 159

— Измерение бокового зазора 181

— Измерение винтовой линии 180, 181

— Измерение кинематической погрешности 162, 169

— Измерение колебания длины общей нормали 169, 170

— Измерение колебания измерительного межосевого расстояния при комплексном двухпрофильном зацеплении 172, 173

— Измерение контактной линии 180

— Измерение местной кинематической погрешности шага 169

— Измерение осевого шага 179, 180

— Измерение отклонений измерительного межосевого расстояния 184, 185

— Измерение отклонения шагов 173—175

— Измерение погрешности обката 170, 171

— Измерение профиля 176, 177

— Измерение радиального биения зубчатого венца 171, 172

— Измерение размеров зуба с помощью роликов 185, 186

— Измерение смещения исходного контура 181—184

— Измерение средней длины общей нормали 185

— Измерение суммарного пятна контакта 179

— Измерение толщины зуба 185, 186

— Измерение шага зацепления 175, 176

— Измерение циклической погрешности 173

— Комплексы контроля 156, 157, 160, 161

— Механизация средств измерения 188

— Обозначение геометрических параметров 29—31

— Обозначение параметров инструмента 32

— Объекты и периодичность профилактического контроля 163

— Средства измерения 165—168

— Степени точности 159

— Типовой технологический маршрут обработки горячей штамповкой и горячим накатыванием 208—210

Колеса цилиндрические с внешними зубьями — Выбор метода обработки зубьев 50—54, 58—60

— Методы восстановления 63—65

— Методы упрочнения 62, 63

— Модификация поверхности зубьев 51, 52

— Отделка базовых поверхностей после термической обработки 59, 61, 62

— Правила выполнения чертежей 32, 33

— Технологические характеристики операций изготовления 35, 36

— Факторы, определяющие технологию изготовления 35, 36

Колеса цилиндрические с внешними зубьями венцовые — Изготовление 49

— насадные — Изготовление 46—48

— Новикова ДЛЗ — Инструмент для изготовления — Наладка зубофрезерного станка для обработки 68 — Обработка зубьев 65, 67 — Технологическая характеристика 65

— прецизионные — Особенности изготовления 70, 71 — Понятие 70

— типа валов-шестерен — Изготовление 45, 46

Колеса цилиндрические с внутренними зубьями — Методы изготовления 146, 147

— Обработка зубьев 148—152

— Разновидности 144

— Технологические базы при изготовлении 145, 147

Колеса цилиндрические с шевронными зубьями — Обработка зубьев 142—144

— Разновидности 141, 142

— Технологические процессы обработки 142

Круги шлифовальные — Характеристики 119

Л

Линии автоматические — см. *Автоматические линии*

Н

Нарезание глобидных колес — Особенности технологии 373—375 — Проверка пятна контакта 378—379

— глобидными фрезами — Выбор фрезы 377, 378 — Применение 377

— фрезами-летучками — Применение 375—

Принцип 375, 376 — Схема четырехрезцовой фрезы-летучки 375, 376 — Типовая конструкция четырехрезцовой фрезы-летучки 376, 377

Нарезание конических колес с криволинейными зубьями — Выбор режимов резания по таблицам 294—296

— Выбор режимов резания расчетным методом 295, 297

— Карта наладки стайков 5A27C2, 5A27C3 и 16 фирмы «Глисон» 306

— Наладочные параметры станков 307, 308

— Принцип 260, 261

— Расчет параметров инструмента и данных для наладки станков 298—305

— Сборные чистовые зуборезные головки 282—284

— Способы исправления пятна контакта 308—313

— Станки 276, 281

— Технологические способы 261—265

— Цельные зуборезные головки 281—283

Нарезание конических колес с криволинейными зубьями комбинированным методом 271, 272

— методами фирмы «Клингельберг» 318—322

— методами фирмы «Эрликон» 313—318

— твердосплавными зуборезными головками 272, 273

— черновое методом врезания 265, 266

— черновое методом врезания и последующей обкатки 267, 268

— черновое методом обкатки 266, 267

— чистовое методом врезания 271

— чистовое методом копирования 268—270

Нарезание конических колес с прямыми зубьями — Основные методы 213, 214 —

Разновидности станков 230, 232 — Технические характеристики станков 231, 233

— двумя дисковыми фрезами 219, 220

— двумя резцами на зубострогальных станках 216—220

— дисковыми модульными фрезами на станках серии ЕЗ 214, 215

— дисковыми модульными фрезами на станках с ЧПУ 215

— круговым протягиванием 223—228

— по шаблону 228, 229

— твердосплавными дисковыми модульными фрезами сборной конструкции 215, 216

Нарезание цилиндрических колес с внешними зубьями — Рекомендации по выбору инструмента и оборудования 50, 51 — Способы установки заготовок на станках 54—57 — Технологические характеристики операций 37

— абразивным глобоидным червяком 141

— дисковыми пальцевыми фрезами — Выбор режимов обработки 103, 104 — Применение 101 — Станки 101

— долблением многорезцовыми головками 106

— круговым протягиванием 105

— однозубыми обкаточными резцами 105

— охватывающим хонем 140, 141

— плоским эльборовым шлифовальным кругом 141

— профильным эльборовым шлифовальным кругом 139, 140

— с помощью специального суппорта на зубофрезерном станке 105

— твердосплавной головкой 140

Нарезание цилиндрических колес с внутренними зубьями — Методы 146, 147 —

Технологические базы 145—148 — Установки и закрепление заготовок 148

— долблением 148, 149, 151

— многорезцовыми головками 152

— модульными фрезами 149

— обкаточным инструментом 149—151

— протягиванием 151

— шевингованием 151

— шлифованием 151, 152

Нарезание чистовое цилиндрических колес с внешними зубьями зубодолблением 135

— сборной двухрезцовой обкаточной головкой 134

— фрезами 132—134

Нитроцементация — Автоматизированные безмуфельные агрегаты 437—439

— Выбор режимов 439, 440

— Способы обеспечения высокого качества деталей 440—444

— Требования к деталям 432, 435

О

Обработка термическая — Контроль качества колес, подвергнутых термообработке 447, 448 — Назначение 425 — Оборудование 444, 445 — Общая характеристика процессов 425—427 — Очистка изделий от окислы 447 — Способы уменьшения деформаций и увеличения прочности изделий 446, 447

— окончательная — см. *Закалка объемная; Закалка поверхностная; Обработка химико-термическая*

— предварительная заготовок для улучшения обрабатываемости резанием 427, 428

Обработка химико-термическая — Основные характеристики процессов 433, 434

— Применение 432

— Разновидности — см. *Нитроцементация; Цементация газовая в печах*

— Сущность 432

П

Передачи — Методы снижения уровня шума 138

— Назначение 9

— Подбор комплектов колес 138, 139

— Разновидности 9

Передачи винтовые — Особенности 11, 12

— Применение 12

Передачи гипоидные — Допуски 385

— Новое направление в повышении эффективности обработки зубьев 213

— Особенности 11—13

Передачи глобоидные — Допуски 401 —

Измерение параметров по нормам бокового зазора 405 — Измерение параметров по нормам кинематической точности 40 — Измерение параметров по нормам контакта 404 — Измерение параметров по нормам плавности работы 404 — Комплексы контроля 402, 403

— прецизионные — Нарезание витков червяка 383, 384 — Нарезание зубьев колеса 383—385 — Особенности 383—385 — Применение 383

Передачи конические — Алфавитный указатель буквенных обозначений геометрических параметров 192, 193

— Допуски 335

— Новое направление в повышении эффективности обработки зубьев 213

— Понятие 10

— Разновидности 11

Передачи смешанно-конические — Понятие 11

Передачи спиронидные — Особенности 12, 13

Передачи цилиндрические — Комплексы контроля 156—159 — Нормирование точности 154—156 — Обозначение отклонений и допусков 31 — Разновидности 31

— Новикова ДЛЗ — Классы точности 187 — Контроль 187, 188 — Нормы точности 187 — Особенности 186

Передачи червячные — Разновидности 13

Передачи червячные цилиндрические — Допуски 386 — Измерение параметров по нормам бокового зазора 399—401 — Измерение параметров по нормам кинематической точности 387, 390, 395 — Измерение параметров по нормам контакта 398, 399 — Измерение параметров по нормам плавности работы 395—398 — Комплексы контроля 388 — Разновидности червяков 386 — Средства измерения 391—395

— делительные — Применение 379 — Способы достижения высокой точности 380 — Технологический процесс изготовления колеса 381, 382 — Технологический процесс изготовления червяка 380, 381

Приспособления зажимные — см. *Зажимные приспособления*

Промышленные роботы (ПР) 424

Р

Рейки зубчатые — Обработка зубьев 153, 154

— Технологическая характеристика 152

— Технологический процесс изготовления 152, 153

Роботы промышленные — см. *Промышленные роботы*

С

Системы гибкие производственные — см.

Гибкие производственные системы (ГПС)

Средства транспортирования колес 412—414

Станок зубофрезерный с ЧПУ 421, 422

Строгание зубьев у цилиндрических колес с внешними зубьями — Методы 89

— Разновидности инструмента 90

— Разновидности станков 89

— Режимы обработки 90, 91

— Технические характеристики зарубежных станков 89

Ф

Фрезерование зубьев у цилиндрических колес с внешними зубьями червячными фрезами — Выбор режимов обработки 81—87

— Заточка фрез 87, 88

— Значения осевой передвижки фрезы при черновой и полустойковой обработке по сплошному металлу 82

— Классификация станков по группам 83

— Основные размеры фрез 79

— Преимущества 71

— Разновидности станков 72—74, 78

— Разновидности фрез 76—78

— Технические характеристики станков 74—76

Х

Хонингование зубьев у цилиндрических колес с внешними зубьями — Выбор режимов обработки 136, 137

— Преимущества 135

— Применение 135

— Разновидности инструментов 136

— Смазочно-охлаждающая жидкость 137

— Принцип 135

Ц

Цементация газовая в печах — Требования к деталям 432, 435

— непрерывного действия 436, 437, 439

— шахтных 435, 436

Ч

Червяки передачи глобоидной — Модифицирование витков 368—371 — Особенности 14

— Принцип нарезания боковой поверхности витков 364, 365, 368 — Разновидности 13—16 — Технические характеристики станков для нарезания 366, 367 — Чистовое нарезание витков 371—373

— червячной цилиндрической — Особенности 13, 14 — Разновидности 14

Ш

Шевингование термически неупрочненных зубьев у цилиндрических колес с внешними зубьями — Выбор инструмента 109, 110

Методы 110—113

- Наладка станков 115
- Ориентировочная скорость шеверов 114
- Преимущества 107
- Применение 107
- Принцип 106, 107
- Технические характеристики станков 108, 109
- Шлифование термически обработанных зубьев у конических колес с зубьями криволинейными 327—344**
 - прямыми 255—258
- Шлифование термически обработанных зубьев у цилиндрических колес с внешними зубьями 140** — Выбор шлифовальных кругов 120
 - Методы 120—128
 - Наладка 130, 132
 - Особенности обработки переходных поверхностей и поверхностей впадин зубьев под зубошлифование 128—130
 - Параметры шлифовальных кругов 120
 - Применение 119
 - Режимы обработки коническим шлифовальным кругом 124

- Режимы обработки плоским шлифовальным кругом 128
- Режимы обработки тарельчатым шлифовальным кругом 126
- Режимы обработки червячным шлифовальным кругом 122
- Рекомендуемые припуски 53
- Технические характеристики станков с коническим шлифовальным кругом 125
- Технические характеристики станков с профильным шлифовальным кругом 122, 124
- Технические характеристики станков с тарельчатым шлифовальным кругом 125, 126
- Технические характеристики станков с червячным шлифовальным кругом 121
- Формулы для определения основного времени 120
- Шлифование термически обработанных зубьев у цилиндрических колес с внутренними зубьями 140**

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Калашников Сергей Никифорович, Калашников Александр Сергеевич,
Коган Григорий Ильич и др.**

ПРОИЗВОДСТВО ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Редактор *И. С. Форстен*

Переплет художника *Л. М. Чернышева*

Художественный редактор *А. С. Вершинкин*

Технический редактор *Т. И. Андреева*

Корректоры *И. М. Борейша, О. Ю. Садыкова*

ИБ № 5086

Сдано в набор 04.05.89. Подписано в печать 18.12.89. Т-17884.

Формат 70×100¹/₁₆. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 37,70. Усл. кр.-отт. 37,86. Уч.-изд. л. 88,57. Тираж 22 000 экз. Заказ 2181.

Цена 2 р. 40 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машинностроение»,
107076, Москва, Стромывнский пер., 4

Московская типография № 4 Госкомпечати СССР
129041, Москва, Б. Переяславская, 46.