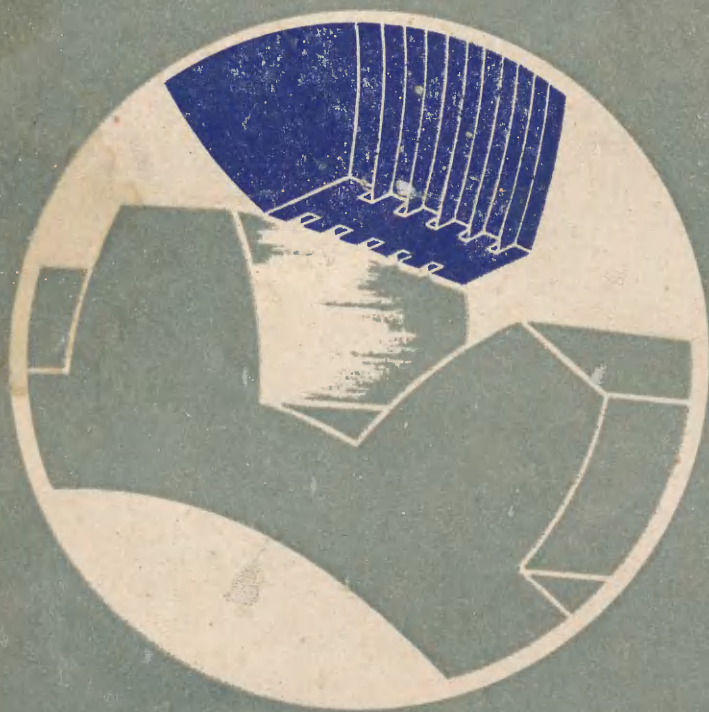


С. Н. Калашников, А. С. Калашников

Шевингование зубчатых колес



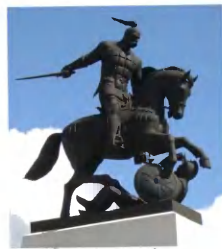
ПРОФЕССИОНАЛЬНО-
ТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ



С. Н. Қалашников, А. С. Қалашников

Шевингование зубчатых колес

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-техническому образованию
в качестве учебника для средних
профессионально-технических училищ



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1985

ББК 34.63
К17
УДК 621.990

Рецензенты:
инж. А. И. Демин (ЭНИМС), канд. техн. наук
И. А. Копф (НПО ЦНИИТМаш)

Калашников С. Н., Калашников А. С.
К17 Шевингование зубчатых колес: Учебник для
сред. проф.-техн. училищ. — М.: Высш. шк., 1985. —
224 с., ил. — (Профтехобразование).

25 к.

Приведены общие сведения о зубчатых передачах и области их применения. Рассмотрены современные методы нарезания зубчатых колес. Подробно рассмотрен процесс шевингования цилиндрических зубчатых колес, прогрессивные конструкции режущего инструмента, зажимные приспособления, применяемые при шевинговании. Изложены вопросы наладки, механизации и автоматизации.

Учебник может быть использован при профессиональном обучении рабочих на производстве.

К $\frac{2704040000-174}{052(01)-85}$ 49—85

6П4.63
ББК 34.63

© Издательство «Высшая школа», 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года предусматривают повышение качества и эффективности производства в машиностроении. Важное место в современном машиностроении занимают зубчатые передачи, являющиеся ответственными деталями в большинстве механизмов и машин и оказывающие непосредственное влияние на их качество, надежность и долговечность.

Изготовление зубчатых колес является сложным процессом, включающим в себя ряд технологических операций. Наиболее важными из этих операций являются отделочные, в том числе шевингование зубьев, поскольку они определяют качество зубчатого колеса.

Шевингование — наиболее распространенный (особенно в массовом производстве) метод окончательной обработки зубьев колес, предшествующий термической обработке. Высокое качество зубчатых колес, получаемое в процессе шевингования, зависит от качества наладки станка, правильного ведения процесса обработки, а также от таких факторов, как оптимальные параметры обрабатываемого колеса, качество базовых поверхностей заготовки, геометрическая точность зубьев перед шевингованием, величина припуска под шевингование и др.

Эффективность работы шевинговальщика в значительной степени определяется знанием им основ процесса шевингования, прогрессивных методов его осуществления, путей повышения производительности труда и снижения трудоемкости изготовления.

Чтобы хорошо разбираться в зуборезном деле и умело управлять процессами зубообработки, зуборезчик обязан постоянно повышать свои технические знания и изучать передовой производственный опыт. Это особенно необходимо учащимся профессионально-технических училищ для того, чтобы стать квалифицированными рабочи-

ми и внести свой достойный вклад в развитие народного хозяйства нашей страны.

Рабочий-зуборезчик современного производства должен знать теорию зацепления зубчатых колес; уметь рассчитать их геометрические параметры, а также наладочные параметры зубообрабатывающих станков; иметь представление о современных методах зубообработки; в соответствии с техническими требованиями чертежа зубчатого колеса правильно выбрать станок, режущий инструмент, технологическую оснастку, режимы резания, методы и средства контроля; в совершенстве владеть наладкой зубошевинговальных станков; быстро определять причины возникновения брака и других погрешностей в зубчатом зацеплении, знать способы их устранения.

В книге изложены общие сведения о зубчатых передачах и резании металлов, приведена современная малоотходная технология получения заготовок, изложены способы точной обработки базовых поверхностей заготовки, а также прогрессивные технологические процессы изготовления зубчатых колес.

Большое внимание уделено процессу шевингования. Подробно рассмотрены методы шевингования, станки и их наладка, выбор режимов резания, причины возникновения неполадок и способы их устранения. Приведены данные о механизации и автоматизации процессов зубообработки. Контроль качества рассматривается как неотъемлемая часть производственного процесса на всех этапах изготовления зубчатого колеса. Обобщен передовой производственный опыт, применение которого позволит специалистам, работающим в области зубообработки, изготавливать зубчатые колеса экономично и высокого качества.

Принятые в книге обозначения приведены в приложении.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Большинство современных сложнейших машин и механизмов включают в себя зубчатые колеса. Это автомобили, самолеты, станки, редукторы и многие другие конструкции, где зубчатые передачи играют основную роль.

Использование зубчатых колес позволило в короткие сроки создать удобные и крайне необходимые человеку машины и механизмы. Однако до настоящего времени остается неизвестным, кем и когда было изобретено зубчатое колесо, хотя начало его применения относится к глубокой древности. До XVIII в. зубчатые колеса изготовлялись грубой формы, в качестве зубьев использовались деревянные пальцы, закрепленные на периферии деревянного обода (рис. 1). Естественно, что форма профиля таких зубьев была неправильной, а их расположение по окружности неточным.

Наука о зубчатых колесах, математическое и графическое обоснование профилей зубьев были созданы в конце XVII — начале XVIII в. одновременно с развитием геометрии, механики и кинематики.

В 1733 г. французом М. Камусом был предложен эписциклоидный профиль зубьев. Эписциклоидные зубчатые колеса применялись вплоть до XX в.

Эвольвентная форма зуба была предложена в 1760—1765 гг. профессором Петербургской академии наук Леонардом Эйлером, создавшим теоретические основы эвольвентного зацепления. В течение более чем ста лет эти две формы зубчатых колес соперничали между собой. Однако расширение области применения и связанный с этим рост производства зубчатых передач обусловили победу в этом соревновании зубчатым колесам с эвольвентным профилем зуба, что объясняется прежде всего меньшей трудоемкостью и большей производительностью их изготовления. Так, для получения одного и того же комплекта зубчатых колес требуется 24 режущих инструмента при эписциклоидном профиле зуба и только восемь —

при эвольвентном. В настоящее время почти все цилиндрические колеса имеют эвольвентный профиль зубьев.

Первый зуборезный инструмент (1782) предложил французский механик Ваукоусон. Этот профильный дисковый зуборезный инструмент (рис. 2), имеющий большое число мелких зубчиков и восьмигранное отверстие, по существу являлся вращающимся напильником. При-

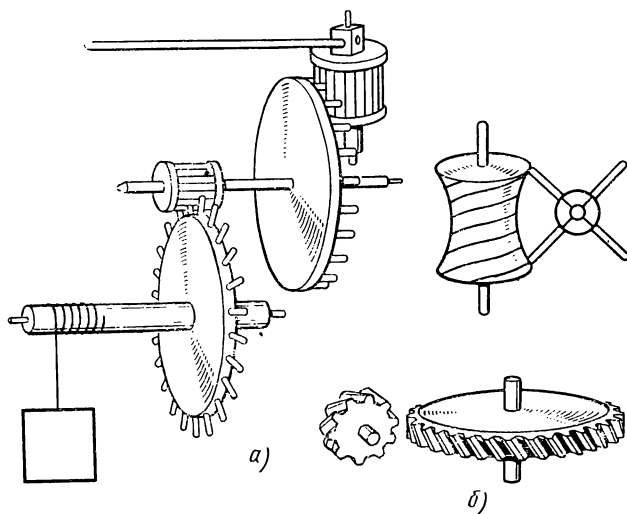


Рис. 1. Деревянные зубчатые передачи:

а — зубчатый подъемный механизм; *б* — косозубая цилиндрическая и глобоидная передачи Леонардо да Винчи

менение этого инструмента позволило значительно сократить время изготовления зубчатых колес. В середине XVIII в. были созданы и другие вращающиеся зуборезные инструменты, появление которых обусловило необходимость создания специальных зуборезных станков, на которых можно было бы использовать такой инструмент.

К 1841 г. был разработан станок (конструкции Гаскеля) для нарезания зубьев на деревянных моделях, по которым отличались чугунные зубчатые колеса. Зубья нарезались летучим резцом методом единичного деления.

До середины XIX в. оборудование для нарезания металлических зубчатых колес создано не было и зубчатые колеса в тот период изготавливали литыми. Точность ли-

тых колес была низкой, зацеплялись они с большим боковым зазором, чтобы компенсировать повышенное радиальное биение и погрешности шага.

Важным шагом в дальнейшем усовершенствовании зубообработки стало изобретение в 1864 г. дисковой затылованной фрезы с эвольвентным профилем зубьев. Это был первый затылованный зуборезный инструмент, у которого после переточки профиль зубьев не изменялся.

В 1867 г. был разработан комплект из восьми дисковых фрез с эвольвентным профилем, позволяющий нарезать цилиндрические зубчатые колеса с числом зубьев от 12 и более, а также зубчатые рейки. Любое зубчатое колесо, нарезанное этими фрезами, было взаимозаменяемым с любым другим колесом того же pitch. Угол профиля был принят равным $14^{\circ}30'$.

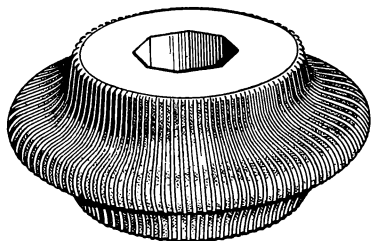


Рис. 2. Профильный дисковый зуборезный инструмент

В этот период нарезание производилось методом копирования, каждый зуб нарезали отдельно, путем единичного деления. Точность зубчатых колес была невысокой и определялась в основном точностью инструмента.

Одновременно с изобретением режущего инструмента разрабатывались различные мерительные инструменты и калибры, применяемые при изготовлении зубчатых колес. Например, был изобретен штангенциркуль для измерения диаметра впадины зубчатого колеса, штангензубомер для измерения калибра зуба.

Значительное повышение производительности и точности изготовления цилиндрических зубчатых колес было достигнуто в конце XIX в. благодаря внедрению эвольвентного зацепления и нарезания зубьев методом обкатки (огибания) червячными фрезами с прямолинейными режущими кромками на более современных станках. Этот период характеризуется созданием червячной фрезы по английскому патенту 1856 г.

Первый зубофрезерный станок, работающий методом обката обрабатываемых зубьев червячной фрезой, был разработан Грантом (США) в 1887 г. и применялся для нарезания только прямозубых цилиндрических зубчатых

колес. Метод нарезания косозубых цилиндрических зубчатых колес червячной фрезой и предназначенный для этого зубофрезерный станок (рис. 3) были созданы Пфау-тером (Германия) в 1897 г.

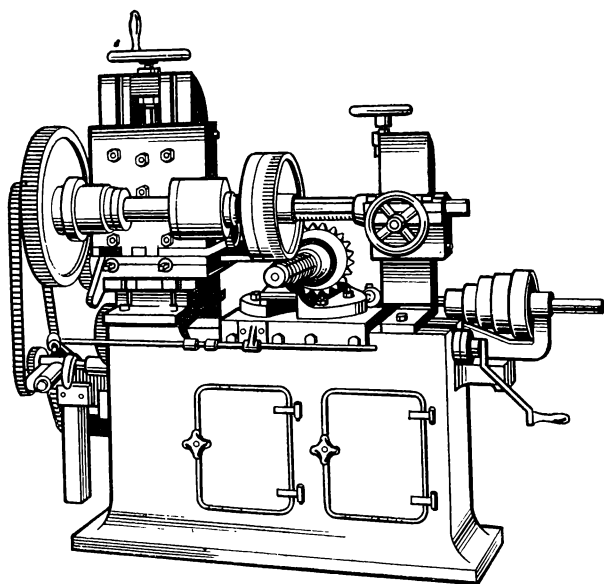


Рис. 3. Зубофрезерный станок (конструкции Пфау-тера) для нарезания косозубых цилиндрических колес

Первый зубодолбежный станок (рис. 4) фирмы Феллоус (США), разработанный в 1897 г., предназначался для изготовления только эвольвентных зубчатых колес. Одновременно был сконструирован долбяк с соответствующими режущими кромками. В процессе резания долбяк совершал возвратно-поступательное движение и вращался согласованно с обрабатываемым колесом. Вращение исполнительных узлов станка осуществлялось от привода (верхнего расположения) через ременную передачу. Станок обеспечивал высокие для того времени производительность и качество обработки. Большим преимуществом станка было и то, что на нем можно было обрабатывать зубчатые колеса как внешнего, так и внутреннего зацепления.

Первый зубошвинговальный станок (рис. 5) для окончательной обработки зубчатых колес дисковым ше-

вером был изготовлен в 1932 г. фирмой Нейшенл Броуч (США). Для обеспечения большей жесткости станка основание станины, вертикальная колонка и кронштейн для установки шевинговальной головки представляли со-

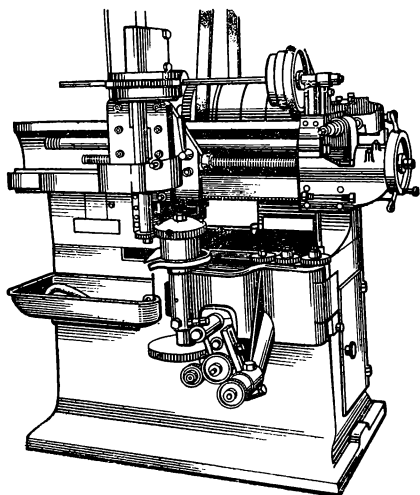


Рис. 4. Первый зубодолбежный станок

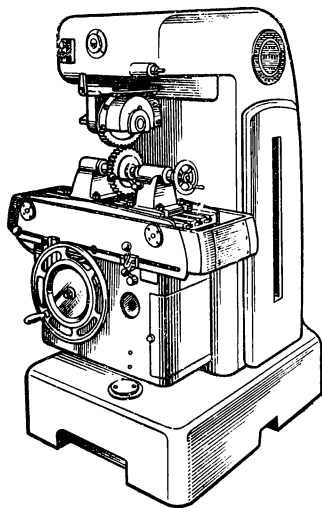


Рис. 5. Первый шевинговальный станок

бой единое целое (этот конструктивный принцип сохранился в современных зубошевинговальных станках). Подъем стола для загрузки-выгрузки обрабатываемого колеса, зажим колеса между правой и левой бабками осуществлялся вручную. На станке можно было производить обработку только методом параллельного шевингования.

Впервые шевингование начали применять на автомобильных заводах. В отечественной автомобильной промышленности внедрение процесса шевингования (взамен зубодолбления) началось в 1936 г. на ЗИЛе.

Первый отечественный шевинговальный станок мод. 571 для чистовой отделки зубьев цилиндрических колес диаметром до 200 мм и модулем до 6 мм был изготовлен в 1937 г. на станкозаводе «Комсомолец» (г. Егорьевск).

Благодаря хорошему качеству и высокой производительности зубошевинговальные станки получили широкое применение в развивающейся автомобильной промыш-

ленности, их конструкция постоянно совершенствовалась. В 1937 г. было внедрено шевингование зубчатых колес с бочкообразной формой зубьев, для чего стол с обрабатываемым колесом имел возможность качания в процессе работы,

Новое поколение зубошевинговальных станков было создано в 1947 г. Главное отличие этих станков заключалось в использовании нового диагонального метода шевингования. Обрабатываемое колесо в процессе шевингования стало перемещаться не параллельно своей оси, как при параллельном шевинговании, а под углом. Это позволило увеличить производительность станка (примерно на 50%) и значительно повысить период стойкости шевера по сравнению с аналогичными параметрами при параллельном шевинговании.

С 1948 г. станки для диагонального шевингования стали выпускаться с автоматической загрузкой-выгрузкой деталей. Дальнейшее усовершенствование зубошевинговальных станков для диагонального шевингования зубчатых колес среднего модуля позволило обрабатывать на них зубчатые колеса (с прямыми и косыми зубьями, бочкообразной и конической формы) методами параллельного, диагонального и тангенциального шевингования. Загрузка деталей на этих станках производится вручную, полуавтоматически или автоматически. Такая универсальность сохранилась и в современных зубошевинговальных станках.

В 1965 г. разрабатывается метод врезного шевингования, который благодаря высоким производительности и качеству получил широкое распространение в автомобильной промышленности.

Основными направлениями развития зубошевинговальных станков в настоящее время являются следующие: универсальность, т. е. возможность вести обработку методами параллельного, диагонального, тангенциального и врезного шевингования; создание широких возможностей для автоматизации основных и вспомогательных операций; повышение производительности, точности и качества обработки; бесступенчатое регулирование скорости и подачи; удобство в наладке и обслуживании.

Основными методами окончательной обработки зубчатых колес после термической обработки являются следующие: шлифование; притирка с помощью чугуновых притиров (рис. 6) и зубохонингование (рис. 7).

Наиболее производительный из этих методов — зубохонингование — в настоящее время широко применяется в автомобилестроении и других отраслях машиностроения. Зубохонингование позволяет удалять мелкие забои-

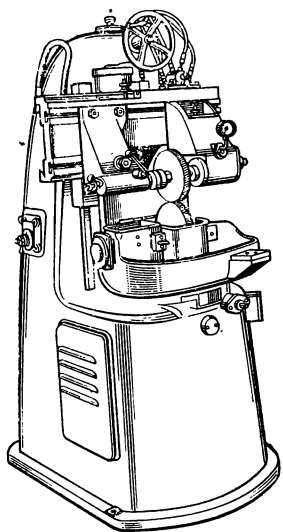


Рис. 6. Притирочный станок

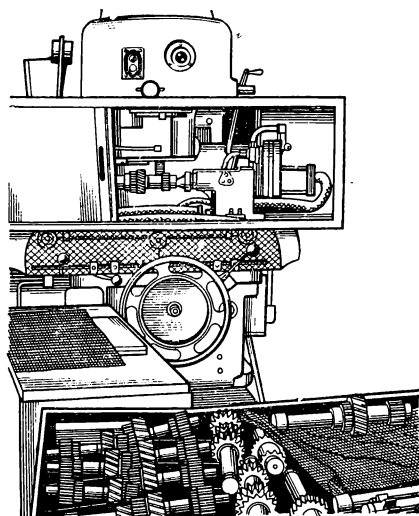


Рис. 7. Зубохонинговальный станок

ны, уменьшать шероховатость поверхности, снижать уровень шума, исправлять небольшие погрешности в зубчатом зацеплении и повышать срок службы зубчатой передачи. Первый зубохонинговальный станок был разработан на базе шевинговального станка.

Зуборезное дело в нашей стране развивается как в области теории, так и в области практики. В 1954 г. было разработано новое зацепление (автор М. Л. Новиков), получившее название «зубчатые передачи с зацеплением Новикова». Это зацепление точечное, в нормальном сечении зубьев рабочие участки профиля выполнены по дугам окружности.

Разработана теория функциональной взаимозаменяемости, которая легла в основу построения системы допусков и системы контроля на зубчатые колеса в странах—членах СЭВ.

Первый отечественный зубофрезерный станок мод. 532 был изготовлен в 1933 г. на станкозаводе «Комсомо-

лец». Станок предназначался для обработки цилиндрических прямозубых и косозубых колес внешнего зацепления диаметром до 750 мм и модулем до 8 мм, а также для изготовления червячных колес.

В 1933 г. на станкозаводе «Красный Пролетарий» был изготовлен первый зубодолбежный станок мод. 512 для обработки цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацепления с прямыми и косыми зубьями диаметром до 180 мм и модулем до 4 мм.

В нашей стране впервые в зуборезной практике получило широкое применение горячее накатывание цилиндрических зубчатых колес с предварительно формованными зубьями. Эта малоотходная технология изготовления заготовок зубчатых колес позволяет сократить расход металла, уменьшить трудоемкость изготовления, повысить прочность зубьев.

В соответствии с требованиями массового производства постоянно совершенствуются существующие методы обработки зубчатых колес, создаются новые технологические процессы, режущие инструменты, станки и средства контроля, благодаря чему качество и экономичность изготовления зубчатых колес в нашей стране находится на высоком техническом уровне.

ГЛАВА I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ

§ 1. Типы зубчатых передач и их назначение

Зубчатые передачи применяются для передачи вращения и крутящего момента между валами с параллельными, пересекающимися и скрещивающимися осями, а также для преобразования вращательного движения в поступательное.

Сопряженная зубчатая передача состоит из ведущего (передающего вращения) и ведомого (приводимого во вращение) колес.

При передаче вращения угловые скорости валов равны, если равно число зубьев сопряженных колес. Зубчатые передачи, понижающие или повышающие угловые скорости валов, имеют сопряженные колеса с различным числом зубьев. Зубчатое колесо с меньшим числом зубьев называется шестерней, а с большим числом зубьев — колесом. Параметры зубчатого зацепления, относящиеся к шестерне, обозначаются индексом «1», а относящиеся к колесу — индексом «2».

Зубчатая передача, понижающая окружную скорость ведомого вала, называется понижающей; такие передачи наиболее распространены, поскольку при этом увеличивается крутящий момент, передаваемый ведомым валом. Зубчатая передача, повышающая окружную скорость ведомого вала, называется повышающей.

Цилиндрические зубчатые передачи предназначены для передачи вращения и крутящего момента между двумя валами, оси которых расположены параллельно. Цилиндрические передачи бывают прямозубые и косозубые (внешнего и внутреннего зацепления), шевронные.

При внешнем зацеплении (рис. 8, а, б и г) сопряженные колесо и шестерня вращаются в противоположных направлениях, а при внутреннем (рис. 8, в) — в одном направлении.

Прямозубые цилиндрические передачи (рис. 8, а) наиболее часто применяются в промышленности. Зубья у таких колес параллельны оси вращения, благодаря чему осевые силы при работе отсутствуют. Профиль зубьев в любом сечении, перпендикулярном оси колеса, одинаковый.

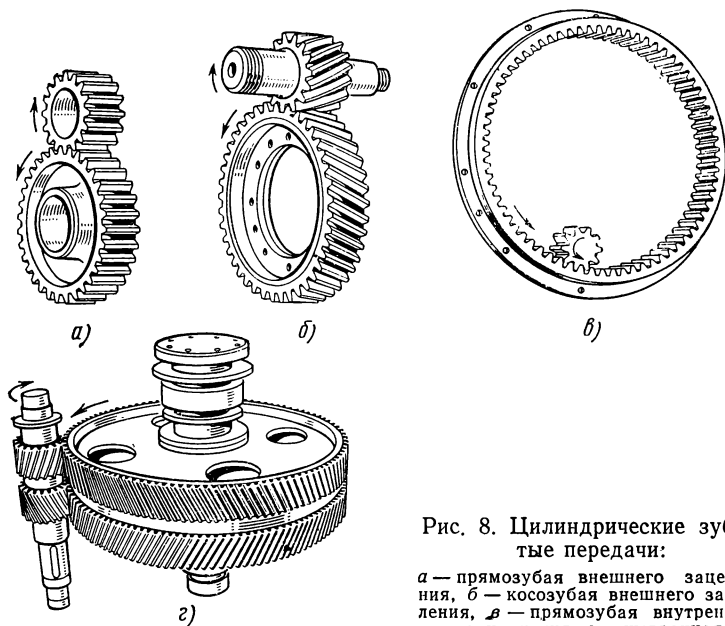


Рис. 8. Цилиндрические зубчатые передачи:

а — прямозубая внешнего зацепления, б — косозубая внешнего зацепления, в — прямозубая внутреннего зацепления, г — шевронная

В косозубых цилиндрических передачах (рис. 8, б) зубья расположены под углом к оси вращения колеса. У сопряженных косозубых колес углы наклона зубьев одинаковы по величине, но противоположны по направлению. Одно из сопряженных колес имеет левое направление линии зуба, другое — правое. Косозубые колеса по сравнению с прямозубыми передают большие нагрузки, более плавно зацепляются между собой и обеспечивают бесшумную работу передачи даже при высоких окружных скоростях. При работе косозубых цилиндрических колес возникают осевые силы, которые необходимо учитывать при проектировании механизмов, устанавливая в агрегате упорные подшипники.

Цилиндрические зубчатые передачи внутреннего зацепления (рис. 8, в) могут быть с прямыми и косыми зубьями.

ями. У передач внутреннего зацепления шестерню изготавливают с внешними зубьями, имеющими выпуклые профили. Шестерня обычно является ведущим элементом передачи, ее устанавливают внутри колеса с внутренними зубьями, имеющими вогнутые профили. Сопряжение вогнутого профиля зубьев колеса с выпуклым профилем зубьев шестерни значительно повышает нагрузочную способность и срок службы передач внутреннего зацепления по сравнению с передачами внешнего зацепления.

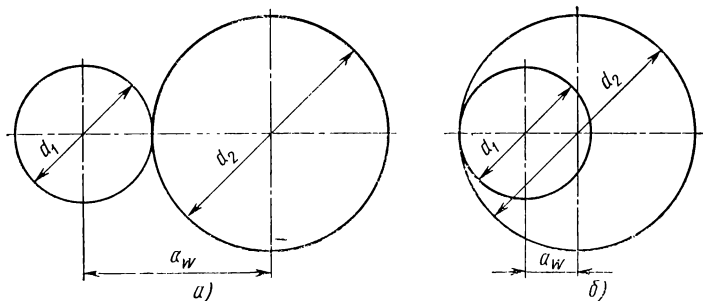


Рис. 9. Цилиндрические зубчатые передачи внешнего (а) и внутреннего (б) зацепления

Цилиндрические передачи внутреннего зацепления компактнее передач внешнего зацепления. Межосевые расстояния передач внутреннего зацепления в среднем в 2—3 раза меньше, чем у передач тех же размеров внешнего зацепления.

Формулы для определения межосевого расстояния: передач внешнего зацепления (рис. 9, а) $a_w = (d_1 + d_2) / 2 = m_n \cdot [(z_1 + z_2) / 2]$, передач внутреннего зацепления (рис. 9, б) $a_w = (d_2 - d_1) / 2 = m_n \cdot [(z_2 - z_1) / 2]$, где d_1, d_2 — диаметр делительной окружности шестерни, колеса; z_1, z_2 — число зубьев шестерни, колеса; m_n — нормальный модуль.

Благодаря указанным преимуществам цилиндрические передачи внутреннего зацепления широко применяют в самолетах, трансмиссиях легковых автомобилей, редукторах, сложных планетарных механизмах и т. д.

Шевронные цилиндрические зубчатые передачи (см. рис. 8, г) имеют колеса внешнего зацепления, зубья которых состоят из двух частей с правым и левым наклоном линии зуба (угол наклона линии зуба у обеих ча-

стей одинаков). Такая конструкция зуба позволяет уравновешивать осевые усилия, возникающие во время работы шевронных передач. Шевронные колеса могут быть с канавкой, которую выполняют в середине зубчатого венца для выхода зуборезного инструмента, и без канавки. Колеса без канавки обладают более высокой прочностью на изгиб, но их сложнее изготовлять. Шевронные цилиндрические передачи применяются в мощных редукторах, работающих со средними и высокими окружными скоростями.

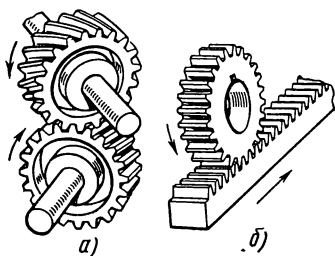


Рис. 10. Зубчатые передачи:
а — винтовая, б — реечная

Винтовые зубчатые передачи (рис. 10, а) (угол между осями сопряженных колес $0-90^\circ$) в отличие от косозубых цилиндрических передач имеют точечный (а не линейный) контакт зубьев, что способствует заеданию и повышенному износу зубьев. Поэтому такие передачи имеют ограниченное применение и используются главным образом для передачи небольших крутящих моментов.

Реечные цилиндрические зубчатые передачи (рис. 10, б) состоят из зубчатой рейки, представляющей собой сектор цилиндрического зубчатого колеса с бесконечно большим диаметром, и сопряженной с ней шестерни. При вращении шестерни (внешнего зацепления) рейка перемещается по прямой, перпендикулярной оси шестерни, т. е. вращательное движение шестерни преобразуется в поступательное движение рейки. Реечные цилиндрические передачи, которые могут быть прямозубыми и косозубыми, нашли широкое применение в механизмах и машинах различного назначения.

Червячные передачи, предназначенные для передачи вращения и крутящего момента между валами, оси которых скрещиваются под углом 90° , бывают цилиндрические и глобоидные.

Цилиндрические червячные передачи (рис. 11, а) имеют червяк цилиндрической формы с витками, боковые поверхности которых выполнены по винтовой линии. Червяк может быть однозаходным (один виток) и многозаходным (несколько витков, число которых равно числу заходов). Червячное колесо имеет вогнутые впадины

зубьев. Витки червяка и зубья сопряженного с ним червячного колеса должны иметь одинаковый наклон (правый или левый).

Благодаря линейному контакту зубья червячной передачи могут передавать большие нагрузки. Высокие скорости скольжения (значительно большие, чем у других зубчатых передач) предъявляют особые требования к материалу червяка и червячного колеса, а также к виду смазки, препятствующей заеданию и быстрому износу зубьев.

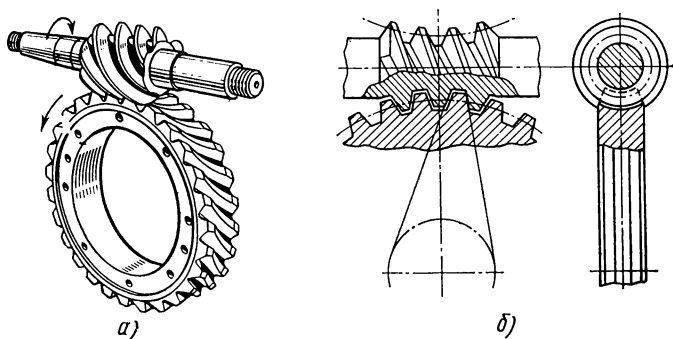


Рис. 11. Червячные передачи:
а — цилиндрическая, б — глобoidная

Червяк обычно изготовляют целым, заодно с валом. Червячное колесо чаще всего бывает сборным, состоящим из зубчатого венца (материал — чугун, бронза) и ступицы (материал — чугун, сталь). Червячные передачи нашли широкое применение в редукторах, подъемных механизмах, делительных цепях зуборезных станков и других агрегатах.

В глобoidных червячных передачах (рис. 11, б) червяк имеет вогнутую (по длине) форму и охватывает часть зубьев червячного колеса, что обеспечивает участие в зацеплении большего числа зубьев. Благодаря этому глобoidные передачи способны передавать значительно большие нагрузки, чем цилиндрические червячные передачи.

По сравнению с цилиндрическими червячными передачами технология изготовления глобoidных передач сложнее, так как последние требуют более точного изготовления (по форме и расположению пятна контакта),

более высокого качества обработки поверхности и более точной сборки. Глобоидные передачи широко применяют в машинах и механизмах, передающих большие нагрузки.

§ 2. Основные сведения о геометрии цилиндрических зубчатых передач

В зависимости от формы кривой профиля зуба различают три вида зацеплений цилиндрических зубчатых передач: циклоидное, зацепление Новикова и эвольвентное.

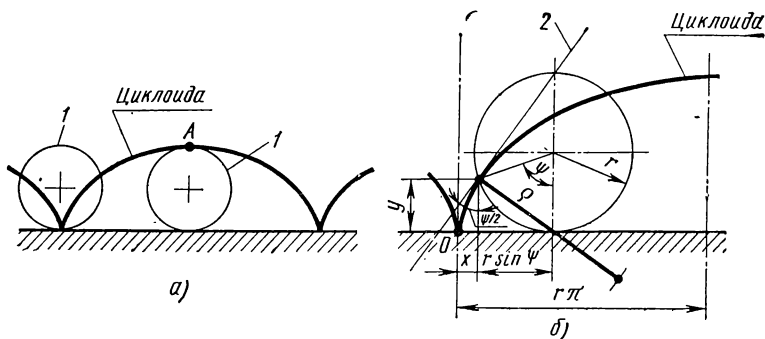


Рис. 12. Схема образования (а) и построение (б) циклоиды

Циклоидное зацепление. Одни из первых математических кривых, которые использовались для образования профилей зубьев цилиндрических колес, — циклоидные кривые: циклоида, эпициклоида и гипоциклоида.

Циклоидой называют траекторию любой точки A (рис. 12, а) окружности 1, катящейся по прямой линии без скольжения. Если за начало координат принять точку O (рис. 12, б), то координаты любой точки циклоиды можно определить по формулам: $x = r(\psi - \sin \psi)$, $y = r(1 - \cos \psi)$.

Радиус кривизны циклоиды, проведенный перпендикулярно касательной 2, $\rho = 4r \sin (\psi/2)$.

Эпициклоидой называют траекторию любой точки окружности 3, катящейся без скольжения по внешней стороне неподвижной окружности 2 (рис. 13).

Гипоциклоидой называют траекторию любой точки окружности 1, катящейся без скольжения по внутренней стороне неподвижной окружности 2.

Теоретически циклоидные кривые обладают многими преимуществами, однако высокие требования к точности изготовления боковых поверхностей зубьев, а также к точности установки межосевого расстояния при сборке не позволяют циклоидному зацеплению успешно конкурировать с эвольвентным.

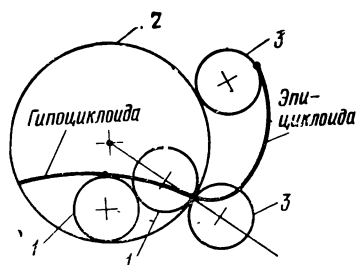


Рис. 13. Схема образования эпициклоиды и гипоциклоиды

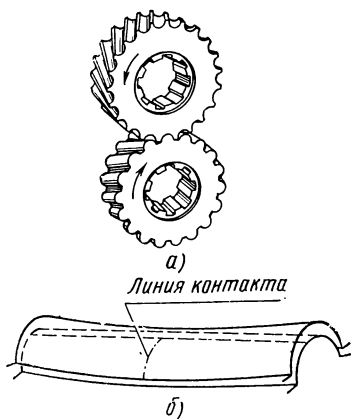


Рис. 14. Цилиндрическая передача с зацеплением Новикова (а) и схема зацепления зубьев (б)

Циклоидное зацепление применяется главным образом при изготовлении мелко модульных колес в часовой промышленности и приборостроении, а также в цевочных зацеплениях.

Зацепление Новикова (рис. 14, а). Зубья передач с этим зацеплением в нормальном сечении выполнены по дугам окружности, причем вогнутый профиль описывается дугой окружности несколько большего радиуса, чем выпуклый. Благодаря особенностям геометрии зацепления цилиндрические зубчатые передачи М. Л. Новикова могут быть только косозубыми. Одно из сопряженных колес имеет зубья только с вогнутыми профилями, другое — только с выпуклыми.

В передачах с зацеплением Новикова (рис. 14) линия контакта располагается перпендикулярно направлению зуба, что обеспечивает благоприятные условия контакта зубьев и возможность образования масляного клина. Эти передачи (по сравнению с эвольвентными) облада-

ют повышенной контактной прочностью, поскольку у сопряженных зубьев контактирует выпуклая сторона с вогнутой (в эвольвентном зацеплении контактирующие зубья имеют выпуклые поверхности), благодаря чему площадь контакта увеличивается.

Однако прочность на изгиб у передач Новикова ниже примерно в 2 раза, чем у эвольвентных передач, что в значительной мере ограничивает применение передач Новикова.

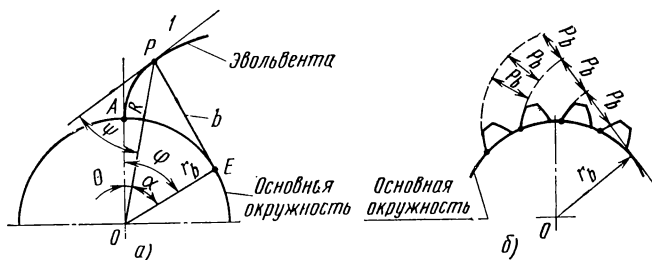


Рис. 15. Образование эвольвентного профиля зубьев:
а — геометрия эвольвенты, б — образование основного шага

Эвольвентное зацепление. Зацепление, у которого профиль зубьев в нормальном сечении выполнен по эвольвенте, получило наибольшее распространение при изготовлении цилиндрических зубчатых колес как внешнего, так и внутреннего зацепления. Цилиндрические колеса с эвольвентным профилем зубьев имеют следующие достоинства: простота формы и высокая точность изготовления зуборезного инструмента; возможность корректирования зубьев с использованием стандартного зуборезного инструмента; незначительная чувствительность к изменению межосевого расстояния, вызванному погрешностями изготовления и сборки; возможность применения точных и надежных средств и методов контроля зубчатых колес.

Эвольвентой называют кривую, которая описывается точкой P производящей прямой линии b при перекатывании последней по основной окружности (рис. 15, а). Образование эвольвенты характеризуется следующими параметрами: радиусом-вектором R ; радиусом основной окружности r_b ; углом Θ поворота радиуса-вектора; углом α давления и углом φ развернутости эвольвенты. Указанные углы связаны между собой зависимостью $\varphi = \Theta + \alpha$.

Так как касательная I к эвольвенте перпендикулярна производящей прямой b , то угол ψ между касательной I и радиусом-вектором R равен углу α .

Углы эвольвенты принято измерять в радианах. Радиан — центральный угол, охватываемый дугой окружности, длина которой равна радиусу этой окружности. Радиан равен $360^\circ/2\pi$, или $57^\circ 17' 45''$.

Длина отрезка b производящей прямой эвольвенты равна длине дуги AE основной окружности, т. е.

$$b = r_b(\Theta + \alpha). \quad (1)$$

С другой стороны, из прямоугольного треугольника OEP имеем

$$b = r_b \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Приравняв правые части уравнений (1) и (2) и сделав математические преобразования, определим $\Theta = \operatorname{tg} \alpha - \alpha = \operatorname{inv} \alpha$.

Угол Θ , являющийся функцией угла α , больше известен как эвольвентная функция $\operatorname{inv} \alpha$ («инволюта»). Для определения эвольвентной функции имеются специальные таблицы, но эту функцию можно также определить по формуле $\operatorname{inv} \alpha = \operatorname{tg} \alpha - \alpha/57,296$.

Радиус-вектор эвольвенты $R = r_b/\cos \alpha$.

Радиус кривизны эвольвенты в любой точке, начиная с точки A (см. рис. 15, а), является переменной величиной и равен длине b отрезка производящей прямой, определяемой по формуле $b = \sqrt{R^2 - r_b^2}$.

Эвольвентные профили зубьев цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацепления строятся от общей основной окружности (рис. 15, б). Расстояние между двумя соседними эвольвентами, измеренное по касательной к основной окружности, является постоянным, т. е. эвольвенты являются эквидистантными кривыми. Расстояние, заключенное между начальными точками двух соседних эвольвент, называют основным шагом $p_b = 2\pi r_b/z$, где z — число зубьев колеса.

Для обеспечения правильного зацепления сопряженных зубчатых колес с эвольвентным профилем основные шаги должны быть равны. Наряду с основным шагом (p_b) у цилиндрических зубчатых колес различают окружной (p_t), осевой (p_x) и нормальный (p_n) шаги.

Прямозубые цилиндрические колеса имеют только окружной шаг p_t в торцовом сечении, который равен нормальному шагу p_n . Осевой шаг p_x у прямозубых колес практически равен бесконечности.

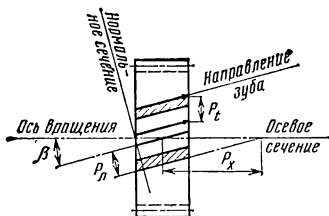


Рис. 16. Шаги зацепления косозубого цилиндрического колеса

У косозубых цилиндрических колес окружной шаг p_t измеряют в плоскости, перпендикулярной оси вращения колеса; осевой шаг p_x — в плоскости, параллельной оси вращения колеса; нормальный шаг p_n в плоскости, перпендикулярной линии зуба (рис. 16). При этом $p_n = p_t \cos \beta$; $p_x = p_t / \operatorname{tg} \beta$, где

β — угол наклона линии зуба косозубого цилиндрического колеса.

Если одна эвольвента, вращаясь с постоянной угловой скоростью, воздействует на другую эвольвенту, то

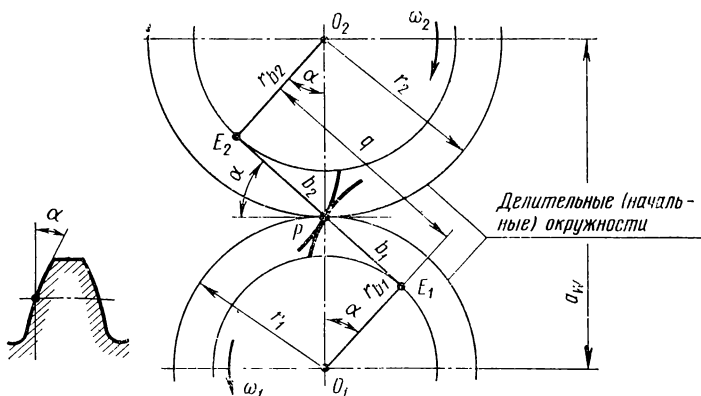


Рис. 17. Взаимодействие двух эвольвент

она будет сообщать ей также постоянную угловую скорость (рис. 17). Отношение скоростей вращения двух эвольвент, действующих одна на другую, называют передаточным отношением. Это отношение обратно пропорционально радиусам основных окружностей эвольвент и не зависит от величины межосевого расстояния, т. е. $\omega_1 / \omega_2 = r_{b2} / r_{b1}$.

Передачным числом u зубчатой передачи называют отношение числа зубьев колеса к числу зубьев шестерни: $u = z_2/z_1 = \omega_1/\omega_2$.

Относительное движение двух эвольвент может быть представлено двумя цилиндрами, которые вращают друг друга посредством трения, без скольжения (рис. 18). Такие цилиндры называют начальными, а их диаметры — диаметрами начальных окружностей. Отдельно взятое цилиндрическое зубчатое колесо не имеет диаметра начальной окружности до тех пор, пока оно не будет введено в зацепление с другим цилиндрическим зубчатым колесом.

Так как начальные цилиндры катятся друг по другу без скольжения, то угловая скорость (рад/мин) колеса и шестерни $\omega = 2\pi n$, где n — частота вращения.

Окружные скорости в точке касания начальных окружностей шестерни и колеса равны между собой: $v_1 = v_2 = v = \omega r$.

Касание двух взаимодействующих эвольвент происходит только на общей касательной E_1E_2 к их основным окружностям (см. рис. 17). Линией зацепления называют геометрическое место точек касания двух сопряженных эвольвентных профилей зубчатых колес с постоянным отношением угловых скоростей.

Полюсом зацепления P (см. рис. 17) называют точку пересечения линии O_1O_2 центров и линии зацепления.

Длиной q линии зацепления (см. рис. 17) называют отрезок касательной к основным окружностям, заключенный между началом и концом зацепления сопряженных профилей зубьев: $q = b_1 + b_2 = a_w \cos \alpha$, где a_w — межосевое расстояние.

Углом зацепления α называют угол, образованный общей касательной к двум основным окружностям и перпендикуляром к линии их центров (см. рис. 17). Зубчатое колесо не имеет угла зацепления до тех пор, пока его эвольвентный профиль не придет в зацеп-

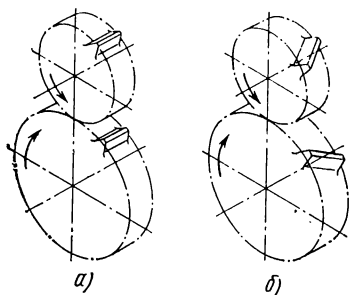


Рис. 18. Начальные цилиндры прямозубых (а) и косозубых (б) цилиндрических передач

ление с эвольвентным профилем зуба сопряженного колеса.

Зависимость угла α зацепления от радиусов основных окружностей и межосевого расстояния выражается формулой $\cos \alpha = (r_{b1} + r_{b2}) / a_w$.

У сопряженной пары некорректированных зубчатых колес, работающих при правильном межосевом расстоянии, делительные окружности совпадают с начальными. Диаметры делительных окружностей двух взаимодействующих эвольвент прямо пропорциональны диаметрам их основных окружностей. Все размеры зубчатого зацепления рассчитывают, исходя из диаметра делительной окружности. Исключение составляет форма и размеры самой эвольвенты, которые зависят от радиуса основной окружности.

Для облегчения расчетов элементов зацепления зубчатых колес введена величина, называемая модулем m зацепления. Модуль — это часть диаметра d делительной окружности, приходящаяся на один зуб колеса, т. е. $m = d/z$.

Прямозубые колеса рассчитывают с помощью окружного модуля m_t , который равен нормальному модулю m_n . Для косозубых колес нормальный и окружной модули связаны зависимостью $m_n = m_t \cos \beta$.

Окружной и нормальный модули можно также выразить через окружной и нормальный шаги соответственно: $m_t = p_t/\pi$; $m_n = p_n/\pi$.

Ряд модулей, применяемых для цилиндрических, шевронных и червячных передач, стандартизован (ГОСТ 9563—60).

В странах, имеющих дюймовую систему измерений, вместо модуля принят диаметральный питч ($D.P.$). Диаметральный питч — это число зубьев колеса, приходящееся на один дюйм (1 дюйм = 25,4 мм) его делительной окружности: $D.P. = z/d$; $m = 25,4/(D.P.)$. С увеличением модуля диаметральный питч уменьшается.

Окружным питчем ($C.P.$) называют расстояние между одноименными профилями двух соседних зубьев по делительной окружности, выраженное в дюймах.

Модуль, диаметральный и окружной питчи связаны между собой следующими зависимостями: $D.P. = \pi/(C.P.) = 25,4/m$; $C.P. = \pi/(D.P.) = m/8,09$; $m = 25,4/(D.P.) = 8,09 (C.P.)$.

Углом β наклона линии зуба называют острый угол, заключенный между осью вращения колеса и касатель-

ной к направлению линии зуба на делительной поверхности. Косозубые колеса могут быть с правым (рис. 19, а) и левым (рис. 19, б) направлением линии зуба. Если зуб колеса при своем продолжении удаляется от оси по часовой стрелке, то такое колесо имеет правое направление линии зуба, а если против часовой стрелки — то левое.

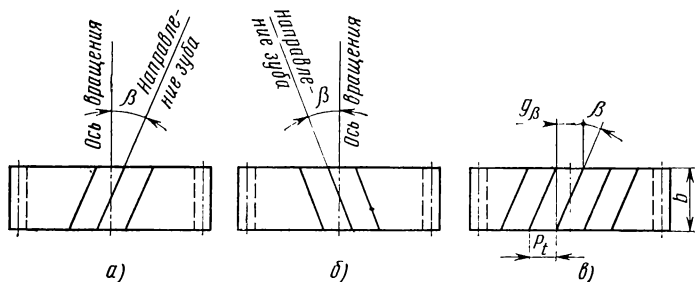


Рис. 19. Косозубые цилиндрические колеса с правым (а) и левым (б) направлением линии зуба; g_{β} — осевое перекрытие (в)

Коэффициент ϵ_{γ} перекрытия является одним из основных факторов, характеризующих конструкцию зубчатых колес. Он определяет продолжительность зацепления зубьев, т. е. число пар зубьев шестерни и колеса, одновременно находящихся в зацеплении. С увеличением коэффициента перекрытия возрастает плавность зацепления и прочность зубьев цилиндрической зубчатой передачи. Для цилиндрических зубчатых передач $\epsilon_{\gamma} = \epsilon_{\alpha} + \epsilon_{\beta}$, где ϵ_{α} и ϵ_{β} — коэффициент торцового и осевого перекрытия соответственно.

Коэффициентом торцового перекрытия называют отношение длины линии зацепления к основному шагу, т. е. $\epsilon_{\alpha} = g/p_b$.

Для получения непрерывного зацепления зубьев необходимо, чтобы длина линии зацепления была больше основного шага. Из трех одинаковых по размерам зубчатых передач — реечной, внешнего и внутреннего зацепления — наибольший коэффициент торцового перекрытия имеет передача с внутренним зацеплением, а наименьший — с внешним зацеплением.

Коэффициентом осевого перекрытия называют отношение осевого перекрытия к окружному шагу. Он допол-

няет коэффициент торцового перекрытия и зависит от ширины b зубчатого венца и угла β наклона линии зуба (рис. 19, в):

$$\epsilon_{\beta} = q_{\beta} / p_t = b \cdot \operatorname{tg} \beta / p_t = b \cdot \sin \beta / p_n.$$

Боковым зазором j называют кратчайшее расстояние между нерабочими профилями зубьев сопряженной передачи, когда рабочие профили находятся в зацеплении. У

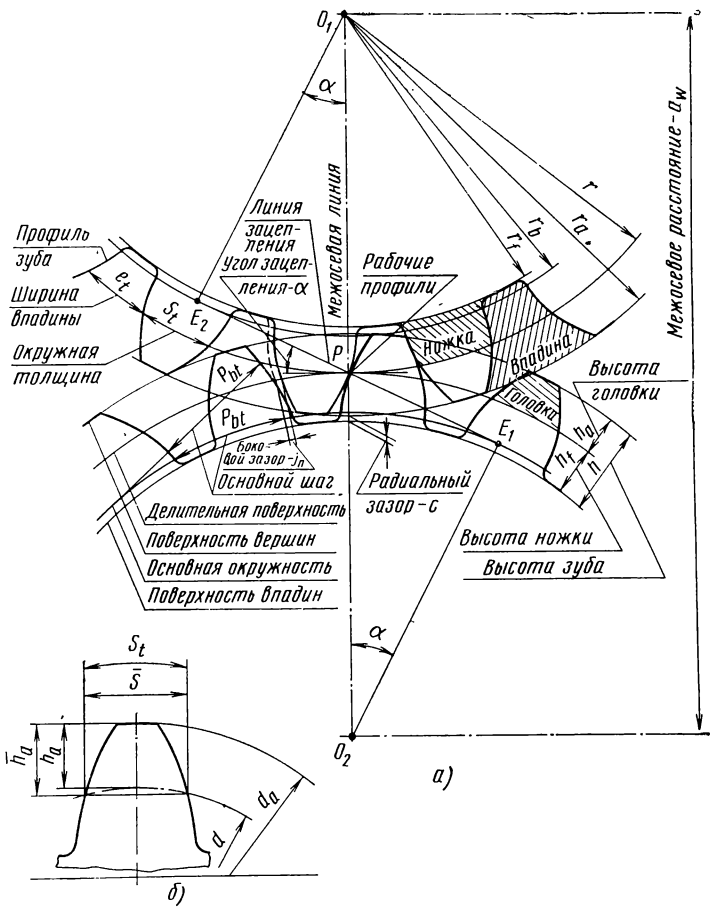


Рис. 20. Цилиндрическая зубчатая передача внешнего зацепления:

a — основные параметры, b — размеры зуба

косозубых и шевронных передач боковой зазор измеряют в нормальной плоскости перпендикулярно направлению линии зуба. Обычно боковой зазор контролируют при правильном межосевом расстоянии.

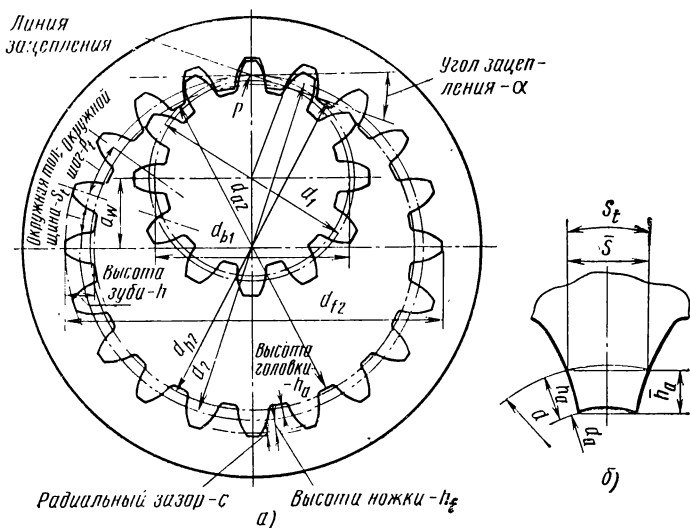


Рис. 21. Цилиндрическая зубчатая передача внутреннего зацепления:

а — основные параметры, б — размеры зуба

Для обеспечения бокового зазора толщину зубьев колеса и шестерни уменьшают на необходимую величину. Боковой зазор должен быть достаточным, чтобы дать возможность сопряженным зубчатым колесам свободно вращаться без заклинивания зубьев.

На рис. 20 и 21 приведены обозначения и наименования основных элементов цилиндрических зубчатых передач внешнего и внутреннего зацепления.

В основу проектирования и расчета цилиндрических зубчатых передач и зуборезного инструмента положен исходный контур — контур зубчатой рейки в нормальном к направлению зубьев сечении. Зубья рейки определяют форму и номинальные размеры зубьев обрабатываемых колес, получаемые в результате их обкатки при номинальном положении рейки. Исходный контур для цилиндрических зубчатых колес внешнего и внутреннего эвольвентного зацепления с модулем более 1 мм по ГОСТ

13755—68 представляет собой зубчатую рейку с прямолинейным профилем с глубиной захода $h_3 = 2m$ (рис. 22, а). Под глубиной захода понимают высоту зуба, которая участвует в работе.

Угол профиля исходного контура $\alpha = 20^\circ$, нормальный радиальный зазор $c = 0,25m$, радиус закругления у корня зуба $r_i = 0,4m$.

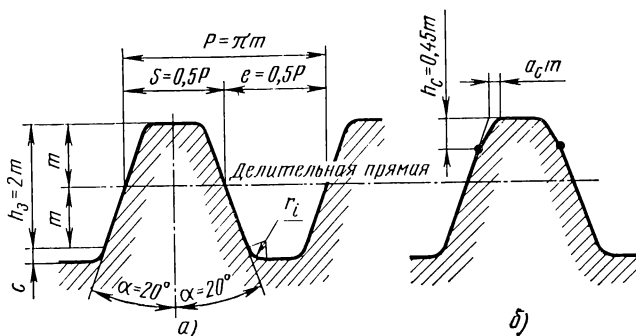


Рис. 22. Исходный контур цилиндрических зубчатых колес: а — форма и размеры контура, б — контур с модифицированным профилем

Для цилиндрических колес внешнего зацепления, работающих при высоких окружных скоростях, необходимо применять модифицированный исходный контур, на головке зуба которого предусмотрен срез (рис. 22, б) высотой $h_c = 0,45m$. Коэффициент a_c глубины среза определяется в зависимости от модуля и степени точности зубчатых колес. Модифицированный исходный контур применяют для уменьшения ударов при входе зубьев в зацепление, возникающих в результате погрешностей изготовления и сборки. Зубчатые колеса передач с внутренним зацеплением при необходимости могут быть также изготовлены с модифицированным профилем, принятым для колес внешнего зацепления.

§ 3. Расчет геометрических параметров цилиндрических зубчатых передач

Формулы для расчета геометрических параметров некорректированных прямозубых цилиндрических передач (с постоянным передаточным отношением) внешнего и внутреннего зацепления приведены в табл. 1, а для расчета косозубых цилиндрических передач — в табл. 2. Ес-

Таблица 1

Элементы зацепления	Обозначение	Внешнее зацепление	Внутреннее зацепление	Пример расчета	
				внешнее зацепление	внутреннее зацепление
Число зубьев	z	$z_1; z_2$ выбираются конструктивно		$z_1 = 24; z_2 = 36$	$z_1 = 19; z_2 = 60$
Передаточное число	u	$u = z_2/z_1$		$u = 36/24 = 1,5$	$u = 60/19 = 3,16$
Окружной модуль, мм	m_t	Округляется до стандартного значения по ГОСТ 9563—60		$m_t = 5$	$m_t = 4$
Угол профиля, град.	α	Определяется исходным контуром		$\alpha = 20^\circ$	
Окружной шаг, мм	p_t	$p_t = \pi \cdot m_t; \pi = 3,1416$		$p_t = 15,71$	$p_t = 12,57$
Основной шаг, мм	p_b	$p_b = \pi \cdot m_t \cdot \cos \alpha$		$p_b = 14,76$	$p_b = 11,81$
Диаметр делительной окружности, мм	d	$d_1 = m_t z_1$ $d_2 = m_t z_2$		$d_1 = 120$ $d_2 = 180$	$d_1 = 76$ $d_2 = 240$
Диаметр вершин зубьев, мм	d_a	$d_{a1} = d_1 + 2m_t$ $d_{a2} = d_2 + 2m_t$	$d_{a1} = d_1 + 2m_t$ $d_{a2} = d_2 - 2m_t$	$d_{a1} = 130$ $d_{a2} = 190$	$d_{a1} = 84$ $d_{a2} = 232$
Диаметр впадин зубьев, мм	d_f	$d_{f1} = d_1 - 2,5m_t$ $d_{f2} = d_2 - 2,5m_t$	$d_{f1} = d_1 - 2,5m_t$ $d_{f2} = d_2 + 2,5m_t$	$d_{f1} = 107,5$ $d_{f2} = 167,5$	$d_{f1} = 66$ $d_{f2} = 250$
Высота зуба, мм	h	$h = h_a + h_f = 2,25m_t$		$h = 11,25$	$h = 9$

Элементы зацепления	Обозначение	Внешнее зацепление	Внутреннее зацепление	Пример расчета	
				внешнее зацепление	внутреннее зацепление
Высота головки зуба, мм	h_a	$h_a = m_t$		$h_a = 5$	$h_a = 4$
Высота ножки зуба, мм	h_f	$h_f = 1,25 m_t$		$h_f = 6,25$	$h_f = 5$
Радиальный зазор, мм	c	$c = h_f - h_a = 0,25 m_t$		$c = 1,25$	$c = 1$
Окружная толщина зуба, мм	S_t	$S_t = p_t/2 = \pi m_t/2$		$S_t = 7,85$	$S_t = 6,28$
Высота до хорды, мм	\bar{h}_a	$\bar{h}_{a1} = h_a + S_t^2/4d_1$		$\bar{h}_{a1} = 5,13$	
		$\bar{h}_{a2} = h_a + S_t^2/4d_2$		$\bar{h}_{a2} = 5,09$	
Толщина по хорде, мм	\bar{S}	$\bar{S}_1 = S_t - S_t^2/4d_1 z_1$		$\bar{S}_1 = 7,84$	
		$\bar{S}_2 = S_t - S_t^2/4d_2 z_2$		$\bar{S}_2 = 7,85$	
Ширина зубчатого венца, мм	b	$b \leq 10 m_t$		$b = 40$	$b = 32$
Межосевое расстояние, мм	$a_{\text{ш}}$	$a_{\text{ш}} = m_t(z_1 + z_2)/2$	$a_{\text{ш}} = m_t(z_2 - z_1)/2$	$a_{\text{ш}} = 150$	$a_{\text{ш}} = 82$

Таблица 2

Элементы зацепления	Обозначение	Внешнее зацепление	Внутреннее зацепление	Пример расчета	
				внешнее зацепление	внутреннее зацепление
Число зубьев	z	$z_1; z_2$; выбираются конструктивно		$z_1 = 24; z_2 = 36$	$z_1 = 19; z_2 = 60$
Передаточное число	u	$u = z_2/z_1$		$u = 36/24 = 1,5$	$u = 60/19 = 3,16$
Нормальный модуль, мм	m_n	Округляется до стандартного значения по ГОСТ 9563—60		$m_n = 5$	$m_n = 4$
Угол профиля, град	α	Определяется исходным контуром		$\alpha = 20^\circ$	
Нормальный шаг, мм	p_n	$p_n = \pi m_n; \pi = 3,1416$		$p_n = 15,71$	$p_n = 12,57$
Угол наклона линии зуба, град	β	Выбирается конструктивно $7^\circ < \beta < 35^\circ$		$\beta = 15^\circ$	
Диаметр делительной окружности, мм	d	$d_1 = m_n z_1 / \cos \beta$ $d_2 = m_n z_2 / \cos \beta$		$d_1 = 124,23$ $d_2 = 186,35$	$d_1 = 78,68$ $d_2 = 248,47$
Диаметр вершин зубьев, мм	d_a	$d_{a1} = d_1 + 2m_n$ $d_{a2} = d_2 + 2m_n$		$d_{a1} = 134,23$ $d_{a2} = 196,35$	$d_{a1} = 86,68$ $d_{a2} = 240,47$
Диаметр впадин зубьев, мм	d_f	$d_{f1} = d_1 - 2,5m_n$ $d_{f2} = d_2 - 2,5m_n$		$d_{f1} = 111,73$ $d_{f2} = 173,85$	$d_{f1} = 68,68$ $d_{f2} = 258,47$

Элементы зацепления	Обозначение	Внешнее зацепление	Внутреннее зацепление	Пример расчета	
				внешнее зацепление	внутреннее зацепление
Высота зуба, мм	h	$h = h_a + h_f = 2,25 m_n$		$h = 11,25$	$h = 9$
Высота головки зуба, мм	h_a	$h_a = m_n$		$h_a = 5$	$h_a = 4$
Высота ножки зуба, мм	h_f	$h_f = 1,25 m_n$		$h_f = 6,25$	$h_f = 5$
Радиальный зазор, мм	c	$c = h_f - h_a = 0,26 m_n$		$c = 1,25$	$c = 1$
Нормальная толщина зуба, мм	S_n	$S_n = p_n/2 = \pi m_n/2$		$S_n = 7,85$	$S_n = 6,28$
Окружной модуль, мм	m_t	$m_t = m_n/\cos \beta$		$m_t = 5,18$	$m_t = 4,14$
Окружной шаг, мм	P_t	$P_t = p_n/\cos \beta = \pi m_n/\cos \beta$		$P_t = 16,26$	$P_t = 13,01$
Окружная толщина зуба, мм	S_t	$S_t = P_t/2 = \pi m_n/2 \cos \beta$		$S_t = 8,13$	$S_t = 6,5$
Ход винтовой поверхности, мм	P_z	$P_{z1} = \pi m_n z_1/\sin \beta$ $P_{z2} = \pi m_n z_2/\sin \beta$		$P_{z1} = 1456,58$ $P_{z2} = 2184,87$	$P_{z1} = 922,5$ $P_{z2} = 2913,16$

Элементы зацепления	Обозначение	Внешнее зацепление	Внутреннее зацепление	Пример расчета	
				внешнее зацепление	внутреннее зацепление
Высота до хорды, мм	\bar{h}_a	$\bar{h}_{a1} = \bar{h}_a + \frac{1}{2} S_n^2 \cos^2 \beta / 4d_1$ $\bar{h}_{a2} = \bar{h}_a + \frac{1}{2} S_n^2 \cos^2 \beta / 4d_2$		$\bar{h}_{a1} = 5,12$ $\bar{h}_{a2} = 5,08$	
Толщина по хорде, мм	\bar{S}	$\bar{S}_1 = S_n - \frac{1}{2} S_n^2 \cos^2 \beta / 4d_1 z_1$ $\bar{S}_2 = S_n - \frac{1}{2} S_n^2 \cos^2 \beta / 4d_2 z_2$		$\bar{S}_1 = 7,84$ $\bar{S}_2 = 7,85$	
Межосевое расстояние, мм	a_w	$a_w = m_n(z_1 + z_2) / 2 \cos \beta$	$a_w = m_n(z_2 - z_1) / 2 \cos \beta$	$a_w = 155,29$	$a_w = 84,89$
Основной радиус, мм	r_b	$r_{b1} = d_1 \cos \alpha / 2$ $r_{b2} = d_2 \cos \alpha / 2$		$r_{b1} = 58,37$ $r_{b2} = 87,56$	$r_{b1} = 36,97$ $r_{b2} = 116,74$
Основной шаг, мм	p_b	$p_b = \pi m_n \cos \alpha$		$p_b = 14,76$	$p_b = 11,81$

ли в обозначении параметра отсутствуют индексы «1» и «2», соответствующие шестерне и колесу, то параметр относится к любому зубчатому колесу передачи.

§ 4. Корректирование зубчатых передач

Так как эвольвентная кривая начинается от основной окружности, то внутри основной окружности эвольвентное зацепление не имеет места. Если прямолинейные ре-

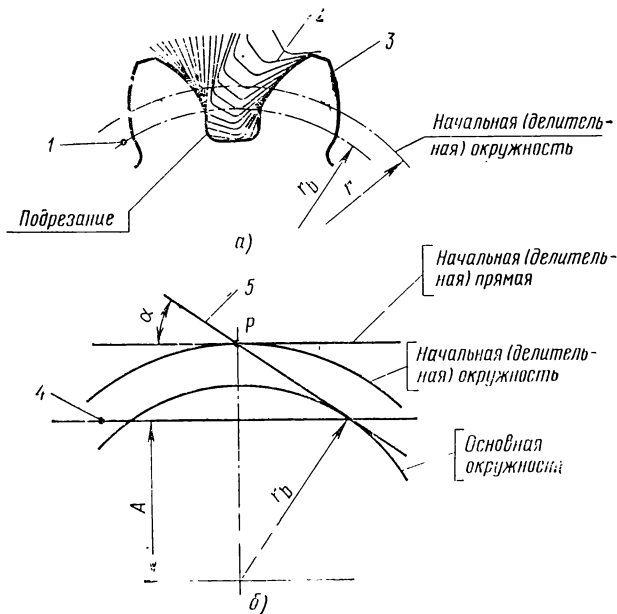


Рис. 23. Подрезание эвольвентного профиля зубьев (а) и условия отсутствия подрезания (б)

жушие кромки 2 инструмента реечного типа при зацеплении с эвольвентными профилями зубьев 3 оказываются глубоко внутри основной окружности 1, то возникает подрезание эвольвентного профиля (рис. 23, а).

Подрезание (чрезмерное внедрение инструмента в тело основания зуба) снижает прочность зубьев, сокращает продолжительность их зацепления и отрицательно влияет на плавность работы зубчатых передач. Чтобы избежать подрезания, профиль зубчатой рейки должен вне-

драться внутрь основной окружности на ограниченную величину. При этом линия вершин зубьев рейки 4 не должна лежать ниже точки касания линии зацепления 5 с основной окружностью (рис. 23, б). Наименьшее расстояние между линией вершин зубьев рейки и осью колеса, при котором отсутствует подрезание, можно определить по формуле

$$A = r_b \cos \alpha = r \cos^2 \alpha.$$

Если в зацеплении находятся два зубчатых колеса, то максимальный диаметр вершин зубьев, обеспечивающий отсутствие подрезания, рассчитывают по формуле:

$$d_{a1} = 2 \sqrt{r_{b1}^2 + (a_w \sin \alpha)^2};$$

$$d_{a2} = 2 \sqrt{r_{b2}^2 + (a_w \sin \alpha)^2}.$$

Наименьшее число зубьев шестерни, свободное от подрезания, при нарезании ее инструментом реечного типа определяют из уравнения

$$z_{\min} = 2h_a^* / \sin^2 \alpha,$$

где h_a^* — коэффициент высоты головки зуба исходного контура (при совпадении начальной прямой рейки с делительной прямой исходного контура $h_a^* = 1$).

Если $\alpha = 15^\circ; 20^\circ$ и $22^\circ 30'$, то $z_{\min} = 30; 17$ и 13 соответственно.

Цилиндрические колеса с числом зубьев меньше z_{\min} необходимо корригировать.

Корригированием зубчатых передач называют преднамеренное изменение стандартных пропорций зубьев, заданных исходным контуром. В эвольвентном зацеплении каждая произвольная окружность, лежащая между окружностью вершин зубьев и основной окружностью и концентричная с ними, может служить начальной (делительной) окружностью. Поэтому эвольвентный профиль допускает большое число различных форм, выполняемых смещением режущего инструмента реечного типа относительно делительной прямой при нарезании зубьев методом обкатки.

Влияние смещения режущего инструмента (рейки) на форму эвольвентного профиля показано на рис. 24. За нулевое положение (смещение исходного контура $x = 0$) принимают также положение инструментальной рейки 1, при котором делительная окружность обрабатываемого

колеса диаметра d катится по средней линии 3 рейки (рис. 24, а). При изменении положения режущего инструмента относительно центра нарезаемого зубчатого колеса 2 делительная окружность колеса будет катиться по делительной прямой 4, смещенной относительно средней линии 3 на величину xm (рис. 24, б, в и г).

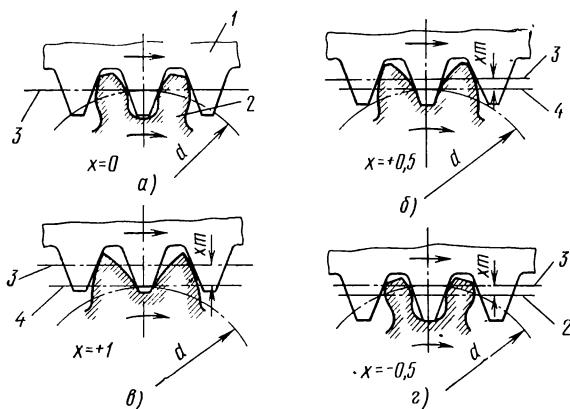


Рис. 24. Влияние смещения инструментальной рейки на форму эвольвентного профиля зуба

Смещение средней линии рейки относительно делительной окружности колеса в направлении от оси колеса называют положительным, а в направлении к оси колеса — отрицательным.

При положительном смещении режущего инструмента (см. рис. 24, б и в) толщина в основании зуба и, как следствие, прочность зуба повышаются; подрезание эвольвентного профиля уменьшается или устраняется полностью. При значительной величине положительного смещения вершина головки зуба заостряется (см. рис. 24, в). Обычно ширина вершины зуба $S_a \geq (0,1 \div 0,2) m_t$.

При отрицательном смещении толщина основания зуба уменьшается и зуб становится менее прочным. Большое отрицательное смещение может вызвать значительное подрезание ножки зуба (см. рис. 24, г).

Коэффициентом x смещения называется отношение радиального смещения делительной линии исходного контура к модулю. Для косозубых колес различают коэффициент x_t смещения в торцевой плоскости и коэффициент x_n смещения в нормальной плоскости ($x_t = x_n \cos \beta$).

Наибольшее распространение получили два способа корригирования зубчатых передач — высотный и угловой.

При высотном корригировании шестерню изготавливают с положительным смещением исходного контура ($x_1 > 0$), а колесо — с равным ему по абсолютной величине отрицательным смещением ($x_2 < 0$), т. е. $x_1 + x_2 = 0$. Высотное корригирование характеризуется изменением окружной толщины, диаметров вершин и впадин зубьев, причем у шестерни диаметры вершин и впадин зубьев увеличиваются на величину, равную удвоенному смещению, а у колеса эти параметры уменьшаются на ту же величину. Межосевое расстояние и угол зацепления у зубчатой передачи при высотном корригировании остаются неизменными; начальные и делительные окружности совпадают.

При угловом корригировании $x_1 + x_2 \neq 0$. Межосевое расстояние корригированной зубчатой передачи отличается от некорригированной. Изменяется также и угол зацепления зубчатой передачи. Угловое корригирование применяется в том случае, если необходимо спроектировать зубчатую пару с заданным межосевым расстоянием или одновременно повысить прочность зубьев шестерни и колеса. В зубчатых передачах с угловым корригированием начальные и делительные окружности не совпадают.

Нарезание зубьев с высотным и угловым корригированием производят стандартным зуборезным инструментом, а необходимая геометрия зубьев достигается смещением инструментальной зубчатой рейки.

§ 5. Смазка цилиндрических зубчатых передач

Основные функции смазки зубчатых передач: предотвращение контакта металла по металлу; защита боковых поверхностей зубьев от задиров; предотвращение чрезмерного износа зубьев и их охлаждение.

При зацеплении передач с эвольвентным профилем на поверхности зубьев имеет место как скольжение, так и качение.

В первоначальный момент зацепления в точке 1, когда в контакт вступает ножка зуба ведущей шестерни и головка ведомого колеса, имеет место максимальное скольжение (рис. 25, а). Затем, по мере перемещения зоны контакта к головке ведущей шестерни и ножке ведомого колеса, скорость скольжения уменьшается и на

делительной окружности обоих колес (в точке 2) становится равной нулю, т. е. имеет место только качение. При продолжении зацепления скорость скольжения увеличивается вновь и достигает максимальной величины в точке 3, когда зубья выходят из контакта.

Эффективность смазки определяется масляным клином, образующимся во время зацепления зубьев, когда их боковые поверхности катятся и скользят одна относительно другой (рис. 25, б). Во время качения смазка втягивается между контактирующими поверхностями зубь-

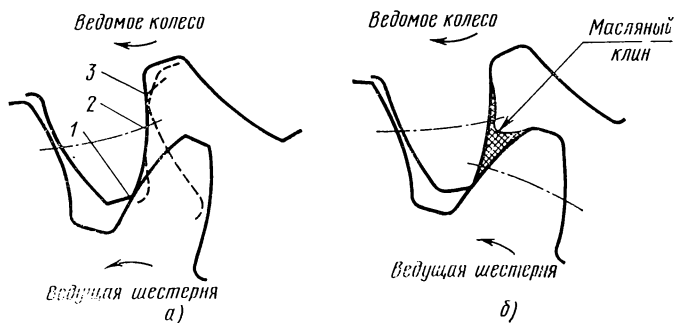


Рис. 25. Условия смазки зубчатых колес:

а — последовательность зацепления, б — образование масляного

ев колеса и создается упругая гидродинамическая масляная пленка. Зубья ведущей шестерни катятся от вершины к ножке по поверхности зуба ведомого колеса, а зубья ведомого колеса катятся от ножки к вершине по зубу ведущей шестерни. Таким образом, направление образования масляного клина постоянно (острие клина всегда направлено к ножке зуба ведущей шестерни), что способствует образованию непрерывной масляной пленки, толщина которой уменьшается при увеличении скорости качения. При скольжении масляная пленка разрушается.

При уменьшении скорости качения давление возрастает и масло интенсивно выжимается из зоны контакта, что приводит к контактированию металла по металлу и, как следствие, к интенсивному износу и задирам поверхностей зубьев.

Для образования соответствующей масляной пленки необходимо, чтобы поверхности зубьев при входе в зацепление были покрыты маслом. Масло следует подавать к зубьям в момент их входа в зацепление. При смазке зуб-

чатых передач разбрызгиванием или погружением в масляную ванну это происходит автоматически. Однако при принудительной смазке под давлением следует обеспечить соответствующее положение разбрызгивающих сопел.

Для зубчатых передач, работающих в тяжелых условиях (большие нагрузки, повышенные скорости скольжения и т. д.), необходимо применять масла, к которым добавлены противозадирные присадки (производные серы, фосфора или хлора), являющиеся химически активными и обеспечивающие защиту контактирующих поверхностей от сваривания.

При высокой скорости вращения зубчатой передачи можно применять масло низкой вязкости, а при небольшой скорости вращения — масло высокой вязкости.

Вязкость является свойством смазочного вещества, которое определяет скорость течения масла ко всем смазываемым поверхностям и возможность образования защитной пленки при всех скоростях, давлениях и температурах. Вязкость масла зависит непосредственно от его температуры и в меньшей степени от давления.

В условиях высокой температуры необходимо применять масло высокой вязкости, а при низких температурах — масло пониженной вязкости. Увеличение нагрузки приводит к повышению температуры в зоне контакта зубьев, поэтому для высоконагруженных передач необходимо масло большой вязкости.

Контрольные вопросы

1. Какие типы цилиндрических зубчатых передач вам известны?
2. Какие преимущества имеют глобоидные передачи по сравнению с цилиндрическими червячными?
3. Какими основными преимуществами обладает эвольвентное зацепление по сравнению с зацеплением Новикова и циклоидным?
4. Какие способы корригирования цилиндрических зубчатых передач вам известны?
5. С какой целью производят смазку зубчатых передач?

ГЛАВА II. ОСНОВЫ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

§ 1. Общие сведения о резании

Резанием металлов называют процесс механической обработки металлов посредством снятия стружки. Обработка резанием производится режущим инстру-

ментом на металлорежущих станках. Она характеризуется большим разнообразием методов и технологических условий. Практически все металлы и сплавы подвергаются обработке резанием: твердые и мягкие, вязкие и хрупкие, простой и сложной геометрической формы. В процессе резания различают следующие виды движений (рис. 26):

1) главное рабочее движение, позволяющее производить процесс резания и определяющее скорость v резания (вращение заготовки при точении, сверла при сверлении, перемещение заготовки при строгании и т. д.);

2) движение подачи, характеризующее подачу s при резании (перемещение резца при точении, сверла вдоль оси при сверлении, резца при строгании и т. д.);

3) вспомогательное движение, характеризующее перемещение z инструмента при подготовке к процессу резания.

§ 2. Резец и элементы его режущей части

Среди большого числа конструкций режущего инструмента, применяемого для обработки металлов резанием, одним из наиболее простых и распространенных является токарный резец (рис. 27, а).

Резец состоит из двух основных частей: головки (рабочей части с режущими кромками) и тела (служащего для закрепления резца в суппорте или державке). Головка резца имеет переднюю поверхность, по которой сходит стружка, и задние поверхности — главную и вспомогательную. В результате пересечения передней и задних поверхностей образуются главная и вспомогательная режущие кромки. Главная режущая кромка выполняет основную работу резания. В месте сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок образуется вершина резца. Вершину резца обычно выполняют закругленной.

На заготовке при резании (рис. 27, б) различают следующие поверхности: обрабатываемую, обработанную и резания.

Расположение поверхностей рабочей части резца и его режущих кромок в пространстве характеризуется углами, которые называют углами резца. Для определения углов резца его ось располагают перпендикулярно или параллельно направлению подачи, а вершину ус-

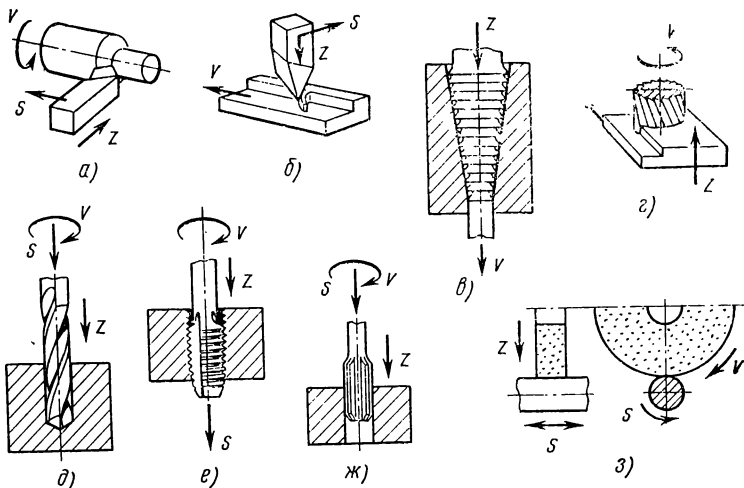


Рис. 26. Виды движений в процессе резания металлов:
 а — точение, б — строгание, в — протягивание, г — фрезерование, д — сверление, е — нарезание резьбы, ж — развертывание, з — шлифование

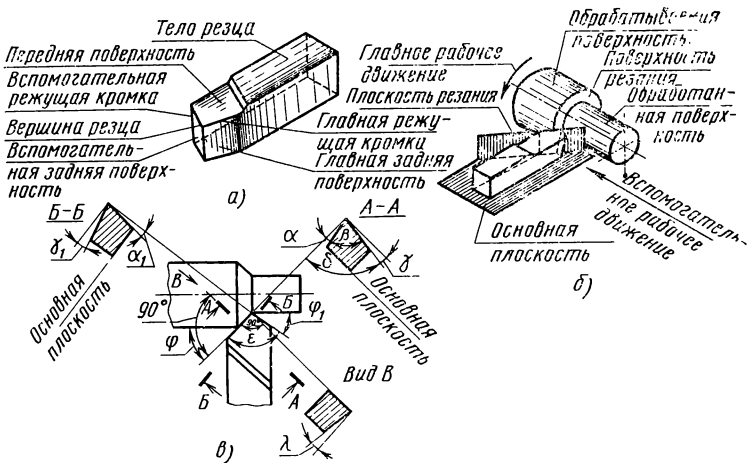


Рис. 27. Геометрия резца:
 а — элементы резца, б — координатные плоскости, в — углы резца

танавливают в горизонтальной плоскости на линии центров токарного станка. При этом используют следующие координатные плоскости: резания (см. рис. 27, б), основную, главную секущую ($A-A$) и вспомогательную секущую ($B-B$) (рис. 27, в).

Плоскостью резания называют плоскость, касательную к поверхности резания и проходящую через главную режущую кромку резца. Основную называют плоскость, параллельную направлениям продольной и поперечной подачи. Главной секущей плоскостью называется плоскость $A-A$, перпендикулярная проекции главной режущей кромки на основную плоскость. Вспомогательной секущей плоскостью называется плоскость $B-B$, перпендикулярная проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

У резца различают главные и вспомогательные углы, которые в данном случае рассматривают в статическом состоянии. Углы резца, измеряемые в главной секущей плоскости $A-A$, называют главными.

Главный задний угол α — угол между главной задней поверхностью и плоскостью резания — способствует уменьшению трения между обрабатываемым материалом и инструментом.

Угол резания δ — угол между передней поверхностью и плоскостью резания — оказывает наибольшее влияние по сравнению с другими углами резца на деформацию срезаемого слоя металла, нагрузку при резании, стойкость режущего инструмента.

Угол заострения β — угол между передней и главной задней поверхностью резца.

Между главным задним углом, углами резания и заострения существует зависимость: $\delta = \alpha + \beta$.

Главный передний угол γ — угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания и проходящей через главную режущую кромку. Углы, измеряемые во вспомогательной секущей плоскости $B-B$, называют вспомогательными.

Вспомогательный задний угол α_1 — угол между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости.

Вспомогательный передний угол γ_1 — угол между передней поверхностью резца и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку параллельно ос-

новной плоскости. Углы, измеряемые в основной плоскости, называют углами в плане.

Главный угол φ в плане — угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Вспомогательный угол φ_1 в плане — угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением, противоположным направлению подачи.

Угол ϵ при вершине в плане — угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость.

Угол λ — наклона главной режущей кромки — угол между главной режущей кромкой и плоскостью, проведенной через вершину резца параллельно основной плоскости. Этот угол может быть положительным, отрицательным или равным нулю.

§ 3. Образование стружки при шевинговании

Образование стружки при резании металлов обычно сопровождается сложными физическими явлениями. Рассмотрим основы этого процесса при работе простейшего инструмента — токарного резца. Под действием силы P (рис. 28, а) резец вдавливается в металл, сжимает его своей передней поверхностью и вызывает сначала упругие, а затем пластические деформации металла вблизи поверхности инструмента. По мере продвижения резца напряжения в срезаемом слое будут расти и, когда они достигнут величин, превышающих прочность обрабатываемого материала, происходит сдвиг первого элемента металла, называемого элементом стружки. При дальнейшем продвижении инструмента деформируется следующий (ближайший) слой металла, в результате чего образуются второй, третий и последующие элементы стружки. Таким образом резец, срезая последовательно частицы металла со всей обрабатываемой поверхности, превращает металл, подлежащий удалению, в стружку.

Образование стружки при шевинговании имеет характерные для данного вида обработки особенности. Целью шевингования — чистовой операции при обработке зубчатых колес — является исправление погрешности шага, профиля и направления зуба в зацеплении, уменьшение шероховатости поверхности и т. д. В процессе шевингования снимается тонкая иглообразная стружка толщиной

0,02—0,1 мм. Стружка с боковых поверхностей обрабатываемых зубьев снимается режущими кромками мелких зубчиков, расположенных на зубьях шевера. Резание осуществляется путем скрещивания осей шевера и обрабатываемого колеса и плотного зацепления колеса и шевера благодаря сближению их в радиальном направлении. Шевер образует с обрабатываемым колесом передачу, на поверхности зубьев которой происходит движение обкатки (по высоте профиля зуба) и винтовое движение

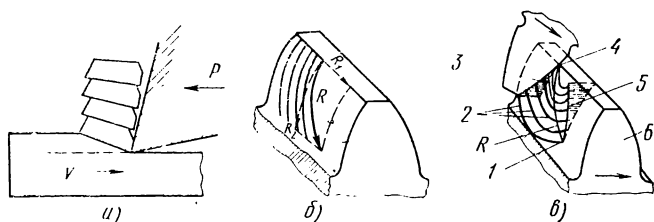


Рис. 28. Схема образования стружки:

a — при точении, *б* — при шевинговании, *в* — траектории движений шевера и заготовки

(по направлению длины зуба). Стружка снимается при относительном движении зубьев шевера и колеса. При шевинговании режущая кромка шевера описывает на боковой поверхности зуба колеса траекторию R (рис. 28, б), которая складывается из движения R_2 обкатки и винтового движения R_1 . Наибольшее влияние на процесс шевингования оказывает движение R_1 , а наименьшее — R_2 .

На рис. 28, в показано относительное движение режущей кромки шевера и боковой поверхности зуба колеса б при шевинговании. В положении, соответствующем началу зацепления, режущая кромка шевера контактирует с зубом обрабатываемого колеса в точке 4. При последующем взаимном вращении колеса и шевера режущая кромка последнего из начального положения 3 перемещается в конечное положение 5, причем каждая ее точка описывает криволинейную траекторию 2. В процессе зацепления контакт перемещается по режущей кромке шевера из точки 4 в точку 1, описывая на поверхности зуба траекторию R . В результате этого движения шевер срезает тонкую иглообразной формы стружку, причем на одной стороне стружка снимается с ножки в направлении головки зуба, а на противоположной — с головки в направлении ножки зуба. Чтобы обработать всю

поверхность зуба, необходимо продольное перемещение колеса. По такой схеме осуществляется снятие стружки при параллельном и диагональном шевинговании.

При параллельном шевинговании продольное перемещение равно ширине зубчатого венца. При диагональном шевинговании это расстояние уменьшается вследствие углового перемещения зубчатого колеса. Обработку можно производить двумя методами — встречным и попутным шевингованием.

При встречном шевинговании режущие зубчики шевера последовательно срезают металл, оставляя на зубе колеса следы 1, 2 и 3 резов (рис. 29, а) в направлении от обработанной поверхности к необработанной. В начале резания перед режущей кромкой зубчика 4 шевера в результате пластической деформации образуется накопление 5 металла, основная масса которого затем срезается зубчиком шевера. Незначительная часть металла вдавливается задней поверхностью зубчика 4, создавая наклеп на поверхности обрабатываемого зуба и уменьшая шероховатость его поверхности.

Попутное шевингование осуществляется в направлении от необработанной поверхности к уже обработанной, оставляя на профиле зуба следы 1, 2 и 3 резов (рис. 29, б). При проникновении режущего зубчика 4 в металл сначала происходит деформация (уплотнение металла) расположенного под задней поверхностью режущего зубчика 4, а затем — срезание элемента стружки. Для внедрения режущего зубчика в металл необходимо приложить усилие значительно большее, чем при встречном шевинговании, что может привести к снижению точности обработки. Попутное шевингование применяют, как правило, при обработке вязких материалов, так как в этом случае предварительное упрочнение материала способствует лучшему образованию стружки по сравнению со встречным шевингованием. Процесс стружкообразования со-

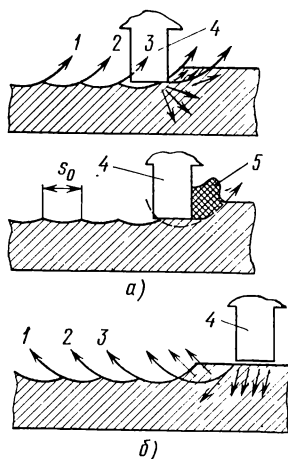


Рис. 29. Образование стружки при встречном (а) и попутном (б) шевинговании

проводятся такими явлениями, как усадка стружки, упрочнение поверхностного слоя, повышение температуры в зоне резания и износ режущего инструмента.

§ 4. Элементы резания при зубонарезании

К элементам резания при обработке зубчатых колес относятся скорость резания, подача и глубина резания.

Скорость v резания — перемещение режущей кромки инструмента относительно поверхности резания в единицу времени в процессе осуществления главного движения. При шевинговании различают окружную скорость шевра и скорость резания.

Окружная скорость шевра $v_0 = \pi dn/1000$, где d — номинальный делительный диаметр шевра, мм; n — частота вращения шевра, об/мин.

При выборе режима резания обычно используют окружную скорость шевра, которую, как и при всех других методах обработки, выбирают в зависимости от обрабатываемости материала, его твердости, времени обработки, стойкости инструмента и т. д. Скорость резания при шевинговании (скорость движения режущей кромки шевра по боковой поверхности зуба) $v = v_0 \sin \gamma$ для прямозубых и $v = v_0 \sin \gamma / \cos \beta$ для косозубых цилиндрических колес, где γ — угол скрещивания осей шевра и колеса; β — угол наклона линии зуба обрабатываемого колеса.

Подача s — перемещение режущей кромки в единицу времени в направлении движения подачи. При обработке зубьев применяют следующие виды подач:

1. Подача s_0 за один оборот заготовки (мм/об) при обработке зубьев шеврами, червячными и дисковыми модульными фрезами.

2. Продольная (минутная) подача s_M (мм/мин) при зубошевинговании и зубохонинговании. Подачи s_M и s_0 связаны зависимостью $s_M = s_0 n$.

3. Радиальная подача s_p (мм) на один ход стола при зубошевинговании.

4. Круговая подача $s_{кр}$ (мм/дв. ход) за двойной ход долбяка при зубодолблении.

5. Подача s_z на зуб фрезы (мм/зуб) при закруглении зубьев пальцевой фрезой, снятии фасок и нарезании прямозубых конических колес дисковыми фрезами. Подачи s_M и s_z связаны зависимостью $s_M = s_z z_n n$, где z_n — число зубьев фрезы.

6. Радиальная подача s_t врезания (мм/дв. ход) при зубодолблении. Поддачи s_t и $s_{кр}$ связаны зависимостью $s_t = (0,15 \div 0,2) s_{кр}$.

7. Подача $s_{вр}$ врезания и подача $s_{об}$ обкатки при нарезании гипоидных и конических колес с прямыми и криволинейными зубьями. Эти поддачи, применяемые раздельно или в комбинации друг с другом, характеризуются временем t_z обработки одного зуба (с/зуб).

Виды поддач зависят от метода шевингования. При параллельном, диагональном и тангенциальном шевинговании применяют три вида поддач: s_0 ; s_m и s_p . Изменение радиальной поддачи за один цикл шевингования ($s_p = 0,02 - 0,1$ мм) осуществляется ступенчато. Обычно в начале цикла резания радиальная подача больше, чем в конце, в результате чего толщина срезаемой стружки при каждом ходе стола неодинакова.

В современных шевинговальных станках при параллельном и диагональном шевинговании используются две продольные поддачи: черновая (в начале цикла) и чистовая (в конце цикла). При врезном шевинговании продольная подача не применяется и резание осуществляется при постоянной радиальной подаче на оборот обрабатываемого колеса; при этом толщина стружки, срезаемой каждым режущим зубчиком, одинакова.

Глубина t резания (мм) — толщина слоя, срезаемого с поверхности заготовки за один рабочий ход инструмента, измеренная в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности. При нарезании зубьев из целых заготовок за один проход глубина резания равна высоте зуба. Если зубья нарезают за несколько проходов, то глубиной резания является часть высоты зуба, на которую увеличилась глубина впадины. При параллельном, диагональном и тангенциальном шевинговании ступенчатая радиальная подача на ход стола соответствует глубине резания. Глубина резания при врезном шевинговании равна припуску на обработку в радиальном направлении.

§ 5. Износ инструмента

Процесс резания при снятии стружки инструментом сопровождается значительным выделением теплоты в зоне обработки. Источниками образования теплоты являются работа, затрачиваемая на упруго-пластическую деформацию срезаемого слоя металла, трение задней по-

верхности инструмента об обрабатываемую поверхность детали и трение сходящей стружки о переднюю поверхность инструмента. Выделяющаяся при резании теплота существенно влияет на процесс резания, и прежде всего на износ инструмента. При износе режущие кромки инструмента теряют свою первоначальную форму, в результате чего ухудшается геометрическая форма и снижается качество обрабатываемой поверхности, уменьшается стойкость инструмента (время непрерывной работы инст-

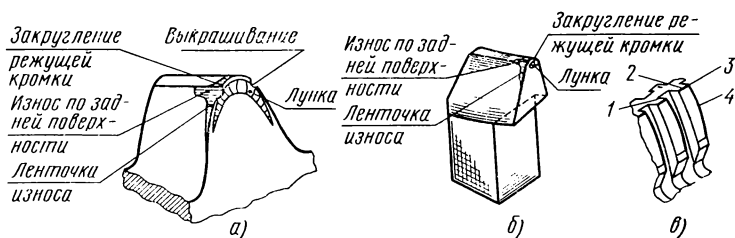


Рис. 30. Виды износа:

а — зуб червячной фрезы, *б* — наружного резца резцовой головки, *в* — режущих зубчиков шевера

румента от заточки до заточки). Выделяемая при резании теплота расходуется на нагрев стружки (25—80%), заготовки (10—50%) и режущего инструмента (2—8%); кроме того, незначительное количество теплоты излучается в окружающую среду. С увеличением скорости резания количество теплоты, расходуемой на нагрев заготовки уменьшается, а расходуемой на нагрев стружки и инструмента — увеличивается. Нагрев режущего инструмента снижает его твердость и способствует его ускоренному изнашиванию.

С увеличением скорости резания, подачи и глубины резания температура режущего инструмента, а следовательно, и его износ повышаются, причем наибольшее влияние на этот процесс оказывает скорость, а наименьшее — глубина резания.

Помимо указанных параметров износ зависит от геометрии и материала инструмента, обрабатываемого материала, охлаждения и т. д. Зуборезный инструмент (особенно при чистовой обработке), срезающий тонкие стружки при высокой скорости резания, в наибольшей степени изнашивается по задним поверхностям режущих зубьев. Виды износа зуборезного инструмента приведены

на рис. 30. У червячной фрезы, долбяка, резцов резцовой головки наибольшему износу подвергается задняя поверхность в зоне сопряжения задней и боковой поверхностей, непосредственно по радиусу закругления. На боковых поверхностях может иметь место выкрашивание.

В процессе шевингования стружка снимается за несколько ходов стола с реверсированием направления вращения шевра в конце каждого хода. При изменении направления вращения снятие стружки переходит с одной режущей кромки зубчика (рис. 30, в) на параллельную ей вторую режущую кромку того же зубчика. Во время зацепления зубьев шевра и колеса снятие стружки помимо режущей кромки 4, расположенной по высоте профиля зуба шевра, производит режущая кромка 2, находящаяся на головке зубчика. Режущая кромка 2 снимает стружку всей своей шириной только при входе в зацепление и выходе из него. Уголок 3 между режущими кромками 2 и 4 совершает дополнительное движение резания в направлении длины зуба, поэтому эта зона подвергается наибольшему износу. В результате износа участок 3 скругляется, образуя радиус 1, который является критерием для определения износа шевра. Критерием затупления зуборезного инструмента при черновом зубонарезании зубчатых колес является износ по задней поверхности в пределах 0,8—1,2 мм. На чистовых операциях износ режущих зубьев незначителен, около 0,2—0,3 мм. Его обычно оценивают по шероховатости поверхности. Износ зубчиков шевра на различных участках неодинаков, с увеличением износа увеличивается шероховатость поверхности, возникают погрешности профиля зубьев обрабатываемого колеса и резко увеличиваются усилия резания.

Шевер имеет сложную форму, трудоемок в изготовлении и заточке, при его эксплуатации необходимо осуществлять систематический контроль износа по качеству шероховатости поверхности и точности геометрических параметров зубчатого колеса. Чрезмерный износ не только ухудшает качество изготовления зубчатых колес, но может вызвать поломку режущих зубчиков. Поломка может произойти и от забивания стружки в канавки между зубчиками. Для повышения качества и срока службы шевров применяют принудительную смену режущего инструмента после обработки определенного количества деталей.

§ 6. Силы резания

При обработке металлов резанием внедрение инструмента в заготовку, деформирование слоя металла и срезание стружки осуществляются силами, оказывающими сопротивление инструменту. Эти силы, зависящие от условий резания, называют силами резания. Определение сил резания необходимо для расчета на прочность

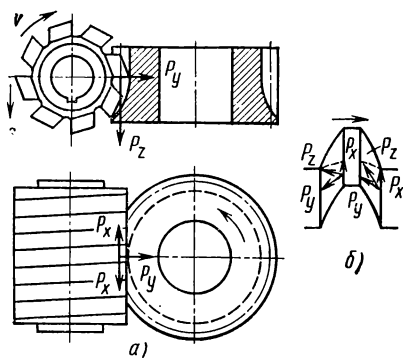


Рис. 31. Силы резания при зубофрезеровании (а) и шевинговании (б)

элементов станка, технологической оснастки и мощности привода станка. Силы резания оказывают также влияние на стойкость режущего инструмента, точность обработки, производительность станка и т. д.

Силы резания, возникающие при зубофрезеровании и шевинговании, показаны на рис. 31. Главная сила резания P_z производит основную работу резания и действует перпендикулярно

передней поверхности зуба червячной фрезы. Максимальное влияние на величину главной силы резания оказывают модуль зубчатого зацепления и подача, определяющие объем снимаемого металла и толщину стружки. В меньшей степени на P_z влияют угол наклона линии зубьев колеса, скорость резания, обрабатываемый материал и конструкция червячной фрезы. По величине главной силы рассчитывают механизмы станка и определяют потребляемую мощность на шпинделе. В горизонтальной плоскости, параллельно оси фрезы, действует окружная сила P_x , которая зависит от главной силы резания и направление которой может как совпадать, так и не совпадать с направлением вращения стола станка. Если направление винтовой линии червячной фрезы совпадает с направлением наклона линии зуба колеса, то окружная сила направлена против вращения стола. При несовпадении направлений винтовой линии фрезы и наклона линии зуба колеса окружная сила действует в направлении вращения стола (в этом случае резко возраста-

ет величина P_x , снижается точность и качество обработанной поверхности зубьев). Радиальная сила P_y действует перпендикулярно оси червячной фрезы и всегда направлена в сторону заготовки.

Усилие резания и мощность главного привода при зубофрезеровании в наибольшей степени зависят от подачи и числа заходов червячной фрезы.

Силу P_z резания, действующую на режущую кромку зуба шевра в процессе шевингования, можно разложить на продольную составляющую P_x (см. рис. 27, б), которая действует на механизм продольной подачи, и радиальную составляющую P_y , отжимающую заготовку от шевра.

При традиционном параллельном и диагональном шевинговании резание осуществляется в эллиптической зоне вокруг точки скрещивания осей шевра и колеса в виде эллипса.

§ 7. Шероховатость поверхности

В процессе обработки металлов резанием в результате пластического деформирования поверхностного слоя и отрыва частиц металла при образовании стружки, копировании дефектов режущих кромок инструмента, трения инструмента о металл и других факторов на обработанной поверхности образуются неровности (следы режущего инструмента), совокупность которых называется шероховатостью.

Назначением шевингования в технологическом процессе зубообработки является уменьшение шероховатости поверхности зубчатых колес после зубофрезерования или зубодолбления. Шероховатость поверхности оказывает большое влияние на эксплуатационные показатели зубчатых колес; с ее уменьшением снижается уровень шума, повышается контактная прочность незакаленных зубчатых колес и т. д. Поэтому при изготовлении зубчатых колес очень важно, чтобы шероховатость поверхности соответствовала техническим требованиям чертежа. При параллельном и диагональном шевинговании обрабатываемая поверхность образуется последовательным срезанием мелкой стружки режущими зубчиками шевра. Чтобы обработать зуб колеса по всей длине, необходимо применить продольную подачу стола.

На рис. 32, а показаны следы резов 1, 2 и 3 шевра

при продольной подаче стола. Вследствие различной глубины резания выступы между соседними резами на боковой поверхности обрабатываемого зуба имеют неодинаковую высоту, что ухудшает качество обработанной поверхности.

Форма и размеры срезаемой стружки в этих процессах также неодинаковы. Наибольшая высота микронеровностей (выступов) $R_{\max} = 2 \div 3$ мкм. Из-за малой толщины срезаемой стружки режущая кромка зубчика шевера не всегда может свободно срезать металл с поверхности зуба, в результате чего несрезанный материал уплотняется (сглаживается) и качество поверхности при этом улучшается. Чтобы уменьшить шероховатость обрабатываемой поверхности, следует уменьшить продольную подачу стола, а в конце цикла шевингования обрабатываемому колесу, расположенному на столе, сообщить два—четыре калибрующих продольных хода без радиальной подачи. Шевингование целесообразно производить со встречной подачей, т. е. в направлении от обработанной поверхности к необработанной.

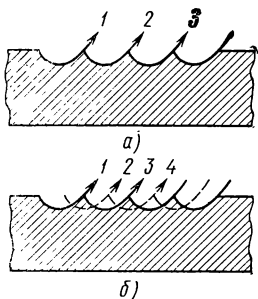


Рис. 32. Следы от подачи режущей кромки зубчика шевера при параллельном и диагональном (а) и врезном (б) шевинговании

Смазочно-охлаждающая жидкость должна быть соответствующего качества и хорошо очищена от мелких металлических частиц.

При врезном шевинговании (рис. 32, б) следы резов 2 и 4 располагают в середине следов предшествующих резов 1 и 3, в результате чего шероховатость поверхности уменьшается до $R_{\max} = 1 \div 1,5$ мкм.

Количественно шероховатость поверхности оценивается следующими параметрами (одним или сразу несколькими): среднее арифметическое отклонение R_a профиля; высота R_z неровностей профиля, определяемая по десяти точкам; наибольшая высота R_{\max} неровностей; средний шаг профиля неровностей S_m ; средний шаг S неровностей профиля по вершинам; относительная опорная длина t_p профиля. Из перечисленных параметров предпочтительным является R_a .

Шероховатость поверхности измеряется контактным методом с помощью шуповых приборов (профилометров

и профилографов) и бесконтактным методом с использованием оптических приборов или путем визуального сопоставления с эталонами.

§ 8: Смазочно-охлаждающие жидкости

В процессе резания смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) выполняет следующие функции: смазку, способствующую уменьшению трения между инструментом и стружкой, а также между инструментом и деталью; охлаждение путем отвода теплоты, возникающей при резании; промывку зоны резания, удаление стружки, уменьшение контакта стружки с инструментом.

Правильный выбор СОЖ и метод ее подачи в зону резания влияют на производительность станка, период стойкости инструмента и качество обрабатываемой поверхности. С увеличением скорости резания значение охлаждающего действия СОЖ возрастает, а значение смазывающего — уменьшается. При обработке высоколегированных и труднообрабатываемых материалов резанием смазывающее действие СОЖ имеет наибольшее значение.

При нарезании цилиндрических и конических зубчатых колес СОЖ необходимо подавать в зону резания обильно и под определенным давлением. Для этих работ наиболее эффективной жидкостью является сульфорезол — масло, содержащее до 1,7% серы.

При шевинговании тип смазочно-охлаждающей жидкости и степень ее загрязнения оказывают непосредственное влияние на производительность резания, срок службы шевера и шероховатость поверхности обрабатываемых зубьев. Для охлаждения шевера следует применять жирные, вязкие масла с хорошими смазочными свойствами, которые должны сохраняться при температуре до 50°C. Во время шевингования возникает большое скольжение вблизи головки и ножки зубьев обрабатываемого колеса, что может вызвать заедание на профиле зубьев колеса и образование налива на режущих кромках зубьев шевера. Хорошие результаты при обработке сталей дает масло с содержанием серы 3—3,5%, сульфорезол и масло ВНИИНП-403, а при обработке бронзы, серого чугуна и алюминия — смесь из восьми частей керосина и одной части легкого машинного масла. В нормальных условиях работы СОЖ заме-

няют 1 раз в два-три месяца, а доливают до необходимого уровня не реже, чем 1 раз в неделю.

В процессе шевингования образуется тонкая иглообразная стружка, которая, попадая вместе с охлаждающей жидкостью на режущие кромки шевера, действует как абразивное средство, тупит их, отчего снижается период стойкости шеверов и повышается шероховатость поверхности на профилях зубьев обрабатываемого колеса. Для очистки СОЖ от мелкой стружки зубошевинговальные станки оснащаются магнитными сепараторами или центрифугами. СОЖ вместе со стружкой удаляется из зоны резания самотеком и через сливной патрубок поступает в магнитный сепаратор, где производится тонкая очистка жидкости от мелких металлических частиц. Затем очищенная от стружки СОЖ поступает в резервуар, откуда с помощью насоса снова подается в зону резания. СОЖ должна подаваться в достаточном количестве и под определенным давлением.

Контрольные вопросы

1. Какие основные виды движений различают при резании?
2. Из каких видов движения складывается результирующее движение шевера по боковой поверхности зуба?
3. Как определяется скорость резания и подача?
4. Какие из элементов режимов резания оказывают наибольшее влияние на износ режущего инструмента?
5. Какие силы резания возникают при зубофрезеровании и шевинговании?
6. По каким параметрам можно оценить шероховатость поверхности зубьев?
7. Какие функции выполняет при резании смазочно-охлаждающая жидкость?

ГЛАВА III. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

§ 1. Материалы для изготовления зубчатых колес

Зубчатые колеса изготавливают из различных материалов: стали, чугуна, цветных металлов, металлических порошков, пластмасс и др. Материал для изготовления зубчатых колес выбирают в зависимости от условий эксплуатации и типа зубчатых передач, их геометрических параметров и передаваемых нагрузок, окружных скоростей и т. д.

Наиболее распространенным материалом для изготовления зубчатых колес является сталь. При выборе марки стали для зубчатых передач автомобилей, тракторов, самолетов, станков и других машин, передающих большие нагрузки с высокими окружными скоростями, определяющими факторами являются прочность зубьев (сопротивление на изгиб), контактная прочность зубьев (сопротивление усталостному выкрашиванию) и сопротивление износу в процессе эксплуатации. При этом учитывают также стоимость материала и возможность его обработки резанием, степень деформации в процессе закалки и т. д. Для изготовления зубчатых колес применяют следующие стали: углеродистые — 40, 45, 50; углеродистые пониженной прокаливаемости — 55ПП; хромистые — 20Х, 35Х, 40Х, 50Х; хромоникелевые — 12ХН3А, 12Х2Н4А, 20ХН, 40ХН; хромомарганцевые — 18ХГ; хромомарганцевые с титаном — 18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ; хромомолибденовые — 20ХМ; хромоалюминиевые с молибденом — 38ХМЮА, 38Х2МЮА; хромоникельмолибденовые — 18Х2Н4МА; хромоникельмолибденовые с титаном — 25ХГНМТ.

Вследствие значительных деформаций при закалке и сравнительно низкой прочности углеродистые стали не нашли широкого применения при изготовлении зубчатых колес.

Высоким эксплуатационным требованиям, предъявляемым к зубчатым передачам, в наибольшей степени отвечают стали, легированные одним или несколькими легирующими элементами.

Хром является одним из наиболее универсальных легирующих элементов. Он усиливает действие углерода, повышает твердость, износостойкость, увеличивает предел упругости, прочность на разрыв и прокаливаемость.

Никель увеличивает ударную прочность, предел упругости и прочность стали на разрыв. Прочная и вязкая поверхность никелевых сталей обеспечивает высокое сопротивление усталости и износу. Никелевые стали хорошо цементируются, что уменьшает деформации при закалке. Однако обрабатываемость резанием несколько ухудшается.

Молибден увеличивает прокаливаемость сталей и уменьшает их твердость.

Титан способствует уменьшению размера зерна, глубины цементованного слоя и прокаливаемости, склонен

к образованию карбидов, ухудшает обрабатываемость резанием.

Марганец повышает деформацию деталей при закалке и ухудшает обрабатываемость резанием. Количество марганца в стали стремятся снизить.

Стали, легированные алюминием, хорошо азотируются, имеют пониженную ударную вязкость.

Зубчатые колеса, изготовленные из легированных сталей со средним содержанием углерода (0,15—0,25%), подвергаются цементации и закалке. Закаленные колеса из цементуемой стали имеют твердость на поверхности зубьев HRC 60—63 и в сердцевине HRC 30—40, что позволяет применять их при работе в условиях ударных и знакопеременных нагрузок. В зависимости от размера зубчатых колес глубина цементованного слоя составляет 0,8—2 мм.

Зубчатые колеса из сталей с содержанием углерода 0,4% и более подвергаются объемной и поверхностной закалке.

Широко применяется в промышленности для изготовления зубчатых колес углеродистая сталь 55ПП пониженной прокаливаемости. Эта сталь по сравнению с обычной углеродистой сталью имеет пониженное содержание марганца, хрома, никеля, закаливается в специальных агрегатах с индукционным нагревом ТВЧ (токами высокой частоты).

Зубчатые колеса, передающие небольшие крутящие моменты при малых окружных скоростях, изготавливают из чугуна марок СЧ28, СЧ32, СЧ36.

Червячные колеса изготавливают из чугуна, бронзы и латуни. Чугунные колеса изготавливают при скоростях скольжения зубьев до 2 м/с. Для изготовления червячных колес, работающих с окружной скоростью свыше 4—6 м/с, применяют оловянистые бронзы марок Бр.ОНФ и Бр.ОФ 10-1, которые обладают высокими антифрикционными и антикоррозионными свойствами.

В приборах и малонагруженных механизмах машин используются зубчатые колеса из цветных металлов и пластмасс (капрона, капролона, текстолита и др.).

§ 2. Производственный и технологический процессы

Производственный процесс представляет собой совокупность действий, в результате которых изменяются форма, размеры или свойства материалов. Производст-

венный процесс охватывает подготовку средств производства и организацию обслуживания рабочих мест; получение и хранение материалов; изготовление деталей машин; сборку узлов и изделий; технический контроль; упаковку готовой продукции и другие действия, связанные с изготовлением изделий.

Технологический процесс является частью производственного процесса и включает в себя последовательность операций, необходимых для изготовления изделия.

Технологическая операция — законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте, состоит из ряда элементов.

Установ — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

Технологический переход — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

Вспомогательный переход — законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей, но необходимы для выполнения технологического перехода.

Рабочий ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхностей или свойств заготовки.

Позицией называют фиксированное положение, неизменно занимаемое обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции.

Изделием в машиностроении называют предмет производства, подлежащий изготовлению. В зависимости от вида конечной продукции конкретного производства изделием может быть машина, узлы машины и отдельная деталь. Для автомобильного завода изделием является автомобиль, для редукторного завода — редуктор, для завода, изготавливающего зубчатые колеса, — зубчатое колесо.

Деталью называют изделие или его составную часть, изготовленную из одинакового по наименованию и марке материала. Характерной особенностью детали является отсутствие в ней разъемных и неразъемных соединений.

Припуском называют слой металла, удаляемый в процессе изготовления с поверхности заготовки. Припуск измеряют перпендикулярно обрабатываемой поверхности.

Общим припуском называют слой металла, который удаляют с поверхности заготовки для получения детали в окончательно обработанном виде. Общий припуск определяют как разность между размерами заготовки и детали.

В зависимости от объема выпуска деталей различают три типа производства: единичное, серийное и массовое.

Единичным называют производство, характеризующееся широкой номенклатурой изготавливаемых изделий и малым объемом их выпуска.

Характерной особенностью единичного производства является применение универсального оборудования, способного обрабатывать детали разнообразных форм и конструкций с большим диапазоном размеров. Зажимные приспособления специально для каждой детали не изготавливают, а подбирают из числа имеющихся стандартных или осуществляют незначительную их переделку. Обработку производят стандартным режущим инструментом. Число технологических операций по возможности сокращают, ведя обработку с большим числом рабочих ходов. Для зубообработки характерны совмещение черновых и чистовых операций и низкие режимы резания.

Серийным называют производство, характеризующееся периодически повторяющимися через определенное время партиями одинаковых изделий со сравнительно большим объемом выпуска. В зависимости от количества изделий в партии различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство. Технологический процесс разделяется на значительно большее, чем при единичном производстве, число операций, которые закрепляют за отдельными станками. В серийном производстве используют как универсальные, так и специальные станки. Зажимные приспособления подбирают из стандартных или изготавливают вновь. Режущий инструмент — стандартный.

При производстве зубчатых колес применяют различные методы их изготовления в зависимости от типа ко-

леса, требуемой точности и объема партии. Если требуется высокая точность изготовления зубчатых колес или обрабатывается сравнительно большая партия, то у всей партии деталей сначала производят черновое, а затем (после переналадки станка) чистовое зубонарезание; возможна также чистовая обработка зубьев на отдельном станке. При необходимости вводятся отделочные операции — зубошлифование и зубохонингование.

Массовым называют производство, характеризующееся большим объемом выпуска одинаковых изделий непрерывно в течение продолжительного времени. Основным признаком массового производства является закрепление рабочих мест за одними и теми же постоянно повторяющимися операциями. Массовое производство характеризуется применением высокопроизводительного автоматизированного оборудования. Обработку ведут в поточных и автоматических линиях. Режущий инструмент и зажимные приспособления имеют сложную конструкцию, их изготавливают специально для каждой детали.

Зубчатые колеса изготавливают с помощью высокопроизводительных методов обработки. Для чернового и чистового нарезания зубьев применяют специализированные станки, работающие на высоких режимах резания.

§ 3. Базы, их выбор и точность обработки

Каждая деталь имеет основные и вспомогательные поверхности. Из числа основных поверхностей, изготавливаемых с более высокой (по сравнению с вспомогательными поверхностями) точностью и качеством поверхности, выбирают базовые поверхности, которые служат для базирования детали при эксплуатации в машине, при механической обработке, сборке и контроле.

Базированием называют придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

Базой называют поверхность или сочетание поверхностей, ось, точку, принадлежащие заготовке или изделию и используемые для базирования.

Базирование необходимо на всех стадиях создания изделия, т. е. при конструировании, изготовлении и измерении. В зависимости от назначения различают базы конструкторские, технологические и измерительные.

Конструкторской называют базу, используемую для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. Для цилиндрических зубчатых колес такими базами являются: центральное отверстие 1, шпоночный паз 2, торцы 3 и 6 у колеса-диска (рис. 33, а); отверстия 7 и 10, торцы 8 и 9 у колеса-блока (рис. 33, б); шейки 12 и 15; торцы 13 и 14 у колеса-вала (рис. 33, в).

Конструкторские базы подразделяются на основные и вспомогательные.

Основной называют конструкторскую базу, принадлежащую данной детали или сборочной единице и используемую для определения ее положения в изделии. Такими базами являются: отверстие 1, шпоночный паз 2 и торец 6 у колеса-диска; отверстия 7 и 10 и торец 9 у колеса-блока; шейки 12 и 15 и торцы 13 и 14 у колеса-вала.

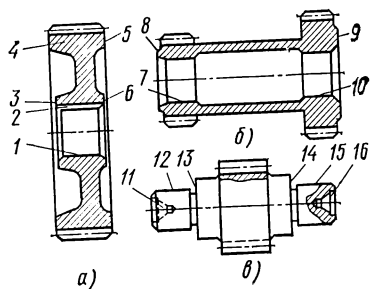


Рис. 33. Базы цилиндрических зубчатых колес:
а — колесо-диск, б — колесо-блок, в — колесо-вал

Вспомогательной называют конструкторскую базу, принадлежащую данной детали или сборочной единице и используемую для определения положения присоединяемого к ним изделия. Такими базами являются: торец 3 у колеса-диска; торец 8 у колеса-блока.

Технологической называют базу, используемую для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления. При зубофрезеровании и зубошвинговании за технологические базы колеса-диска принимают отверстие 1 и торец 5. Второй торец 4 используют для закрепления детали, но если одновременно обрабатывают несколько деталей, то он также становится базовым. Чтобы избежать прогиба заготовки при обработке зубьев, опорный торец 5 должен располагаться как можно ближе к зубьям, иметь достаточно большую, хорошо обработанную и перпендикулярную оси отверстия поверхность. У колеса-блока технологическими базами являются отверстия 7 и 10 и торец 9.

У цилиндрических колес-валов с модулем до 6 мм в качестве технологических баз при зубофрезеровании и зубошвинговании используются центровые отверстия 11 и 16 на торцах вала. Детали с модулем более 6 мм и

большой длиной вала базируют по шейке 15 с упором в торец 14 и поджимом в центровое отверстие 11. При необходимости во время зубофрезерования используют люнеты. Для предотвращения от забоин и повреждений центровые отверстия 11 и 16 имеют предохранительные выточки.

Измерительной называется база, используемая для определения положения заготовки или изделия относительно средств измерения. Такими базами у колеса-диска являются центральное отверстие 1 и торец 6, у колеса-блока — отверстия 7 и 10 и торец 9, у колеса-вала — центровые отверстия 11 и 16 или шейки 12 и 15 и один из торцов 13 или 14.

Выбор базовых поверхностей у зубчатых колес зависит главным образом от их формы, размера и точности изготовления. При изготовлении зубчатых колес необходимо соблюдать принцип совмещения баз, т. е. в качестве измерительной базы принимать поверхности, являющиеся технологической базой. При этом лучшие результаты по точности достигаются, когда технологической и измерительной базой является конструкторская база. Совмещение баз позволяет уменьшить накопленную погрешность изготовления и сократить число поверхностей, обрабатываемых с жесткими допусками. Из рассмотренных примеров принцип совмещения баз выдержан у колеса-блока (см. рис. 33, б). В ряде случаев принцип совмещения баз не соблюдают; так, при зубонарезании и зубошэвинговании в качестве технологических баз выбирают поверхности, которые обеспечивают более устойчивое положение заготовки в процессе резания, например, отверстие 1 и торец 5 у колеса-диска (см. рис. 33, а). При этом поверхности, принятые за технологические базы, должны быть точно изготовлены по отношению к конструкторским и измерительным базам, причем в качестве базового торца выбирают торец, имеющий наибольший диаметр; он обеспечивает более устойчивое положение заготовки при обработке зубьев, а также торец, который обработан за один установ с отверстием.

Большое влияние на точность изготовления зубчатых колес оказывает принцип постоянства баз. В ходе обработки на всех основных операциях по возможности следует использовать в качестве технологических баз одни и те же поверхности. Принцип постоянства баз соблюдается, например, при обработке колеса-вала (см. рис.

33, в), в качестве технологических баз используются центровые отверстия 11 и 16.

Производство зубчатых колес и особенно колес высокого качества характеризуется изготовлением заготовок с точными по размерам и форме базовыми поверхностями. Неточная заготовка способствует возникновению большинства погрешностей в зубчатом зацеплении. Поэтому при изготовлении зубчатых колес особое внимание следует уделять точности обработки тех поверхностей, которые являются базовыми на операциях зубообработки, контроля и сборки. Для повышения точности обработки этих поверхностей в технологический процесс вводят дополнительные финишные операции. Точность обработки базовых поверхностей в значительной степени зависит от правильного выбора конструкции зубчатого колеса, метода получения заготовки, технологического процесса механической обработки, состояния механообрабатывающего оборудования, технологической оснастки, режущего инструмента, транспортировки заготовок при механической и термической обработке.

§ 4. Типовые технологические процессы обработки цилиндрических зубчатых колес

Последовательность операций технологического процесса и тип применяемого оборудования могут в значительной степени изменяться в зависимости от размера, формы, количества и требуемого качества изготовления зубчатых колес.

Обработку заготовок цилиндрических колес-валов в единичном производстве начинают с токарной операции. Сначала на токарном станке обрабатывают один конец вала и сверлят на торце центровое отверстие, затем обрабатывают противоположный конец заготовки с последующим центрованием.

Чистовую проточку шеек вала или их шлифование производят, используя в качестве технологических баз центровые отверстия. Маршрут обработки нежестких валов усложняется из-за дополнительных операций по протачиванию или шлифованию шейки под люнет. После зубонарезания, термической обработки, зачистки центров и правки производят шлифование шеек вала, базируя вал в центровых отверстиях.

В условиях массового производства первую операцию (фрезерование и центрование торцов с двух сторон вала)

производят двумя способами. При первом способе используют фрезерно-центровальный полуавтомат: на одной позиции фрезеруют заготовку с двух сторон, а на другой обрабатывают центровые отверстия.

Более производительным является второй способ, при котором подрезание и центрование торцов производится одновременно с помощью специальных инструментальных головок 1 и 6 (рис. 34). Подрезные резцы 2, 9 и 7 обрабатывают торцы вала 4, а резцом 3 протачивают шейку вала. Центровочные сверла 5 и 8 сверлят центро-

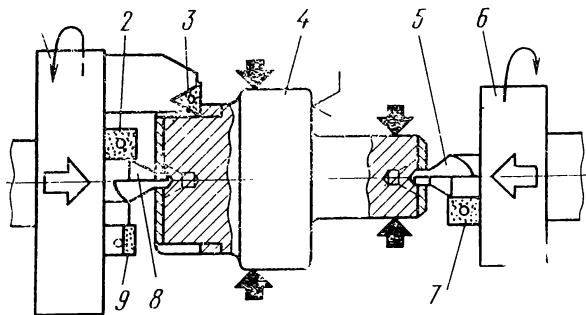


Рис. 34. Схема фрезерования и центрования торцов колеса-вала специальными инструментальными головками

вые отверстия в обоих торцах вала. Дальнейшую токарную обработку шеек колеса-вала производят обычно на гидрокопировальных, многошпиндельных вертикальных и одношпиндельных многорезцовых полуавтоматах.

В единичном производстве на токарном станке у заготовки колеса-диска, закрепленного по внешнему диаметру с упором в необработанный торец, растачивают отверстие, протачивают торцы зубчатого венца и ступицы. Затем заготовку поворачивают и, базируя на обработанное отверстие и торец, протачивают противоположные торцы и внешний диаметр. Перед операцией зубонарезания, а также после термообработки производят (на внутришлифовальном станке) шлифование отверстия и базовых торцов.

В массовом производстве токарную обработку по контуру колес-дисков осуществляют на специальных высокопроизводительных одно- и двухшпиндельных станках. В обработанной по контуру заготовке сначала хонингуют отверстие (гладкое или шлицевое), а затем,

используя это отверстие как базу, за одну установку заготовки протачивают одновременно оба базовых торца 1 зубчатого венца и торец 3 ступицы (рис. 35). Внешний диаметр 2 обрабатывают одновременно с базовыми поверхностями или ранее при обработке заготовки по контуру. В целях повышения точности обработки базовые торцы 1 и торец 3 обрабатывают последовательно.

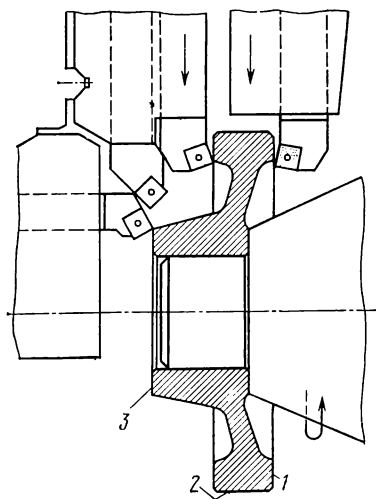


Рис. 35. Схема обработки базовых поверхностей заготовки колеса-диска

После зубонарезания и термообработки производят хонингование и шлифование отверстия и базовых торцов.

Зубофрезерование, являющееся самой трудоемкой операцией при обработке зубчатых колес, производят на высокопроизводительных станках повышенной жесткости, на высоких режимах резания, применяя в качестве инструмента многозаходные червячные фрезы. Цилиндрические зубчатые колеса с модулем до 4—5 мм обрабатывают за один рабочий ход, а колеса с большим

модулем — за два рабочих хода.

Обработка шлицев на колесах-валах является также весьма трудоемкой операцией. При изготовлении шлицев резанием целесообразно применять метод единичного деления дисковыми профильными фрезами, производительность которого на 20—30% выше, чем производительность при изготовлении шлицев методом обката червячными фрезами на зубофрезерных и шлицефрезерных станках. Наиболее эффективным методом изготовления шлицев является метод холодного накатывания планетарными роликами, производительность которого в 4—6 раз выше по сравнению с шлицефрезерованием. Например, время цикла накатывания эвольвентных шлицев двумя зубчатыми рейками составляет 3—7 с.

Наиболее распространенным методом чистовой обработки зубьев незакаленных цилиндрических колес яв-

Таблица 3

№ операции	Содержание операции	Оборудование
1	Обработка заготовки по контуру за две установки	Одно-, двух- или многошпиндельный токарный полуавтомат
2	Хонингование отверстия	Хонинговальный полуавтомат
3	Промывка	Моечный агрегат
4	Тонкое точение базовых поверхностей	Одно- или двухшпиндельный токарный полуавтомат
5	Контроль базовых и других поверхностей (выборочно)	Контрольные приборы
6	Зубофрезерование	Зубофрезерный полуавтомат или автомат
7	Снятие фасок с острых кромок зубьев	Зубофасочный полуавтомат
8	Промывка	Моечный агрегат
9	Зубошевингование	Зубошевинговальный полуавтомат или автомат
10	Промывка	Моечный агрегат
11	Контроль параметров зубьев (выборочно)	Контрольные приборы
12	Термическая обработка	Цементационно-закалочный агрегат
13	Обкатка зубьев с целью удалить забоины и заусенцы (по необходимости)	Специальный обкатной станок
14	Хонингование (шлифовальные) отверстия	Хонинговальный (шлифовальный) полуавтомат
15	Промывка	Моечный агрегат
16	Шлифование торцов ступицы	Плоскошлифовальный полуавтомат
17	Зубохонингование	Зубохонинговальный полуавтомат
18	Промывка	Моечный агрегат
19	Окончательный контроль	Контрольные приборы

Таблица 4

№ операции	Содержание операции	Оборудование
1*	Обработка заготовки по контуру	Одно- и многошпиндельные токарные полуавтоматы
2	Термическая обработка	Термическая печь
3	Растачивание отверстия и подрезка базового торца	Многорезцовый токарный полуавтомат
4	Протягивание шлицевого отверстия	Протяжной полуавтомат
5	Шлифование отверстия и торца	Внутришлифовальный полуавтомат
6	Чистовая токарная обработка внешнего диаметра	Токарный полуавтомат
7	Контроль базовых поверхностей	Контрольные приборы
8	Зубофрезерование	Зубофрезерный полуавтомат
9	Зубозакругление или снятие фасок по контуру зубьев	Зубозакругляющий или зубофасочный полуавтомат
10	Зубошевингование	Зубошевинговальный полуавтомат
11	Промывка	Моечный агрегат
12	Термическая обработка	Цементационно-закалочный агрегат
13	Шлифование внешнего диаметра	Круглошлифовальный полуавтомат
14	Шлифование внутреннего отверстия и торца	Внутришлифовальный полуавтомат
15	Шлифование боковых поверхностей шлицев	Шлицешлифовальный полуавтомат
16	Промывка	Моечный агрегат
17	Контроль базовых поверхностей	Контрольные приборы
18	Получистовое зубошлифование	Зубошлифовальный полуавтомат
19	Термообработка (старение)	Термическая печь
20	Чистовое зубошлифование	Зубошлифовальный полуавтомат
21	Промывка	Моечный агрегат
22	Окончательный контроль	Контрольные приборы

ляются шевингование. В последнее время разработаны новые способы шевингования — врезное (черновое и чистовое), а также холодная прикатка зубьев. Эти способы в ряде случаев успешно заменяют традиционное диагональное и параллельное шевингование.

Зубошлифованием производят окончательную обработку закаленных зубчатых колес 3—6-й степени точности. Наиболее высокая точность достигается при шлифовании методами копирования и обкатки с периодическим делением двумя шлифовальными кругами тарельчатой формы. Наиболее производительной при шлифовании зубчатых колес с модулем до 5 мм является обработка абразивным червяком методом обкатки.

Технологический маршрут обработки цилиндрического зубчатого колеса-диска 6—8-й степени точности коробки передач автомобиля в массовом производстве приведен в табл. 3, а технологический маршрут изготовления колеса-диска 5—6-й степени точности металлорежущего станка в серийном производстве — в табл. 4.

§ 5. Нарезание цилиндрических зубчатых колес методом копирования

В технологическом процессе механической обработки цилиндрических зубчатых колес наиболее трудоемкими являются зуборезные операции. В условиях массового производства (например, на ЗИЛе) время, затрачиваемое на зуборезные операции (нарезание зубьев, снятие фасок, раздельное закругление зубьев с двух торцов, шевингование, обкатка зубьев, зубохонингование), составляет 65% суммарного технологического времени на механическую обработку зубчатых колес коробки передач грузового автомобиля. Поэтому очень важно при совершенствовании существующего и разработке нового технологического процесса для каждой зуборезной операции выбирать наиболее эффективный метод, что позволит существенно снизить штучное время на обработку зубчатых колес.

Зубчатые колеса с эвольвентным профилем зубьев нарезают методом копирования и методом обкатки.

Принцип образования зубьев. При обработке методом копирования профиль впадины между зубьями нарезаемого колеса 2 соответствует профилю режущего инструмента 1 (рис. 36, а). В процессе нарезания заготовка обычно неподвижна, а режущий инструмент вращается и одновременно ему или заготовке сообщается продоль-

ное перемещение вдоль зуба. По окончании цикла обработки заготовка поворачивается для нарезания следующего зуба. Для нарезания и отделки зубьев методом копирования используют профильные инструменты — дисковые модульные фрезы, пальцевые модульные фрезы, многорезцовые головки, протяжки и фасонные шлифовальные круги.



Рис. 36. Обработка зубьев методом копирования (а) и методом обкатки (б)

Теоретически для каждого числа зубьев, модуля и угла профиля зубьев необходим свой режущий инструмент, что является неэкономичным. Практически одной фрезой данного модуля и угла профиля обрабатывают зубчатые колеса определенного диапазона числа зубьев, несколько снижая при этом точность профиля зубьев. Этот метод наи-

более целесообразен при черновом нарезании зубьев.

Методы нарезания зубьев. Дисковые модульные фрезы 2 (рис. 37, б) применяют для чернового и чистового нарезания цилиндрических колес 1 с прямыми и косыми зубьями, шлицевых валов, секторов, червяков, реек и т. д. Нарезание зубьев осуществляют на специальных и универсально-фрезерных станках методом копирования; каждый зуб нарезают отдельно с единичным делением. Из-за невысокой точности по шагу и профилю зубьев и низкой производительности дисковые модульные фрезы применяют ограниченно. Их используют в ремонтном деле и для изготовления небольших партий зубчатых колес грубее 9—10-й степени точности. Наиболее часто они применяются для чернового нарезания зубьев. В целях повышения производительности, особенно при обработке зубчатых колес с большим числом зубьев, одновременно обрабатывают два-три зуба колеса спаренными дисковыми фрезами. В ряде случаев дисковые модульные фрезы используют для чернового нарезания зубьев на двух-трех деталях одновременно, применяя для этого специальные станки.

Предусмотрено три набора дисковых модульных фрез: основной набор из 8 фрез применяют для нарезания зубчатых колес с модулем до 8 мм; набор из 15 фрез — для колес с модулем до 16 мм; набор из 26

фрез — для колес с более крупными модулями. Профиль фрезы соответствует профилю впадины между зубьев нарезаемого колеса, имеющего наименьшее число зубьев. Зависимость номера фрезы от числа зубьев нарезаемого колеса приведена ниже.

Номер фрезы	1	2	3	4	5	6	7	8
Число зубьев нарезаемого колеса	12—13	14—16	17—20	21—25	26—34	35—54	55—134	135 — рей

Дисковая фреза стандартной формы профиля пригодна только для нарезания прямозубых цилиндрических колес. При нарезании косозубых колес для обеспечения требуемого эвольвентного профиля зуба фреза должна иметь специальный профиль, зависящий не только от числа зубьев и модуля нарезаемого колеса, но и от угла наклона линии зуба.

При нарезании зубьев дисковой фрезой требуемый профиль зуба колеса обеспечивается в том случае, если высота зуба колеса равна заданной по чертежу. В противном случае изменяется толщина зуба и возникает погрешность профиля. Чтобы обеспечить боковой зазор в паре, необходимо при достижении требуемой по чертежу высоты зуба повернуть зубчатое колесо на небольшой угол и снять припуск, равный половине бокового зазора, сначала с одной стороны зуба, а затем с противоположной. Точность нарезания зубьев зависит также от правильности наладки и точности установки фрезы и заготовки на станке. Центральное положение фрезы устанавливают точно по оси заготовки.

Пальцевые модульные фрезы применяют главным образом для нарезания методом копирования прямозубых, косозубых и шевронных колес крупного модуля на специальных, зубофрезерных и фрезерных станках. Профиль зубьев как дисковых, так и пальцевых фрез совпадает с профилем впадины между зубьями прямозубого колеса и несколько отличается от профиля впадины косозубого и шевронного колес. Зубчатые колеса с модулем до 40 мм обычно нарезают за два рабочих хода (черновой и чистовой), а с модулем свыше 40 мм за три рабочих хода (два черновых и один чистовой). Пальцевые фрезы работают в тяжелых условиях. При консольном креплении инструмента возникают отжимы, а конусная форма инструмента обуславливает различную скорость резания. Эти и другие факторы не позволяют применять повышенные режимы резания. При на-

резании пальцевыми фрезами обычно получают зубчатые колеса 9—10-й степени точности.

Метод копирования имеет низкую производительность, если каждую впадину колеса обрабатывают одним инструментом путем единичного деления. При использовании специальной многолезвовой головки, с помощью которой обрабатываются одновременно все зубья нарезаемого колеса, производительность значительно возрастет. Методом

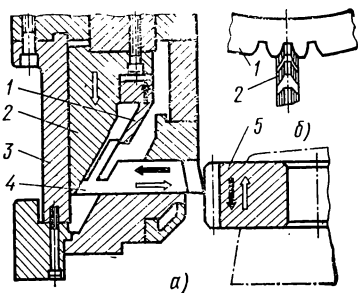


Рис. 37. Нарезание зубьев методом копирования:

а — многолезвовой головкой; *б* — дисковой модульной фрезой

одновременного долбления всех зубьев колеса можно обрабатывать наружные и внутренние (закрытые и открытые) зубчатые венцы прямозубых цилиндрических колес, зубчатые муфты с эвольвентным профилем и копиры сложных форм на специальных станках в 10—12 раз быстрее, чем при обработке на одношпиндельных зубодолбежных станках.

Число резцов в головке, расположенных в радиальном направлении с возможностью выдвижения, соответствует числу впадин обрабатываемого колеса, а форма режущей кромки резцов соответствует форме профиля впадины. В процессе обработки резцовая головка 3 (рис. 37, *а*) остается неподвижной, а зажимное приспособление с обрабатываемым колесом 5 совершает возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости. Зубья нарезаются за несколько ходов заготовки. Перед каждым рабочим ходом с помощью наружного конуса 2 резцы 4 подводятся к центру на величину заданной подачи до тех пор, пока не будет достигнута требуемая высота зуба нарезаемого колеса, а с помощью внутреннего конуса 1 резцы после каждого рабочего хода отводятся назад. Все резцы затачивают одновременно на плоскошлифовальном станке по передней поверхности. Форма профиля инструмента сохраняется неизменной в течение всего срока службы.

Протягивание зубчатых колес методом копирования широко применяется в крупносерий-

ном и массовом производстве при изготовлении **шлицевых** отверстий, зубчатых секторов, реек и т. д. Однако протягивание зубчатых колес внутреннего и внешнего зацепления обычными протяжками не обеспечивает высокого качества. Более точные прямозубые и косозубые колеса обрабатываются до окончательного размера с помощью специальных протяжек за один ход инструмента. Протяжка состоит из двух секций — черновой и чистовой. Черновая секция представляет собой обычную протяжку для предварительного формирования профиля зубьев, а чистовая секция — съемная (типа плавающей гильзы) примерно с десятью круговыми зубьями, профиль которых имеет эвольвентную форму. Чистовая секция производит окончательную обработку профиля зуба колеса, образованного черновой частью протяжки. Такая протяжка обеспечивает точный и стабильный размер зуба. Обычно чистовая часть протяжки имеет срок службы в 3 раза больше, чем черновая. Общий срок службы протяжки приблизительно 150 000 деталей.

Точные эвольвентные зубчатые колеса внешнего зацепления обрабатываются полыми кольцеобразными протяжками трубчатого типа с внутренними зубьями. Процесс протягивания заключается в проталкивании целой заготовки через полую протяжку за один ход. Протяжка монтируется над обрабатываемой деталью. Деталь устанавливается на длинной колонке, и протяжка подается вниз (на деталь) с помощью верхнего гидроцилиндра. Полая кольцеобразная протяжка состоит из держателя и отдельных стальных колец, внутренние зубья которых затылованы. Кольца затачивают по торцевой поверхности. Этот метод обеспечивает высокую точность по шагу и профилю зуба. Производительность протяжных станков-автоматов 240—300 шт/ч.

Главными достоинствами зуборезных протяжек являются большой срок службы, длительное сохранение точности и возможность большого числа переточек.

§ 6. Нарезание цилиндрических и червячных зубчатых колес методом обкатки на зубофрезерных станках

В производстве цилиндрических зубчатых колес зубофрезерование червячными фрезами методом обкатки является самым распространенным и наиболее трудоемким процессом.

Процесс зубофрезерования универсален. На современных зубофрезерных станках червячными фрезами нарезают зубчатые колеса внешнего зацепления с прямыми и косыми зубьями, конической и бочкообразной формы, червячные колеса и червяки, шлицевые валы с

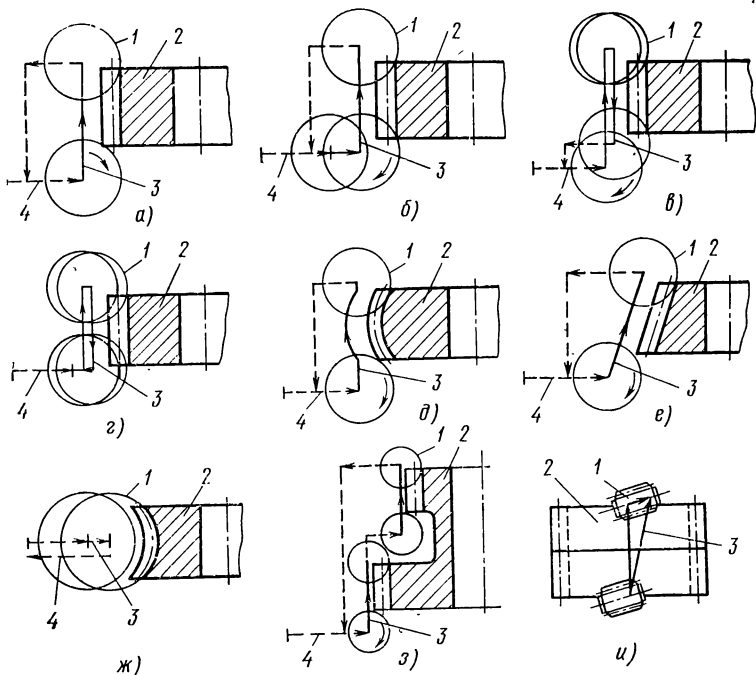


Рис. 38. Зубофрезерование:

a — с осевой подачей, *б* — с радиально-осевой подачей, *в* и *г* — двухпроходное, *д* — зубьев бочкообразной формы, *е* — зубьев конической формы, *ж* — червячного колеса, *з* — блок-колеса, *и* — с диагональной подачей; *1* — червячная фреза, *2* — нарезаемое колесо, *3* — подача, *4* — холостые ходы

различной формой зубьев, звездочки цепных передач и другие детали (рис. 38). Червячной фрезой одного нормального модуля и угла профиля можно нарезать прямозубые и косозубые колеса с различным числом зубьев и углом наклона линии зуба. Размер обрабатываемого колеса ограничивается параметрами зуборезного станка. Зубофрезерование применяется для чистового и чернового нарезания зубьев под шевингование и шлифование в условиях массового, серийного и единичного производства. Качество зубчатого колеса при зубофрезеровании

червячной фрезой определяется точностью и жесткостью зубофрезерного станка, точностью заготовки, зажимного приспособления, фрезы и правильной их установкой на станке. При нормальном ведении процесса обработанные колеса имеют 6—8-ю степень точности.

Принцип образования зубьев. При зубофрезеровании зубчатого колеса 3 методом обкатки профиль зубьев образуется червячной фрезой 1 с исходным контуром производящей зубчатой рейки 2 (рис. 39, а). Червячная фреза

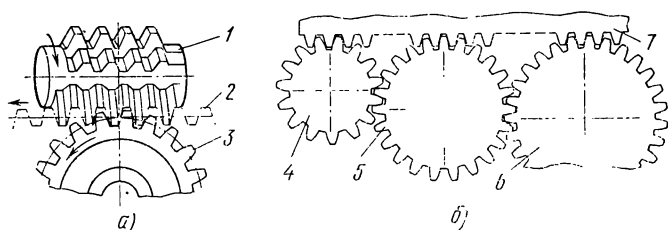


Рис. 39. Образование эвольвентного профиля:

а — при зубофрезеровании червячной фрезой, б — производящая зубчатая рейка

является червяком, нитки винта которого разделены продольными стружечными канавками на отдельные зубья с прямолинейным профилем, имеющие задние и боковые углы, необходимые для осуществления резания. Эвольвентный профиль зубьев колеса образуется прямолинейными режущими кромками фрезы в результате их взаимной обкатки. Эвольвентная форма профиля зуба колеса, образованная прямолинейными режущими кромками одной червячной фрезы, обладает такими свойствами, которые позволяют зубчатым колесам 4, 5 и 6 с любым числом зубьев правильно зацепляться как между собой, так и с производящей зубчатой рейкой 7 (рис. 39, б). Прямолинейный профиль зубьев червячной фрезы прост в изготовлении и контроле.

Методы нарезания цилиндрических зубчатых колес. В настоящее время наибольшее распространение получили следующие методы зубофрезерования червячной фрезой.

Зубофрезерование с осевой подачей (см. рис. 38, а) осуществляется при подаче червячной фрезы параллельно оси нарезаемого колеса. Этот универсальный метод имеет наибольшее применение в промышленности для нарезания цилиндрических колес на обыч-

ных зубофрезерных станках. К недостаткам этого метода относится большая глубина врезания, которая возрастает с увеличением диаметра червячной фрезы и угла наклона линии зуба.

При зубофрезеровании с радиально-осевой подачей (см. рис. 38, б) в начале процесса червячная фреза, перемещаясь в радиальном направлении, врезается в заготовку до получения полной высоты зуба. Затем производится переключение на осевую подачу и производится чистовое нарезание зубьев. Этот метод осуществляется на специальных зубофрезерных станках, имеющих радиальную подачу, обычными червячными фрезами. Фрезерование с радиально-осевой подачей применяют главным образом для обработки закрытых зубчатых венцов. Значительно сокращается время обработки при применении этого метода при нарезании зубчатых колес с большим углом наклона зубьев и при работе червячными фрезами большого диаметра. В этих случаях путь (время) при радиальной подаче значительно короче, чем при осевой.

Зубофрезерование с диагональной подачей (см. рис. 38, и) осуществляют на специальных зубофрезерных станках. По сравнению с зубофрезерованием с осевой подачей этот метод имеет следующие преимущества: улучшается сопрягаемость профилей зубьев; уменьшается шероховатость поверхности зубьев, повышается период стойкости червячных фрез благодаря более равномерному износу зубьев по рабочей длине фрезы. Этот метод целесообразно применять для обработки колес с широкими зубчатыми венцами, пакета колес или колес с повышенной твердостью, когда необходимо иметь большой период стойкости инструмента в процессе обработки. При диагональном зубофрезеровании экономически оправданно применять длинные и точные червячные фрезы.

При двухпроходном зубофрезеровании (см. рис. 38, в и г) первый и второй рабочие ходы осуществляют последовательно за одну установку заготовки, причем второй рабочий ход производят при небольшой глубине резания (0,5—1 мм). Врезание и первый рабочий ход, как правило, производят на попутной осевой подаче. По окончании первого рабочего хода включается радиальная подача до достижения полной высоты зуба, после чего происходит переключение на второй рабочий ход, который осуществляют на встречной подаче. Из-за

малого припуска при втором ходе скорость резания и осевая подача выше, чем при первом.

Для нарезания цилиндрических колес с бочкообразной (см. рис. 38, *д*) и конической (см. рис. 38, *е*) формой зубьев на зубофрезерный станок устанавливают специальное копирное устройство.

Двухвенцовые прямозубые колеса (см. рис. 38, *з*) одного модуля и угла профиля с одинаковым или различным числом зубьев могут обрабатываться за один установ заготовки. Переключение с рабочей на ускоренную подачу при прохождении фрезы между венцами и на обработку другого числа зубьев осуществляют автоматически.

Методы нарезания червячных колес. Нарезание червячных колес производят на зубофрезерных и специальных станках методом обкатки. В процессе нарезания червячное колесо и червячная фреза, являющаяся червяком, находятся в непрерывном вращении и воспроизводят зацепление, подобное червячной передаче. Фрезерование червячных колес производится с радиальной, тангенциальной и радиально-тангенциальной подачами.

При нарезании червячных колес с радиальной подачей (см. рис. 38, *ж*) заготовке или червячной фрезе радиальная подача сообщается до тех пор, пока зубья колеса не будут нарезаны на полную высоту. После прекращения радиальной подачи для окончательного профилирования зубьев по всей окружности заготовке сообщается не менее одного полного оборота. Фрезерование с радиальной подачей обеспечивает высокую производительность и характеризуется простотой наладки.

Нарезание червячных колес с тангенциальной подачей осуществляют на зубофрезерных станках с протяжным суппортом, который сообщает фрезе осевую подачу. Для компенсации относительного движения фрезы дифференциальный механизм станка сообщает дополнительное вращение, соответствующее (по величине и направлению) осевой подаче фрезы. Червячная фреза для фрезерования с тангенциальной подачей выполняется с заборным конусом. Фрезерование с тангенциальной подачей менее производительно по сравнению с фрезерованием с радиальной подачей, но зато обеспечивает значительно большую точность обработки.

Нарезание червячных колес с радиально-тангенциальной подачей осуществляется

путем сочетания радиальной и тангенциальной подач. При радиальной подаче заборная часть фрезы производит черновую обработку зубьев колеса. При использовании тангенциальной подачи цилиндрическая часть фрезы осуществляет чистовую обработку зубьев. Этот комбинированный метод обеспечивает высокую производительность радиальной подачи и высокую точность тангенциальной подачи.

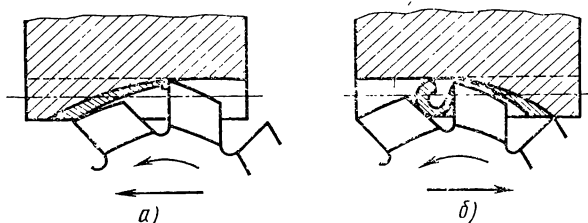


Рис. 40. Встречное (а) и попутное (б) фрезерование

Встречное и попутное фрезерование. При встречном зубофрезеровании стружка имеет форму запятой, в начале ее толщина минимальная, а в конце максимальная (рис. 40, а). В начале резания режущие кромки, особенно когда они затуплены, не могут сразу вступить в резание, а скользят по поверхности, упрочняют ее и подвергаются повышенному износу. Встречное фрезерование рекомендуют для обработки вязких сталей.

При попутном фрезеровании (рис. 40, б) в начале резания толщина стружки максимальная, а в конце минимальная. В начале резания режущие кромки свободно врезаются в металл, благодаря чему создаются благоприятные условия резания и снижается нагрузка на станок. Период стойкости инструмента повышается на 10—30%, достигается хорошее качество поверхности на профилях зубьев и образуется меньше заусенцев на торцах заготовки при выходе фрезы из резания. При повышении периода стойкости инструмента могут быть увеличены скорость резания и подача, а следовательно, повышена производительность станка.

Зубофрезерные станки. Зубофрезерные станки выпускают двух типов: универсальные, имеющие широкие технологические возможности и предназначенные для мелкосерийного производства, и специальные (производственные) для крупносерийного и массового производства, которые характеризуются повышенной жесткостью и высокой сте-

пенью автоматизации. Для современных зубофрезерных станков характерна работа на высоких режимах резания. Высокие скорости резания (60—80 м/мин) повышают тепловые нагрузки. Большие подачи (3—6 мм/об) и применение многозаходных фрез увеличивают усилия резания, а следовательно, требуют увеличения жесткости конструкции станка и прочности на скручивание. Прерывистый характер фрезерования обуславливает вибрации в процессе резания.

Современные зубофрезерные станки должны иметь высокую статическую и динамическую жесткость благодаря повышению массы, точную и короткую кинематическую цепь, большую мощность главного электродвигателя, длинные и широкие направляющие, шариковый ходовой винт с гайкой, большую длину осевого перемещения фрезы, обильное охлаждение, хорошие условия отвода тепла.

В станках современных конструкций большое внимание уделяется увеличению жесткости системы в целях повышения их производительности. Стол для закрепления изделия делается неподвижным, а врезание осуществляется перемещением вертикальной колонки с червячной фрезой, что помимо повышения жесткости рабочего стола упрощает автоматизацию загрузки — выгрузки и повышает надежность работы станка. В процессе резания червячная фреза перемещается не параллельно оси нарезаемого колеса, как обычно, а в направлении линии зуба нарезаемого колеса (диагональное фрезерование), что достигается поворотом салазок суппорта шпинделя червячной фрезы на соответствующий угол. При этом сокращается кинематическая цепь станка, отпадает необходимость в дифференциале. Габарит зоны обработки станка уменьшается. Для повышения жесткости инструмента фреза закрепляется на короткой оправке. Обработку производят на высоких режимах резания двух- и трехзаходными фрезами.

Технические характеристики отечественных зубофрезерных станков для обработки зубчатых колес среднего модуля приведены в табл. 5.

§ 7. Нарезание цилиндрических зубчатых колес методом обкатки на зубодолбежных станках

Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес на зубодолбежных станках методом обкатки производят

Основные параметры	Модели станков									
	53A13	53A20	53A30	5B312	53A33	53A50	53A53	53A80	543	
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	125	200	320	320	320	500	500	800	800	
Наибольший модуль, мм	4/6	4	6	6	6/11	8	8/14	10	6	
Размеры фрез (диаметр×длина), мм	125×140	125×140	160×160	160×145	160×220	180×200	225×280	200×200	125×12	
Частота вращения фрезы, об/мин	118—530	75—500	50—400	100—500	71—450	40—405	61—355	40—405	6—46	
Мощность главного привода, кВт	7,5	$\frac{7,5}{8,5}$	$\frac{3,2}{4,2}$	7,5	15	$\frac{8(10)}{12,5}$	$\frac{11(12)}{18}$	$\frac{8(10)}{12,5}$	4,5	
Масса станка, т	5,9	4,7	6,8	5,7	9	9,7	16	10,8	10	

Примечание. Модуль, указанный в числителе, относится к работе в крупносерийном и массовом производстве, в знаменателе — к работе в серийном производстве.

круглыми долбьями и зубчатыми гребенками, причем чаще применяются круглые долбяки; зубчатые гребенки используются реже, в основном для нарезания крупномодульных зубчатых колес.

На зубофрезерных станках круглыми долбьями можно нарезать зубчатые колеса внешнего (рис. 41, а) и внутреннего (рис. 41, б) зацепления с прямыми и косыми

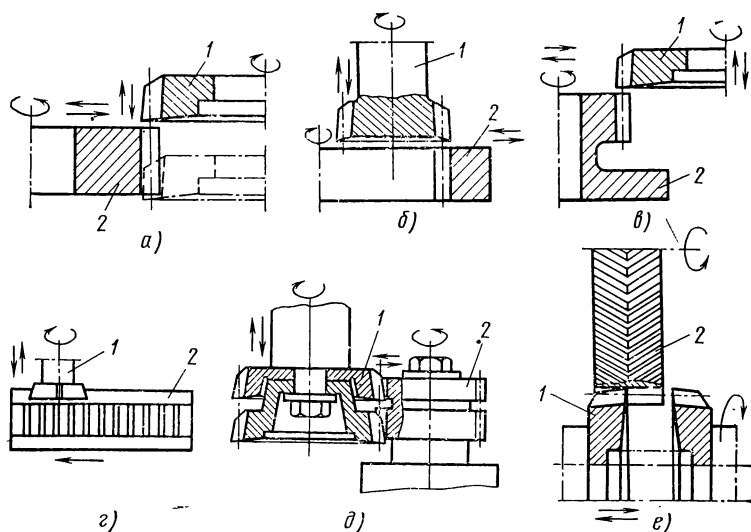


Рис. 41. Нарезание на зубодолбежном станке зубьев:

а — колес с внешним зацеплением, б — колес с внутренним зацеплением, в — колес с фланцем, г — зубчатых реек, д — блок-колес, е — шевронных колес; 1 — долбяк, 2 — нарезаемое зубчатое колесо

зубьями, с бочкообразной и конической формой зубьев. Некоторые типы зубчатых колес могут быть нарезаны только долбьями, например колеса с фланцами (рис. 41, в), зубчатые рейки (рис. 41, г), блок-колеса (рис. 41, д), шевронные колеса (рис. 41, е).

Зубодолбление широко применяют не только в случае невозможности использовать зубофрезерование, но и для нарезания обычных зубчатых колес высокого качества. При зубодолблении круглыми долбьями достигается более высокая точность профиля зуба и меньшая шероховатость поверхности, чем при зубофрезеровании. При обработке зубчатых колес с малой шириной зубчатого венца зубодолбление более производительное, чем зубо-

фрезерование. При применении круглых долбяков класса АА получают зубчатые колеса 6-й степени точности.

Принцип образования зубьев. Нарезание зубчатых колес круглыми долбяками методом обкатки основано на воспроизведении зацепления пары сопряженных зубчатых колес — обрабатываемого колеса 2 и круглого долбяка 1 (см. рис. 41, а). На рис. 42 показано зацепление долбяка 2 и соответствующей ему производящей рейки 1.

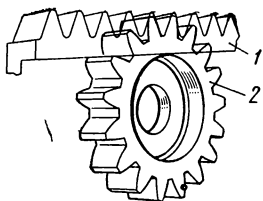


Рис. 42. Зацепление долбяка и соответствующей ему производящей рейки

Долбяк, имеющий форму закаленного шлифованного затылованного колеса, осуществляет нарезание зубьев строганием при возвратно-поступательном движении, причем стружка (по всей ширине зуба) снимается только в процессе рабочего хода. При обратном ходе снятия металла не происходит. Нарезаемое колесо и долбяк в процессе резания вра-

щаются согласованно вокруг своих осей, совершая движения обкатки для придания эвольвентного профиля зубьям обрабатываемого колеса.

Методы зубодолбления. При нарезании прямозубых и косозубых зубчатых колес с внешним зацеплением (см. рис. 41, а) нарезаемое колесо и долбяк имеют прямые зубья. Долбяк совершает возвратно-поступательное движение, параллельное оси заготовки. При движении вниз он срезает металл, а при движении вверх инструмент отводится от заготовки, совершая холостой ход. Кроме того, во время обработки долбяк производит вращательное движение (круговую подачу), а в начале обработки при врезании — радиальную подачу. В процессе резания колесо и долбяк вращаются согласованно вокруг своих осей, совершая движение обкатки друг относительно друга. Обкатка продолжается до тех пор, пока заготовка после врезания не совершит один полный оборот, после чего станок автоматически выключается.

При нарезании косозубых колес внешнего зацепления долбяк должен быть косозубым с тем же углом наклона, что и нарезаемое колесо, но с противоположным направлением наклона зубьев. Долбяк и заготовка вращаются в противоположных направлениях (рис. 43, а). Цикл работы станка тот же самый, что и при нарезании пря-

мозубых колес, разница состоит лишь в том, что долбяк при его возвратно-поступательном движении получает дополнительный поворот от специального копира 1 винтовыми направляющими, имеющими направление наклона зубьев такое же, как у зубьев долбяка 2; угол наклона зубьев нарезаемого колеса 3 (рис. 43, в) изменяется, чтобы получить целое число зубьев долбяка.

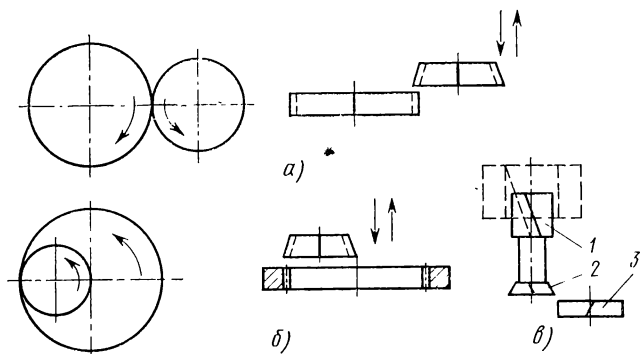


Рис. 43. Схема нарезания зубьев долбяком:

а — внешнего зацепления (долбяк и колесо вращаются в противоположных направлениях), *б* — внутреннего зацепления (долбяк и колесо вращаются в одном направлении), *в* — косозубых колес с правым наклоном зубьев

При нарезании косозубых колес внутреннего зацепления направления угла наклона линии зубьев колеса и долбяка совпадают. Долбяк и заготовка вращаются в одном направлении (рис. 43, б).

Нарезание шевронных зубчатых колес производят методом обкатки на горизонтальных зубодолбежных станках двумя спаренными косозубыми долбяками. Ось шпинделя долбяков параллельна оси нарезаемого колеса. Шевронные колеса являются косозубыми колесами, у которых одна половина шеврона имеет правый наклон линии зуба, а другая — левый. Долбяки при нарезании таких колес имеют: один — правое направление линии зуба, другой — левое. Долбяк с левым направлением зубьев нарезает зубья шевронного колеса с правым наклоном линии зуба, а долбяк с правым направлением зубьев нарезает зубья шевронного колеса с левым наклоном. Оба долбяка и соответствующие им копиры с винтовыми направляющими установлены на одном шпинделе. При нарезании шевронного колеса

долбяк и заготовка совершают те же движения, что и при обработке цилиндрического косозубого колеса. Правый и левый долбяки работают попеременно, каждый из них производит обработку до середины колеса, образуя таким образом непрерывный шевронный зуб. Пока правый долбяк производит нарезание зуба заготовки, левый долбяк перемещается обратно на холостом ходу и наоборот.

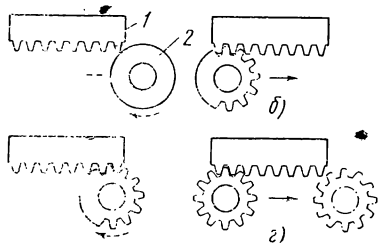


Рис. 44. Схема нарезания зубьев зубчатой гребенкой:

а — начало резания, б — конец первого рабочего хода, деление и возврат заготовки, в — начало второго рабочего хода, г — окончание нарезания зубьев, возврат колеса в начальное положение; 1 — гребенка, 2 — нарезаемое колесо

Возвратно-поступательное движение и дополнительный поворот сообщаются долбякам от направляющих копиров. При заточке комплекта долбяков следует обращать внимание на то, чтобы их диаметры были одинаковыми.

Нарезание зубчатых колес зубчатыми гребенками производят на зубострогальных станках вертикальной компоновки методом обкатки. Процесс зубострогания рейкой основан на зацеплении наре-

заемого колеса с зубчатой рейкой, зубья которой имеют боковые, задние и передний углы для осуществления процесса резания. Заготовка, закрепленная на столе, совершает два движения — вращательное (вокруг своей оси) и поступательное (вдоль зубчатой гребенки). Закрепленная в суппорте станка зубчатая гребенка имеет возвратно-поступательное движение. Зубья колеса нарезаются во время движения гребенки вниз; при обратном ходе гребенка вместе с откидной державкой отводится от заготовки. Образование эвольвентного профиля зубьев колеса происходит обкатыванием нарезаемого колеса по зубчатой гребенке, прямой профиль режущих кромок которой образует огибающие резы на боковых поверхностях зубьев колеса (рис. 44, а).

Зубодолбежные станки. При разработке современных зубодолбежных станков для обработки зубчатых колес средних модулей основное внимание уделяют повышению производительности и точности обработки. Новые станки имеют вертикальную компоновку (удобную для

автоматизации), повышенную жесткость и мощность двигателя, большую массу для работы на повышенных режимах резания и для нарезания зубчатых колес высокой точности, обильное охлаждение, скорость движения долбяка 1500—2500 дв. ход/мин. Стол изделия имеет только вращательное движение; инструмент — возвратно-

Т а б л и ц а 6

Основные параметры	Модели станков					
	5122	ЕЗ-69	5140	5А140П	5М140	5171
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	200	320	500	500	800	800
Наибольший модуль, мм	5	5	8	8	12	10
Диаметр долбяка, мм	100	100	100	100	200	150
Скорость движения долбяка, дв. ход/мин	200—850	100—1000	65—150	55—560	33—188	40—180
Мощность главного привода, кВт	2,1/3	4,7	3,1/4,7	5/6,3/10	4,8/5,7/7,5	4,5
Масса станка, т	4,4	8,8	4,25	7,5	9,5	8

поступательное движение, а также движение отвода при обратном ходе. Предусмотрено многопроходное зубодолбление. Черновое и чистовое нарезание зубьев за одну установку заготовки позволяет автоматически переключать круговую подачу стола и частоту движения режущего инструмента на заранее установленный режим, что способствует повышению производительности и точности обработки.

На станки устанавливают специальные устройства, которые предназначены для уменьшения вибрации инструментального шпинделя при возвратно-поступательном

движении и уравнивания вертикальных и горизонтальных колебаний в целях повышения точности и стойкости режущего инструмента. В ответственных узлах станка (шпинделе инструмента, винтовых направляющих и т. д.) установлены гидростатические подшипники и направляющие. Обычно на зубодолбежных станках в начале и в конце нарезания образуется ошибка в шаге (ослабление толщины последнего зуба). Для устранения этой ошибки на станках устанавливают электронный счетчик импульсов, который отсчитывает углы поворота стола и таким образом регулирует зону перекрытия начала и конца нарезания. Для устранения среза зубьев при нарезании косозубых колес внутреннего зацепления на станке предусмотрена возможность смещения вертикальной стойки относительно оси стола. При нарезании зубчатых колес внутреннего зацепления на станке предусмотрено устройство для остановки шпинделя инструмента в верхнем положении после окончания нарезания зубьев.

Основные технические характеристики отечественных зубодолбежных станков для обработки колес среднего модуля представлены в табл. 6.

§ 8. Отделочные методы обработки зубьев зубчатых колес

К зубчатым передачам современного машиностроения предъявляются все более высокие требования в отношении передачи повышенных нагрузок, плавной и бесшумной работы на высоких окружных скоростях, уменьшения габарита и массы на единицу передаваемой мощности и экономичности изготовления.

Если неотчетливые зубчатые передачи удовлетворительно изготавливаются зубофрезерованием или зубодолблением, то зубья высокоскоростных и тяжелонагруженных зубчатых передач необходимо подвергать отделочной (чистовой) обработке. Применяют в основном следующие методы отделочной обработки: шевингование (подробно рассмотрено в гл. IV) и холодную прикатку зубьев для незакаленных зубчатых колес; зубохонингование и зубошлифование для закаленных зубчатых колес (в настоящее время для отделочной обработки закаленных колес применяются также твердосплавные червячные фрезы).

Холодная накатка зубьев цилиндрических зубчатых колес из целой заготовки широкого распространения не получила главным образом из-за низкого качества изготовления зубчатых колес.

Холодную прикатку зубьев зубчатых колес с предварительно нарезанными зубьями начали применять относительно давно (в 20-х годах нынешнего столетия).

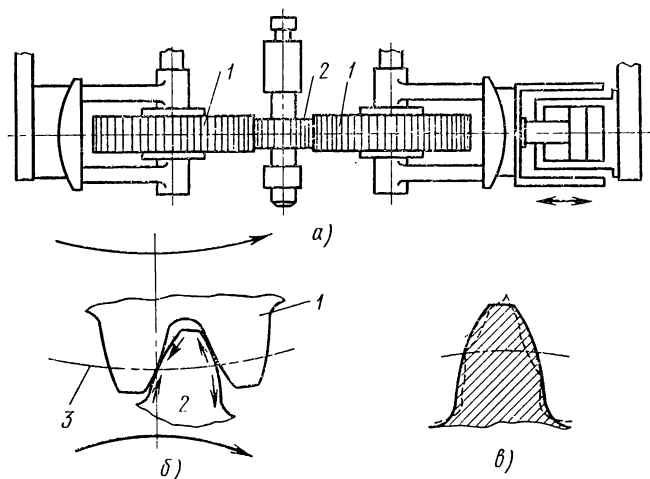


Рис. 45. Процесс прикатки:

а — схема прикатки двумя накатниками, *б* — схематическое изображение скольжения на профилях зуба колеса при прикатке, *в* — пунктиром показан профиль зуба колеса после прикатки

В 60-х годах был разработан и внедрен в производство метод холодной прикатки цилиндрических зубчатых колес с помощью двух зубчатых накатников (рис. 45, *а*). Этот метод предназначен для чистовой обработки зубьев взамен шевингования в условиях массового производства. В отличие от шевингования окончательная обработка профилей зубьев прикаткой осуществляется без снятия стружки посредством пластического деформирования металла в холодном состоянии. Обработываемое колесо 2 устанавливают на оправку в пространство между накатниками 1.

Во время прикатки в результате скольжения на стороне зуба обрабатываемого колеса 2, которая контактирует с ведущей стороной зуба накатника, происходит сдвиг металла от головки и от ножки зуба в направлении

делительной окружности Z (рис. 45, б). Благодаря этому в зоне делительной окружности образуется выступ (рис. 45, в). На обратной стороне зуба обрабатываемого колеса течение металла направлено от делительной окружности к головке и ножке зуба, в результате этого около делительной окружности появляется впадина. Перемещение металла к головке зуба приводит к увеличению наружного диаметра заготовки, а когда металл перемещается к ножке зуба — во впадине образуется наплыв. Так как во время холодной прикатки металл течет в направлении головки и ножки зуба обрабатываемого колеса, перед накаткой зубья следует нарезать червячными фрезами с модифицированным профилем. Фланк в ножке зуба фрезы служит для срезания металла на головке зуба обрабатываемого колеса в виде фаски, а «усик» (протуберанец) на головке зуба фрезы — для подрезки ножки зуба колеса.

В настоящее время в условиях массового производства для холодной прикатки наиболее широко применяют станки с двумя накатниками. Преимущество этих станков заключается в том, что диаметр и ширина обработанных зубчатых колес не ограничиваются размерами накатников. Станки позволяют прикатывать зубчатые колеса небольших размеров. Силы, создаваемые накатниками в процессе прикатки, взаимно уравниваются.

На ЗИЛе холодная прикатка внедрена при отделочной обработке зубчатого колеса коленчатого вала автомобиля ЗИЛ-130 (параметры колеса: $z=26$; $m_n=2,54$ мм; $\beta=39^\circ 31'$; $b=30$ мм; $\alpha=14^\circ 30'$; материал — сталь 35; твердость НВ 207—241). Схема работы двухшпindelного прикатного автомата с двумя накатниками представлена на рис. 46. Механизм-накопитель автомата имеет два яруса, рассчитанных на 150 деталей каждый. На верхнем ярусе, оснащенный 15 штырями, устанавливаются прикатанные зубчатые колеса 1, а на штырях нижнего яруса — фрезерованные колеса 7, подлежащие прикатке. Между магазином-накопителем и зоной обработки с накатниками 10 находится восьмипозиционная поворотная головка 9. Толкатель 6 подает заготовки 7 на свободную позицию 8 револьверной головки, а толкатель 4 снимает обработанные детали 3 и устанавливает их на штыри 2. Обрабатываемое колесо 5 до зацепления с накатником вращается от специального пневмомотора с окружной скоростью, которая несколько больше (или несколько меньше) скорости вращения накатников, бла-

годаря чему обеспечивается свободное зацепление зубьев обрабатываемого колеса с накатником.

Перед холодной прикаткой точность зубчатых колес должна быть выше, а припуск на сторону зуба меньше, чем перед шевингованием, примерно в два раза. При

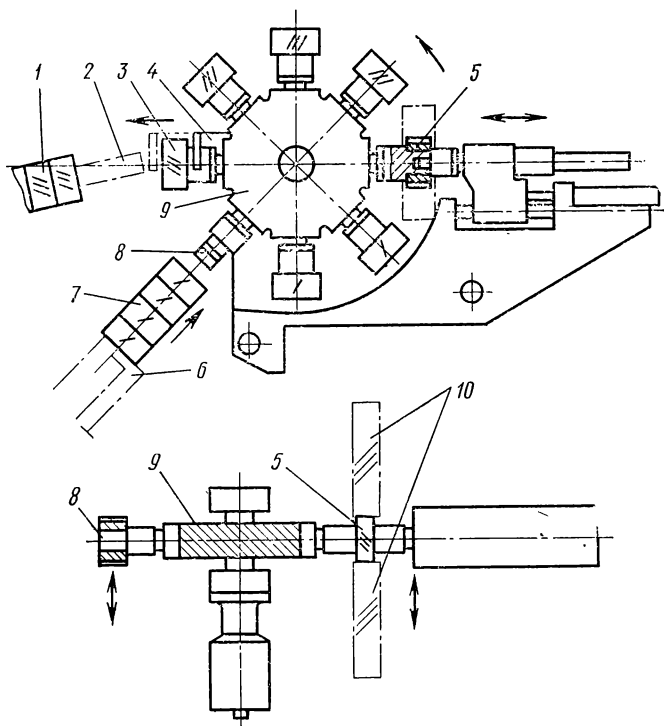


Рис. 46. Схема работы двухшпindelного прикатного автомата с двумя накатниками

шевинговании погрешности зубчатого колеса исправляются в большей степени, чем при холодной прикатке. Повышение точности обработки зубчатых колес при зубофрезеровании и уменьшение величины припуска под прикатку было достигнуто благодаря замене на зубофрезерных станках гладких жестких оправок многокулачковыми, обеспечивающими беззазорное центрирование заготовки. Применение указанных приспособлений позволило повысить точность обработки зубчатых колес на 30—40%, уменьшить припуск под прикатку на сторону

зуба до 0,015—0,025 мм и снизить колебание измерительного межосевого расстояния на оборот до 0,12—0,15 мм.

Производительность станков при обработке зубчатых колес методом прикатки в 4—5 раз выше, чем производительность шевинговальных станков. Шероховатость поверхности на профилях зубьев прикатанных колес Ra 0,32—0,20 мкм, на зубьях шевингованных колес Ra 1,6—0,8 мкм. Средний уровень шума прикатанных зубчатых колес на 2—3 дБ ниже шевингованных. По опыту ЗИЛа период стойкости на автомате составил 274 000 дет. Одним комплектом накатников работали целый год.

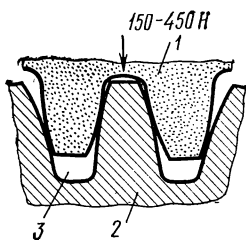


Рис. 47. Схема зубохонингования с радиальным нагружением

Зубохонингование закаленных зубчатых колес осуществляется в настоящее время на специальных станках и позволяет путем обработки зубьев колес зубчатым хонем удалять забоины и заусенцы; уменьшать шероховатость поверхности; устранять погрешности геометрии

зубьев, полученные при термической обработке; снижать уровень шума и повышать срок службы передачи. В процессе зубохонингования температура на поверхности зуба не повышается, благодаря чему отсутствуют тепловые деформации и не снижается твердость обрабатываемой поверхности.

При зубохонинговании зубчатое колесо вращается в плотном зацеплении с абразивным зубчатым хонем, выполненным в виде косозубого колеса (угол скрещивания осей обрабатываемого колеса и хона 10—15°). Обрабатываемое колесо, кроме вращения, совершает возвратно-поступательное движение параллельно своей оси. Направление вращения инструмента изменяется на каждом ходе стола. Плотное зацепление хона с колесом обеспечивается поджимом бабки с инструментом к обрабатываемому колесу пружинами с усилием 150—450 Н.

При хонинговании с радиальным нагружением (рис. 47) вершина зуба обрабатываемого колеса 2 постоянно контактирует с впадиной хона 1, в результате чего на вершине зуба колеса образуется небольшое скругление, обеспечивающее плавный вход зубьев в начале зацепления, уменьшается скорость изнашивания хона, а благо-

даря постоянному внедрению головки зуба колеса во впадину зуба хона автоматически происходит восстановление профиля зубьев хона. Для обеспечения нормальной работы необходима лишь периодическая правка хона по наружному диаметру, чтобы обеспечить требуемый радиальный зазор δ между вершиной зуба хона и впадиной зуба колеса. Припуск под хонингование составляет 0,01—0,02 мм на одну сторону зуба.

Этот высокопроизводительный процесс с коротким циклом обработки (30—60 с) получил широкое применение в различных отраслях промышленности. В автомобильной промышленности зубохонингование применяют после шевингования и закалки для улучшения шумовых характеристик закаленных зубчатых колес. Как показал опыт ЗИЛа, зубохонингование позволяет уменьшить шероховатость обрабатываемой поверхности до Ra 0,32—1,25 мкм, удалить забоины и заусенцы размерами до 0,3 мм, снизить уровень шума передачи на 2—4 дБ. Погрешности параметров зубчатого зацепления устраняются незначительно (порядка 0,01—0,02 мм).

Зубохонингование осуществляется на специальных станках. Зубохонинговальный станок мод. 5А913 (горизонтальной компоновки) предназначен для хонингования зубчатых колес внешнего зацепления диаметром до 320 и модулем до 8 мм, ведущим элементом является инструмент; зубохонинговальный станок мод. 5А915 (вертикальной компоновки) используют для обработки зубчатых колес диаметром до 500 и модулем до 12 мм, ведущий элемент — изделие.

Зубошлифование закаленных зубчатых колес, осуществляемое в настоящее время на высокопроизводительных зубошлифовальных станках, позволяет изготавливать зубчатые колеса различного назначения высокой степени точности при шероховатости поверхности зубьев Ra 0,63—0,16 мкм. Зубошлифование широко применяют для обработки зубчатых колес самолетов, автомобилей, редукторов, станков, измерительных колес, шеверов, долбяков, зубчатых накатников и т. д.

По сравнению с другими методами чистой обработки зубошлифование имеет следующие преимущества. процесс производится после термической обработки, что позволяет устранить не только погрешности предварительной обработки, но и неизбежные коробления, полученные при цементации и закалке; зубошлифовальные станки имеют более точную кинематику, благодаря чему

обеспечивается высокое качество изготовления, независимо от точности, достигнутой на предшествующей операции; почти все методы зубошлифования обеспечивают корректировку профиля и направления линии зуба, чем существенно повышают эксплуатационные показатели зубчатых колес.

К недостаткам шлифования относится возможность появления прижогов и трещин на поверхности зубьев в процессе обработки. В условиях массового производства

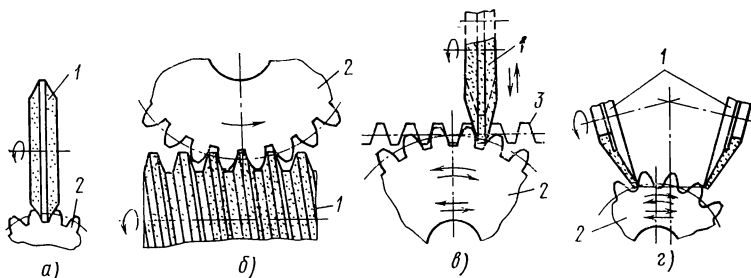


Рис. 48. Методы зубошлифования цилиндрических зубчатых колес.

зубошлифование не получило широкого применения главным образом из-за невысокой производительности шлифовальных станков и высокой стоимости изготовления зубчатых колес.

Применяют в основном три метода зубошлифования цилиндрических колес: метод копирования, метод непрерывной обкатки и метод обкатки с периодическим делением.

Зубошлифование методом копирования (рис. 48, а) осуществляется профильным шлифовальным кругом. Профиль, соответствующий профилю впадины зуба колеса, получается с помощью алмазного копировального устройства. Обрабатываемое колесо 2 в процессе шлифования совершает возвратно-поступательное движение. Вращающийся шлифовальный круг 1 многократно подается на глубину шлифования и окончательно обрабатывает одну или одновременно две стороны зубьев колеса. После обработки одной впадины шлифуемое колесо отводится от шлифовального круга и происходит деление заготовки для обработки впадины следующего зуба.

Достоинством метода копирования является высокая производительность и точность обработки, а к недостаткам относится сложная наладка станка для получения симметричного зуба и сложная правка шлифовального круга для обработки косозубых колес. Метод копирования позволяет получать зубчатые колеса с прямыми и косыми зубьями (внутреннего и внешнего зацепления) 3—5-й степени точности.

При непрерывном зубошлифовании методом обкатки (рис. 48, б) применяют одно- или двухзаходный абразивный червяк с профилем исходного контура зубчатой рейки. Во время шлифования вращающийся червяк 1, находясь в зацеплении с зубьями обрабатываемого колеса 2, непрерывно врезается в зубчатый венец и формирует эвольвентный профиль зубьев колеса. Обрабатываемое колесо совершает возвратно-поступательное движение вдоль своей оси для обработки зубьев по всей ширине.

Этот метод обеспечивает наибольшую производительность при обработке зубчатых колес с модулем до 4—5 мм при высокой точности обработки по шагу зубьев. Непрерывное зубошлифование методом обкатки обеспечивает точность обработки 4—6-й степени.

Зубошлифование методом обкатки с периодическим делением осуществляют либо двусторонним коническим кругом с применением сменных колес гитары деления и гитары обкатки, либо двумя шлифовальными кругами с использованием обкатного диска со стальными лентами.

В отличие от непрерывного зубошлифования при периодическом делении каждый раз обрабатывается одна впадина (или зуб), а затем осуществляется деление для шлифования следующей впадины (или зуба).

При зубошлифовании двусторонним коническим кругом (рис. 48, в) профиль зубьев обрабатываемого колеса 2 обкатывается по прямобочному профилю шлифовального круга 1, воспроизводя зацепление обрабатываемого колеса с производящей зубчатой рейкой 3. Движение обкатки, состоящее из качения обрабатываемого колеса вокруг своей оси и продольного его перемещения от центра, осуществляется сменными колесами гитары деления и гитары обкатки. В зависимости от требуемой точности и производительности стороны зуба шлифуют одновременно или поочередно. Преимуществом метода являются высокая производительность и точность обра-

бо́тки, короткое время переналадки станка и широкая универсальность. Наиболее рационально использование этого метода при изготовлении зубчатых колес с модулями больше 4—6 мм. Точность обработки 4—6-я степень.

Таблица 7

Наименование характеристики	Модели станков						
	5A868Д	5B832	5B833	5B835	5B841	5B842	5851
Наибольший диаметр колеса, мм	600	200	320	500	320	500	320
Наибольший модуль, мм	12	3	4	6	8	10	10
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	150	100	150	200	150	220	220
Наибольший диаметр шлифовального круга, мм	350	400	400	400	350	400	225
Тип шлифовального круга	Профильный	Червячный			Конический		Тарельчатый
Частота вращения шлифовального круга, об/мин	1810	1500	1500	1500	1920	1670	2390/3345
Мощность главного привода, кВт	7,5	3	4	5,5	1,5	1,5	0,75×2
Масса, т	10	6	7	8,5	8	10,4	5,6

При зубошлифовании двумя тарельчатыми кругами (рис. 48, г) каждый круг обрабатывает одну боковую сторону зуба колеса. Обкаточное движение обрабатываемое колесо получает через обкаточный сектор и обкатные стальные ленты, размеры которых точно соответствуют геометрическому образованию эвольвенты. Во время процесса шлифования круги проходят через всю ширину зубчатого венца. После одного или двух рабочих ходов подача автоматически выключается и происходит деление для обработки следующего зуба.

Из-за малой площади контакта шлифовального круга с зубом обрабатываемого колеса в процессе резания не требуется подачи охлаждающей жидкости. Возникающий вследствие этого повышенный износ шлифовального круга компенсируется автоматической правкой.

Преимуществом этого метода является изготовление зубчатых колес повышенной точности (особенно в отношении эвольвенты и направления линии зуба), а к недостаткам относятся невысокая производительность и значительная стоимость технологической оснастки, так как для каждого зубчатого колеса необходимо иметь свой обкатной сектор. Точность обработки 3—5-я степень.

Основные технические характеристики отечественных зубошлифовальных станков для обработки зубчатых колес средних модулей приведены в табл. 7.

Контрольные вопросы

1. Какие марки сталей применяют для изготовления зубчатых колес в машиностроении?
2. Что называют производственным и технологическим процессами?
3. Какое производство называют единичным, серийным и массовым?
4. Какие поверхности называют конструкторскими, технологическими и измерительными базами?
5. Какими инструментами производят нарезание зубьев методом копирования?
6. Какие методы нарезания зубьев червячной фрезой вам известны?
7. В каких случаях нарезание зубчатыми гребенками эффективнее зубофрезерования червячной фрезой методом обкатки?
8. Какие отделочные методы обработки зубьев цилиндрических колес получили наибольшее распространение в промышленности?

ГЛАВА IV. ШЕВИНГОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

§ 1. Возможности и основы зубошевингования

Шевингование дисковым шевером является простым и эффективным методом, который получил широкое применение для чистовой обработки незакаленных зубьев (твердость до HRC 32) прямозубых и косозубых цилиндрических колес (внешнего и внутреннего зацепления) после зубофрезерования или зубодолбления. Шевингование применяют для уменьшения шероховатости поверхности на профилях зубьев, снижения уровня шума

и повышения точности зубчатого зацепления путем исправления погрешностей шага, направления зуба, профиля и др. Шевингованием можно повысить точность на 1—2 степени. Шевингованные зубчатые колеса имеют 6—7-ю степень точности (по СТ СЭВ 641—77) и шероховатость поверхности Ra 0,8—2,5 мкм. Точность после шевингования прежде всего зависит от точности колес после зубофрезерования (или зубодолбления) и коэффициента перекрытия между шевером и обрабатываемым колесом.

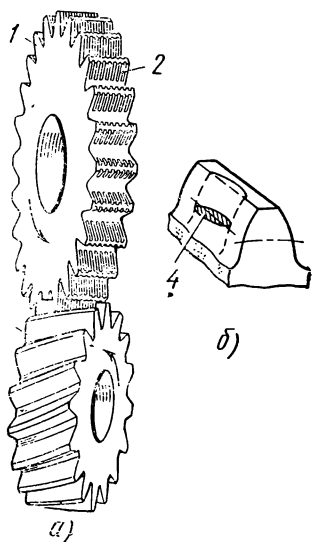


Рис. 49. Схема шевингования зубьев колеса дисковым шевером:

а — зацепление шевера с обрабатываемым колесом, *б* — контактная зона шевера и колеса при резании

При шевинговании с помощью простых средств, имеющихся на станке, можно получать коническую и бочкообразную форму зуба, а посредством шевера — профильную модификацию зуба. Образованием бочкообразной формы зуба исключается опасность концентрации нагрузки на концах зубьев. Модификация эвольвентного профиля зубьев позволяет уменьшить уровень шума и повысить срок службы зубчатой передачи. Модификацию формы зуба осуществляют также для компенсации деформации, полученной в процессе термической обработки.

Шевингование отличается коротким циклом обработки и малым временем на установку и снятие детали со станка. В отличие от шлифования при шевинговании можно производить чистовую обработку зубьев закрытых венцов и блок-колес. Шевинговальные станки допускают обработку зубчатых колес диаметром 20—1250 мм. При зубошевинговании режущим инструментом является дисковый шевер, имеющий вид косозубого или прямозубого колеса. Шевер 1 и обрабатываемое колесо 3 (рис. 49, *а*) образуют винтовую передачу с пересекающимися осями вращения. Зубья шевера имеют

ряд мелких зубчиков 2, расположенных параллельно торцу; острые грани зубчиков образуют режущие кромки. В процессе шевингования шевер и обрабатываемое колесо вращаются в безззорном зацеплении. В результате давления между инструментом и деталью и относительного движения, возникающего при скрещивании осей, кромки каждого зубчика шевера, перемещаясь вдоль поверхности зуба обрабатываемого колеса, внедряются в нее и снимают тонкую стружку.

Прижим детали к шеверу в процессе резания осуществляется радиальной подачей стола, которая сближает боковые поверхности зубьев колеса и шевера, создавая тем самым усилие прижима, необходимое для снятия стружки. Чем меньше давление между шевером и обрабатываемым колесом, тем тоньше стружка. Благодаря прижиму детали к шеверу теоретическая точка контакта превращается в процессе резания в контактную зону (эллипс) 4 (рис. 49, б).

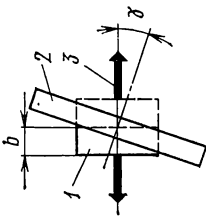
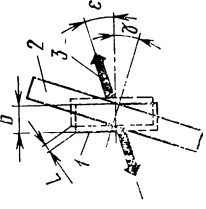
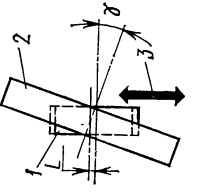
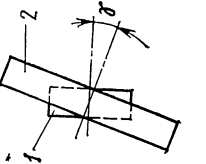
Обрабатываемое колесо на станке устанавливается свободно, вращение ему передается от шевера, кинематическая связь между инструментом и деталью отсутствует. Последнее ограничивает исправление погрешностей в зубчатом зацеплении при шевинговании. В большинстве случаев обрабатываемое колесо в процессе шевингования кроме вращения имеет возвратно-поступательное движение и в конце каждого хода перемещается к шеверу в радиальном направлении.

§ 2. Методы зубшевингования

На практике используют четыре основных метода шевингования — параллельное, диагональное, тангенциальное и врезное, отличающиеся между собой направлением подачи, временем обработки и конструкцией шевера. Каждый из названных методов выбирают с учетом конкретных условий.

В табл. 8 приведены характеристики, технологические возможности и ограничения, присущие каждому из указанных методов.

П а р а л л е л ь н о е ш е в и н г о в а н и е — наиболее известный метод, при котором обрабатываемое колесо 7 совершает возвратно-поступательное движение 3 параллельно своей оси (рис. 50). В начале цикла стол с обрабатываемым колесом на ускоренной радиальной подаче 1 перемещается к шеверу, а затем переключается на

Наименование				
<p>Метод шевингования</p> <p>Угол ϵ диагонали</p> <p>Направление подачи</p> <p>Подача стола</p>	<p>Параллельное</p> <p>0</p> <p>Параллельно оси детали</p> <p>Больше ширины зубчатого венца колеса</p>	<p>Диагональное</p> <p>Свыше 0° до 45°</p> <p>Под углом к оси детали</p> <p>Меньше ширины зубчатого венца колеса, заходит от угла ϵ</p>	<p>Тангенциальное</p> <p>90°</p> <p>Под прямым углом к оси детали</p> <p>Меньше ширины зубчатого венца колеса</p>	<p>Врезное</p> <p>Подача только на глубину зуба</p>
<p>Угол γ скрещивания осей</p> <p>Ширина b зубчатого венца шевра</p>	<p>Параллельно торцу</p>	<p>При шевинговании закрытых венцов более 3° 10—15°</p>	<p>Больше ширины зубчатого венца колеса</p>	<p>По винтовой линии</p>
<p>Расположение зубчиков шевра</p> <p>Использование шевра</p>	<p>Не зависит от ширины зубчатого венца колеса</p> <p>Параллельно торцу</p> <p>Недостаточное</p>	<p>Зависит от ширины зубчатого венца колеса</p>	<p>Хорошее</p>	<p>Хорошее</p>

Модификация по ширине зуба колеса	Посредством станка	Посредством модификации шевера
Модификация по высоте профиля зуба колеса	Посредством модификации зубьев шевера	
Время шевингования	Относительно большое	Очень короткое

П р и м е ч а н и е. 1 — колесо; 2 — шевр; 3 — направление подачи; *b* — ширина зубчатого венца колеса; *L* — ход γ — угол скрещивания осей шевера и колеса; ε — угол диагонали.

заданную радиальную подачу 2 и медленно подводит обрабатываемое колесо 7 к шеверу 6. С этого момента начинается процесс шевингования комбинированным продольным и радиальным движением стола. В конце каждого продольного хода 3 происходит радиальная подача s_p стола для сближения обрабатываемого колеса с шевером при одновременном изменении направле-

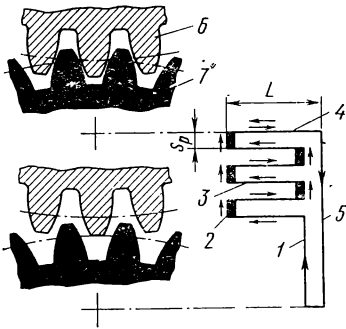


Рис. 50. Схема цикла шевингования

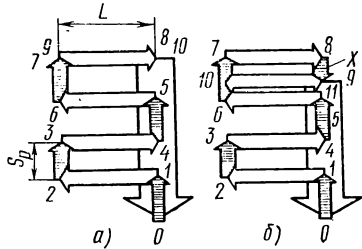


Рис. 51. Схемы рабочего цикла параллельного и диагонального шевингования:

а — традиционного, б — с выхаживан

ния вращения шевера. В конце цикла шевингования несколько продольных ходов 4 стола, называемых калибрующими, осуществляются без радиальной подачи. По окончании цикла шевингования стол с обработанным колесом на ускоренной радиальной подаче 5 перемещается в исходное положение. Ширина зубчатого венца колеса и ширина шевера не зависят друг от друга, поэтому этим методом можно шевинговать колеса с различной шириной зубчатого венца (максимальная ширина определяется возможностями шевинговального станка). Производительность станка и период стойкости шевера при параллельном шевинговании ниже, чем при других методах шевингования. Это объясняется большой длиной хода стола, превышающей ширину зубчатого венца. Использование шевера ограничивается тем, что точка скрещивания осей находится постоянно в среднем сечении шевера, а поэтому в этой зоне шевер изнашивается значительно быстрее, чем на краях.

Параллельное шевингование обычно применяют в мелкосерийном производстве, а также при ширине зубчатого венца свыше 50 мм. Длина хода стола определяется по формуле $L=b+m_n$, где b и m_n — ширина зубчатого венца и нормальный модуль обрабатываемого колеса соответственно.

Таблица 9

Номера циклов (см. рис. 49)	Циклы работы станка		Радиальная подача, мм
	традиционный		
0—1	Радиальная подача стола		0,14
1—2	Первый рабочий ход шевингования		—
2—3	Радиальная подача стола		0,10
3—4	Второй рабочий ход шевингования		—
4—5	Радиальная подача стола		0,06
5—6	Третий рабочий ход шевингования		—
6—7	Радиальная подача стола		0,02
7—8	Четвертый рабочий ход шевингования		—
8—9	Первый калибрующийся ход	Стол опускается вниз на величину до 0,05 мм для выхаживания	0
9—10	Второй калибрующийся ход	Первый калибрующийся ход	0
10—11	—	Второй калибрующийся ход	0
10(11)—0	Опускание стола в исходное положение		—

В настоящее время появилось новое направление в параллельном и диагональном шевинговании: последние калибрующие ходы совершаются при небольшом увеличении (на величину x) расстояния между осями шевера и обрабатываемого колеса (рис. 51, б) с целью ослабить зацепление между зубьями. Этот метод позволяет посредством выхаживания устранять следы, оставленные зубчиками шевера, и таким образом повышать качество обработанной поверхности зубьев колеса.

На рис. 51 и в табл. 9 приведена последовательность цикла диагонального и параллельного шевингования традиционным методом и с выхаживанием. При тради-

ционном цикле (рис. 51, а) после четвертого рабочего хода стола радиальная подача выключается и осуществляются два калибрующих хода без радиальной подачи.

По новому циклу с выхаживанием (см. рис. 51, б) после четвертого рабочего хода стол с обрабатываемым колесом опускается вниз на величину x (до 0,05 мм), и только после этого производятся калибрующие ходы. Рабочий цикл осуществляется автоматически, в конце обработки происходит опускание стола на заданную величину в первоначальное положение. Автоматическая ступенчатая система вертикальной подачи обрабатываемого колеса для снятия припуска предварительно устанавливается на диске для соответствующего хода стола. Затем все параметры цикла, установленные для первой детали, стабильно повторяются при обработке последующих деталей.

При диагональном шевинговании обрабатываемое колесо I совершает возвратно-поступательное движение Z под углом ε диагонали к оси заготовки (см. табл. 8). Ширина b зубчатого венца колеса, ширина B шевра, угол γ скрещивания осей и угол ε диагонали связаны между собой соотношением

$$\operatorname{tg} \varepsilon = B_a \sin \gamma / (b - B_a \cos \gamma),$$

где $B_a = (0,75 \div 0,80) B$ — активная ширина шевра. Теоретически угол ε может изменяться от 0 до 90°. Практически выбирают $\varepsilon = 25\text{—}60^\circ$ (при $\varepsilon \approx 40^\circ$ создаются оптимальные условия для резания и достижения требуемого качества обрабатываемой поверхности). При $\varepsilon \leq 60^\circ$ можно использовать стандартные шеверы с зубчиками, расположенными параллельно торцу, а при $\varepsilon > 60^\circ$ необходимо применять специальные шеверы с зубчиками, смещенными по винтовой линии относительно торца шевра. Рекомендуется $\varepsilon = 25 \div 40^\circ$, так как в этом случае достигается меньший ход стола, и точка скрещивания осей колеса и шевра проходит от одного торца зубчатого венца до другого.

Преимущество диагонального шевингования по сравнению с параллельным состоит в том, что при перемещении заготовки под углом ε ход стола становится меньше ширины зубчатого венца колеса, что позволяет повысить производительность обработки до 50%. Длину хода стола при диагональном шевинговании рассчитывают по формуле $L = (b \cdot \sin \gamma) / \sin(\varepsilon + \gamma) + m_n$. Расчетную длину хода стола необходимо увеличить на один

модуль. Это увеличение учитывает врезание и выход шевера, а также допуск на ширину зубчатого венца заготовки.

Другим преимуществом диагонального шевингования является то, что точка скрещивания осей в процессе резания проходит по всей ширине зуба шевера, что способствует равномерности его износа и, как следствие, увеличению периода стойкости шевера.

С увеличением угла ε диагонали и ширины B шевера время обработки сокращается. Так как ширина шевера зависит от ширины зубчатого венца колеса, стоимость шевера с увеличением ширины зубчатого венца резко возрастает. Поэтому диагональное шевингование экономически выгодно при обработке колес с шириной зубчатого венца $b \leq 50$ мм.

Диагональное шевингование широко применяется в серийном, крупносерийном и массовом производстве и позволяет (особенно при больших значениях ε) обрабатывать блок-колеса с малыми расстояниями между зубчатыми венцами. При $40^\circ \leq \varepsilon \leq 90^\circ$ осуществляется так называемое диагонально-тангенциальное шевингование, при котором ход стола уменьшен настолько, что зубья колеса полностью не обрабатываются и требуется шевер специальной конструкции.

При использовании метода тангенциального шевингования продольная подача отсутствует и имеется лишь касательная подача Z , направленная перпендикулярно оси обрабатываемого колеса 1 ; при этом угол $\varepsilon = 90^\circ$ (см. табл. 8). Шевер 2 должен быть шире, чем зубчатый венец колеса. Для обеспечения достаточного контакта между зубьями обрабатываемого колеса и шевера, а также для образования продольной бочкообразной модификации зубьев колеса зубья шевера должны иметь вогнутость в продольном направлении. Режущие зубчики шевера, смещенные один относительно другого, расположены по винтовой линии, чтобы компенсировать отсутствие продольной подачи при снятии стружки. Величина смещения зубчиков (при переходе от зуба к зубу) равна отношению шага между зубчиками к числу зубьев шевера.

При небольшом припуске тангенциальное шевингование выполняется при постоянном межосевом расстоянии за один двойной ход. Если припуск достаточно велик, возможна работа и за несколько ходов стола с радиальной подачей. Ход стола определяется по формуле

$L = btg \gamma$. Наибольший ход стола обычно составляет ± 10 мм, а наименьший — ± 6 мм (от среднего положения), иначе на зубьях колеса могут остаться отпечатки зубчиков шевера (рис. 52). Ограничение хода стола в обоих направлениях от среднего положения необходимо и для того, чтобы шевёр всегда находился в зацеплении с обрабатываемым колесом. Тангенциальное шевингование производительней параллельного и диагонального шевингования и его обычно применяют для шевингования узких зубчатых колес, а также блок-колес и колес с закрытыми венцами.

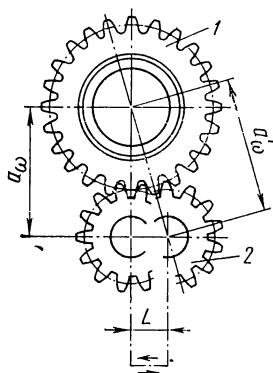


Рис. 52. Схема тангенциального шевингования: 1 — шевёр, 2 — обрабатываемое колесо; a_w и a_w' — соответственно начальное и конечное межосевые расстояния, L — ход стола

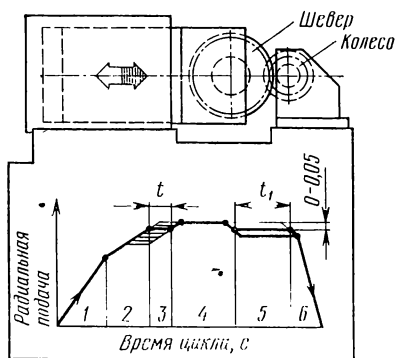


Рис. 53. Схема рабочего цикла работы станка при врезном шевинговании

К недостаткам тангенциального шевингования относятся следующие: ухудшается качество обработанной поверхности, так как отсутствие продольной подачи способствует образованию волнистости на поверхности зубьев (этот недостаток можно уменьшить или совсем устранить, если стружку снимать непрерывно в направлении от обработанного участка к необработанному, как при встречном шевинговании); снижается точность обработки (один профиль по высоте зуба может иметь небольшую вогнутость, а противоположный — выпуклость; головка зуба может отклоняться вправо или влево от правильного положения).

При врезном шевинговании подача вдоль оси обрабатываемого колеса 1 отсутствует, а шевер 2 перемещается к колесу в радиальном направлении (см. табл. 8). Рабочий цикл начинается с ускоренной подачи на участке 1 (рис. 53); после достижения заранее установленного межосевого расстояния включается рабочая подача врезания (участок 2). На участке 3 подача врезания выключается и в течение времени t меняется на-

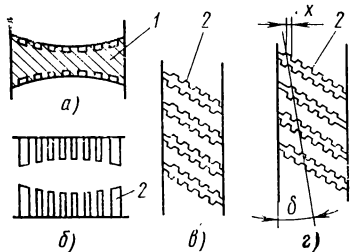


Рис. 54. Элементы дискового шевера:

a и *б* — зуб и режущие зубчики шевера имеют продольную вогнутость, *в* — зубчики шевера расположены параллельно торцу, *г* — зубчики шевера расположены по винтовой линии

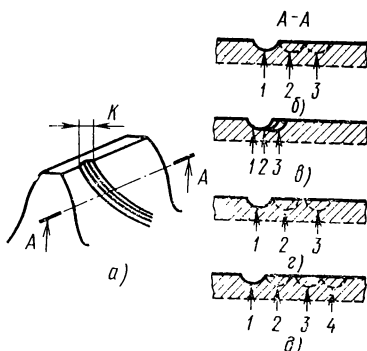


Рис. 55. Влияние расположения режущих зубчиков шевера на шероховатость поверхности:

a — боковая поверхность зуба колеса, *б* —резы от зубчиков расположены нормально, *в* — слишком близко, *г* — слишком далеко, *д* — неравномерно

правление вращения шевера. Реверсирование шевера необходимо для того, чтобы с обеих боковых поверхностей зубьев обрабатываемого колеса снималось одинаковое количество металла, так как ведущая сторона зуба шевера снимает металл больше, чем ведомая. После реверсирования шевера подача врезания продолжается (участок 4). В конце цикла обработки подача еще раз выключается, шевер отходит назад, увеличивая межосевое расстояние на величину до 0,05 мм. На участке 5 в течение времени t_1 происходит выхаживание (шевер продолжает вращаться с тем, чтобы удалить отпечатки зубчиков шевера на боковых поверхностях зубьев колеса). На участке 6 шевер быстро отходит назад в исходное положение.

Чтобы инструмент полностью прилегал к поверхности зуба обрабатываемого колеса при врезном шевин-

говании зубья 1 и режущие зубчики 2 шевера выполняются вогнутыми в продольном направлении (рис. 54, а и б). При такой форме можно учитывать и бочкообразность на зубьях по высоте профиля и длине зуба. Вогнутость зубчиков 2 (рис. 54, б) подгоняется с высокой точностью, чтобы получить прямой зуб. Такой шевер может быть использован только для обработки одной определенной детали.

При врезном шевинговании обрабатывается вся поверхность одновременно. Чтобы не оставить на поверхности зубьев необработанные участки, режущие кромки зубчиков шевера располагают по винтовой линии подобно шеверам при тангенциальном шевинговании. Число зубьев шевера и обрабатываемого колеса находятся в определенной зависимости, их выбирают таким образом, чтобы каждый участок профиля обрабатывался несколько раз. Количество резцов для различных участков зуба должно быть одинаковым при известной частоте вращения шевера.

На рис. 54, в показан стандартный шевер с режущими зубчиками 2, расположенными параллельно торцу. Этот шевер применяют при параллельном и диагональном шевинговании. При таком расположении режущих зубчиков можно обработать всю длину зуба только в результате продольной подачи обрабатываемого колеса в направлении своей оси.

При тангенциальном и врезном шевинговании продольное перемещение заготовки отсутствует и стружка с боковой поверхности зуба снимается благодаря соответствующему расположению режущих зубчиков. На рис. 54, г показан шевер, у которого режущие зубчики 2 расположены по винтовой линии под углом δ . В вертикальной плоскости зубчики смещены один относительно другого на небольшую величину x , что позволяет режущим зубчикам последовательно срезать металл с боковых поверхностей зубьев обрабатываемого колеса без продольного перемещения заготовки.

На рис. 55, а показана боковая поверхность зуба колеса со следом реза K , выполненным одной режущей кромкой зубчика шевера. Для полной обработки зуба необходимо большое число таких резцов, последовательно проходящих по всей длине зуба. Рассмотрим обработку зуба в сечении AA в зависимости от расположения режущих зубчиков шевера. На рис. 55, б следы соседних резцов, обозначенные цифрами 1, 2 и 3, рас-

положены равномерно с небольшим перекрытием (такое расположение считается нормальным). На рис. 55, в следы соседних резов расположены слишком близко друг к другу, что вызывает повышенный износ режущих зубчиков шевера. Если соседние резы расположены слишком далеко один от другого (рис. 55, г) или неравномерно (рис. 55, д), то это обуславливает ухудшение качества обработанной поверхности на профиле зубьев.

Врезное шевингование выполняется на специальных станках, которые вследствие больших усилий резания должны иметь высокие статическую и динамическую жесткость, бесступенчатое регулирование частоты вращения шевера и подачи врезания. Производительность врезного шевингования в 2—4 раза выше производительности диагонального шевингования. Высокие точность обработки и производительность обусловили широкое применение врезного шевингования в массовом производстве зубчатых колёс с модулем менее 5 мм и шириной зубчатого венца не более 40 мм.

При параллельном и диагональном шевинговании продольная подача стола, как правило, при всех ходах одинаковая. Припуск под шевингование снимается ступенчато (за несколько рабочих ходов), причем качество поверхности, как показала практика, определяется последними ходами.

Сущность метода шевингования с черновой и чистой продольными подачами стола состоит в том, что черновая подача (на первых ходах стола) в 1,5—2 раза больше, чем чистовая подача (на последних ходах стола). Для реализации этого метода на стандартные станки устанавливают специальное устройство, обеспечивающее автоматическое переключение с черновой подачи на чистовую. Число ходов с черновой и чистой подачами выбирают в зависимости от требуемого качества и производительности. Частота вращения шевера при черновой подаче должна быть меньше, чем при чистой. Радиальная подача должна быть максимальной на первом ходе стола, затем она постепенно уменьшается и последние два хода обычно выполняются без радиальной подачи.

При одинаковом качестве поверхности, применяя шевингование с двумя различными подачами, можно сократить время обработки до 25%, стойкость шевера при этом повышается примерно на 25%.

Шевингование с двумя подачами эффективно как в массовом производстве, так и при обработке небольших партий деталей. Наибольшая эффективность метода шевингования с двумя подачами достигается, когда зубчатые колеса до шевингования обрабатываются на зубофрезерном станке двухпроходным методом, который характеризуется тем, что второй рабочий ход осуществляется на большой подаче. У зубчатых колес, фрезерованных с большими подачами (рис. 56, а), при шевинговании на первых рабочих ходах снимаются неболь-

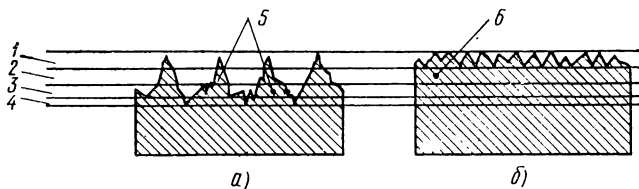


Рис. 56. Следы резов после зубофрезерования с различными подачами:

а — подача 5,5 мм/об. *б* — подача 2 мм/об; 1—4 — радиальная подача при соответствующих ходах стола, 5 — участки металла, снимаемые с малым усилием резания, 6 — участки целого металла, снимаемые с большим усилием резания

шие участки металла 5 с малым усилием резания. Благоприятные условия резания позволяют на первых нескольких рабочих ходах применять большие продольные и радиальные подачи. При шевинговании зубчатых колес, фрезерованных с малыми подачами, шеверу практически на втором-третьем рабочих ходах приходится работать по целому металлу 6 (рис. 56, б) с большими усилиями резания. Эти условия работы ограничивают применение повышенных режимов резания на первых рабочих ходах шевингования.

Пример. Рассмотрим обработку косозубого колеса коробки передач грузового автомобиля ($z=19$, $m_n=4,25$ мм, $b=32$ мм, $\beta=19^\circ 30'$). Метод зубофрезерования — двухпроходный; скорость резания: $v_1=40$ м/мин; $v_2=60$ м/мин; подача: $s_1=3,5$ мм/об; $s_2=5,5$ мм/об. Зубошевингование с черновой и чистовой подачами за шесть рабочих ходов. Продольная подача: черновая — 90,2 мм/мин, чистовая — 45,1 мм/мин. Радиальная подача: первый рабочий ход — 0,14 мм/ход, второй — 0,10 мм/ход, третий — 0,06 мм/ход, четвертый — 0,02 мм/ход. Последние два чистовых (калибрующих) хода без радиальной подачи. Основное технологическое время 1,65 мин.

Выбор эффективного метода шевингования. Для решения этого вопроса рассмотрим обработку двух типов зубчатых колес легкового и грузового автомобиля. Ос-

новные параметры зубчатого колеса легкового автомобиля: $z=34$, $m_n=2,3$ мм, $b=19$ мм, $\alpha=18^\circ$, $\beta=33^\circ$ Для обработки этого колеса можно применять: диагональ-

Таблица 10

Метод шевингования	Диагональный угол, град.	Путь подачи, мм	Время обработки, с	Область применения
Параллельное	—	22	60	Мелкосерийное производство и при $b > 50$ мм. Шевер стандартный
Диагональное	20	12	40	Все виды производства при $b \leq 50$ мм. Шевер стандартный
Диагонально-тангенциальное	75	9	30	При угле диагонали $\varepsilon = 40^\circ - 90^\circ$. Шевер специальный
Тангенциальное	90	12	20	Для узких и закрытых венцов. Шевер специальный
Врезное	—	0,12	17	Для колес с модулем до 5 мм и b до 40 мм. Шевер специальный
Шевингование с черновой и чистой подачами	—	—	По сравнению с диагональным время сокращается на 25%	Все виды производства. Параллельное и диагональное шевингование широких венцов. Шевер стандартный
Холодная прикатка	—	16	10	Для колес диаметром 20—120 мм, модулем до 4 мм, $b < 50$ мм. Шевер специальный

ное, диагонально-тангенциальное, тангенциальное, врезное шевингование и холодную прикатку. Основное отличие этих методов заключается во времени обработки, виде применяемого инструмента и расходах, затрачиваемых на обработку. Решающим фактором для определения экономичности метода является время обработки.

В табл. 10 приведено время, затрачиваемое на обработку зубчатого колеса, параметры которого приведены

выше, различными методами шевингования. Качество обработки при всех методах практически одинаковое.

Из табл. 10 видно, что с увеличением угла диагонали путь подачи, а следовательно, и время обработки сокращаются. Самое большое время обработки — при параллельном шевинговании. При диагональном методе время шевингования меньше, чем при параллельном. Самое короткое время — при тангенциальном методе за два рабочих хода, врезном шевинговании и холодной прикатке.

При сравнении стоимости инструмента, приходящейся на одну деталь, стойкость шеверов при обработке зубчатых колес с узкими венцами для всех методов шевингования принята одинаковой — 3500 шт. (по опыту автомобильной промышленности). При определении стоимости инструмента в основу было положено диагональное шевингование, где применяются стандартные шеверы. Из-за более широкого шевера и расположения режущих зубчиков по винтовой линии стоимость инструмента при диагонально-тангенциальном методе на 6% выше, чем при диагональном. При тангенциальном и врезном шевинговании вследствие более сложной заточки — еще дороже. При холодной прикатке расходы на инструмент на 40% ниже в связи с повышенной стойкостью, хотя стоимость самого накатника значительно дороже. Таким образом, по расходам на изготовление инструмента метод холодной прикатки является самым выгодным.

По сравнению с диагональным шевингованием с выпуском 460 деталей в смену при коэффициенте загрузки станка 80% при тангенциальном шевинговании расходы на обработку сокращаются на 17%, при врезном с ручной загрузкой на 31% и с автоматизированной на 44% (оператор может обслуживать четыре станка). Холодная прикатка по расходам на инструмент и обработку является самым дешевым методом, так как общие расходы сокращаются на 46%.

Из приведенного анализа видно, что холодное накатывание является самым экономичным. Однако если исходить из практического опыта, благодаря хорошим показателям по качеству и небольшому времени обработки шевингование, как метод чистой обработки, является достаточно экономичным, широко применяется во многих областях производства зубчатых колес. При этом следует учитывать, что метод холодной прикатки менее

универсален, накатник должен очень точно подгоняться к обрабатываемому колесу. В накатнике практически невозможно учитывать различные величины деформаций отдельных партий зубчатых колес, полученных в процессе термической обработки. Точность зубчатых колес перед холодной прикаткой по сравнению с шевингованием должна быть выше и более стабильной.

Для чистовой обработки зубчатых колес с модулем до 4—5 мм и узкими венцами наиболее экономичными с обеспечением высокого качества являются методы врезного и тангенциального шевингования.

Пример. Рассмотрим обработку прямозубого колеса грузового автомобиля с параметрами $z=20$, $m_n=4$ мм, $\alpha=20^\circ$, $b=45$ мм. В связи с большой шириной зубчатого венца можно применять два метода чистовой обработки: параллельное и диагональное шевингование. При параллельном шевинговании путь подачи составляет 50 мм, время обработки 4 мин. Применение параллельного шевингования с черновой и чистовой подачами (первые четыре рабочих хода на ускоренной подаче, а два последних — на замедленной сокращает время обработки до 2,7 мин.

При диагональном шевинговании путь подачи равен 35 мм, время обработки 2,9 мин, применяя диагональное шевингование с черновой и чистовой подачами время обработки сокращают до 1,9 мин, т. е. на 50% меньше, чем при параллельном шевинговании. Качество обработки и расходы на инструмент у всех методов одинаковы. Существенная разница заключается во времени обработки. Расходы на обработку при диагональном шевинговании с черновой и чистовой подачами составляют лишь 53% расходов, затрачиваемых при параллельном шевинговании.

Таким образом, для чистовой обработки зубчатых колес с модулем более 4—5 мм и большой шириной зубчатого венца самым экономичным методом обработки является диагональное шевингование с черновой и чистовой подачами.

§ 3. Шевингование зубчатых колес с внутренним зацеплением

Зубчатые колеса с внутренним зацеплением шевингуют на специальных станках или на станках для шевингования колес с внешним зацеплением, у которых вместо обычной шевинговальной головки устанавливают головку с шевером для внутреннего шевингования. Шевер поворачивается на угол скрещивания осей и является ведущим элементом. Обрабатываемое колесо закрепляют в зажимное приспособление патронного типа, которое устанавливают на стол шевинговального станка. Продольная и радиальная подачи осуществляются перемещением стола с обрабатываемым колесом.

Специальные станки имеют другую компоновку. Заготовка закрепляется в приспособлении патронного типа и является ведущим элементом. Шейвер, установленный в инструментальную головку, поворачивается на угол скрещивания осей и осуществляет возвратно-поступательное перемещение.

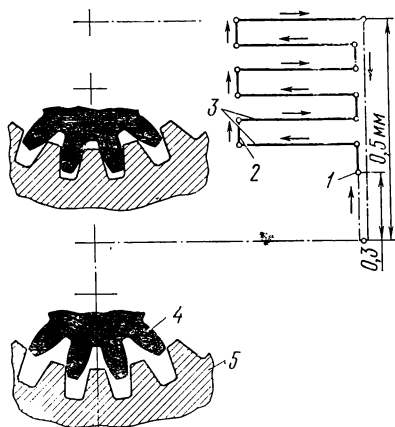


Рис. 57. Схема цикла шевингования зубчатых колес внутреннего зацепления

рабочую радиальную подачу 2. В конце каждой радиальной подачи включается продольная подача 3 с одновременным реверсированием вращения шейвера. Цикл, включая калибрующие ходы, повторяется до тех пор, пока не закончится обработка. В конце цикла обработанное колесо на ускоренной подаче перемещается в исходное положение 0. Зона загрузки — разгрузки заготовок открыта, что удобно для автоматизации этой операции. В результате скрещивания осей шейвера и обрабатываемого колеса при внутреннем шевинговании зубья шейвера зацепляются несколько глубже на концах зубьев колеса, чем в середине венца. Во избежание интерференции с зубьями обрабатываемого колеса зубья шейвера делают бочкообразной формы. Угол скрещивания выбирают около 3°

Зубчатые колеса внутреннего зацепления обрабатывают параллельным и врезным шевингованием.

Параллельное шевингование обычно применяют для обработки зубчатых колес с шириной венца более 20 мм. Бочкообразную форму зуба получают качанием стола

На рис. 57 показана схема обработки зубчатого колеса с внутренним зацеплением методом параллельного шевингования. Цикл шевингования аналогичен обработке зубчатого венца внешнего зацепления при параллельном и диагональном шевинговании. Обрабатываемое колесо 5 на ускоренной радиальной подаче приближается к шейверу 4 из точки O в точку 1, затем происходит переключение на

с обрабатываемым колесом аналогично шевингованию колес внешнего зацепления.

Врезное шевингование применяют для колес с шириной венца менее 20 мм или когда буртик ограничивает возвратно-поступательное перемещение. Ширина шевера превышает ширину зубчатого колеса. Режущие зубчики шевера выполняются по винтовой линии. Бочкообразная форма зуба колеса достигается благодаря тому, что зубья шевера имеют вогнутость в продольном направлении.

§ 4. Шевингование зубчатых колес с закрытыми венцами и бочкообразными зубьями

При шевинговании зубчатых колес с закрытыми венцами (буртиками) прежде всего необходимо определить угол скрещивания осей шевера и обрабатываемого колеса, который обеспечит бы зазор между торцами выступающего буртика и шевера в его крайнем положении (рис. 58). Эту проверку обычно производят графически, учитывая при этом заданную в чертеже ширину B канавки между торцами буртика и зубчатого колеса. Центры обрабатываемого колеса и шевера располагают на оси XX . Точка 4 является пересечением окружности 5 выступов шевера и наружного диаметра 2 буртика. Расстояние от оси XX до точки 4 определяет зону, в которой шевер должен соприкоснуться с буртиком.

Чтобы устранить это касание в крайнем положении при возвратно-поступательном движении шевера, необходимо уменьшить угол скрещивания осей, для чего вводят фактор безопасности в виде гарантированного зазора $A \geq 1,5$ мм. При продолжении на чертеже линии 6 зацепления, расположенной под углом α профиля зуба к оси шевера, получим точку 7, которая пересекается с диаметром 5 окружности выступов шевера. Через точку 7 параллельно оси XX проведем прямую до пересечения с торцом обрабатываемого колеса со стороны выточки и получим точку 8. Точки 1 и 8 лежат в одной плоскости, и если их соединить, то графически определяется максимальный угол γ относительно внутреннего торца колеса.

Ширина B канавки должна быть такой, чтобы обеспечить $\gamma \geq 3^\circ$ (предпочтительным является $\gamma = 5^\circ$).

Если при шевинговании зубчатого колеса с буртиком диагональным методом зазор между торцами буртика

и зубчатым колесом мал, то при увеличении угла ϵ диагонали до 80° можно обеспечить наиболее благоприятные условия обработки. Наладку станка следует производить так, чтобы цикл остановки стола заканчивался с противоположной стороны; в этом случае не опасен некоторый переход стола.

При изготовлении зубчатого колеса довольно частые

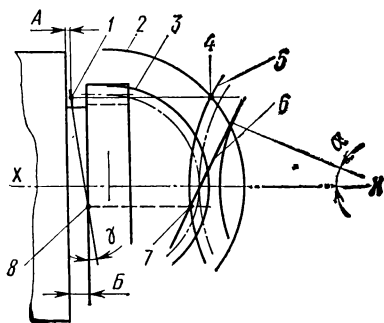


Рис. 58. Определение угла скрепления при шевинговании зубчатых колес с закрытыми венцами

ошибки — деформация опор, подшипников, корпуса, где устанавливаются колеса, прогиб зубьев под нагрузкой и их деформация при термической обработке, неправильная сборка — суммируются и ухудшают качество зацепления сопряженных зубьев зубчатых колес. Эти ошибки не только

вызывают повышенный шум, но и снижают качество зубчатой передачи и приводят к преждевременной поломке зубьев. Для уменьшения влияния этих ошибок производят модификацию формы зуба зубчатых колес.

Сущность модификации состоит в том, что в соответствии с конкретными условиями эксплуатации вводят отклонения от теоретической формы зуба для компенсации погрешностей в зубчатом зацеплении. Хорошие результаты обеспечивает продольная и профильная модификация зуба, т. е. изготовление бочкообразного зуба. Бочкообразная форма зуба придается зубчатым колесам для уменьшения уровня шума и предотвращения концентрации нагрузки на их концах вследствие погрешности угла наклона линии зуба или непараллельности расположения осей сопряженной пары зубчатых колес при сборке.

На рис. 59, а показаны зубья 1 сопряженной пары зубчатых колес, у которой непараллельно установлены оси при сборке или неправильный угол наклона линии зуба, вследствие чего контакт расположен на концах зубьев, а не в середине боковой поверхности зуба и передаваемая нагрузка сосредоточена на малом участке

конца зуба и вызывает преждевременную его поломку.

На рис. 59, б показано зацепление, где у одного элемента из пары зубья 2 выполнены бочкообразной формы. Выпуклые (бочкообразные) зубья уменьшают опасность концентрации нагрузки на кромки зубьев по сравнению с зубьями, которые не имеют бочкообразной формы. Пятно контакта расположено ближе к середине длины зуба.

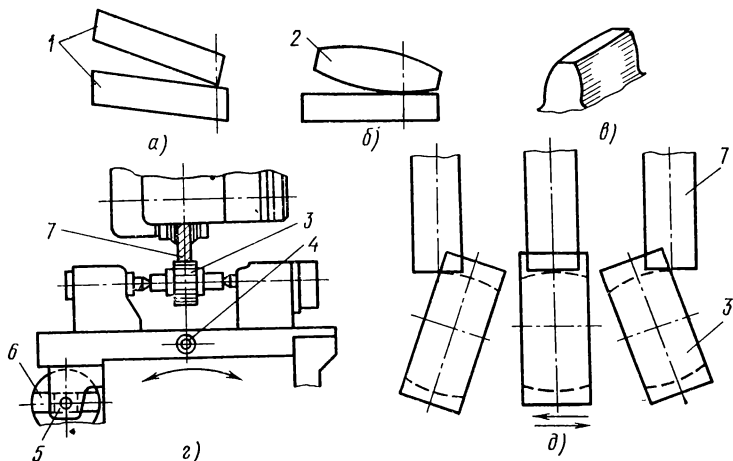


Рис. 59. Модификация формы зуба:

а — зубья колеса и шестерни не имеют бочкообразной формы, б — зуб 2 имеет бочкообразную форму, в — бочкообразный зуб, г, д — схемы образования бочкообразной формы зуба

Величина бочкообразности зависит от условий работы передачи и обычно составляет 0,0075—0,015 мм на одну сторону на 25 мм длины зуба. Чрезмерная бочкообразность так же вредна, как и ее отсутствие. Когда величина бочкообразности очень велика, то уменьшается эффективная ширина зубчатого венца — передаваемая нагрузка сосредоточивается на слишком малой площади зуба. Это особенно заметно у косозубых колес, плавность работы которых зависит от торцового перекрытия. Большая бочкообразность может быть причиной появления усталости, снижения прочности и повышения уровня шума зубчатой передачи.

Допустимую выпуклость на зубе можно принимать равной или несколько меньше ошибки шага. Если суммарные ошибки сборки или прогиб вала требуют для

компенсации величину бочкообразности более 0,015 мм, то это является признаком того, что конструкция подшипников, жесткость корпуса и зубчатой передачи не соответствуют требованиям и имеют чрезмерную деформацию под нагрузкой.

Бочкообразность делается обычно на зубьях шестерни, имеющей меньшее число зубьев из пары. При этом из-за меньшего времени контакта шевера с колесом процесс резания более эффективен, чем при шевинговании большого колеса. Зубьям обоих сопряженных колес бочкообразную форму придают в тех случаях, когда оба зубчатых колеса имеют повышенную деформацию при термической обработке, а также при ширине зубчатого венца свыше 50—60 мм.

При параллельном и диагональном шевинговании с углом диагонали до 60° бочкообразную форму (рис. 59, в) придают зубу на шевинговальном станке посредством качания стола вокруг оси 4 (рис. 59, з) во время возвратно-поступательного хода. Сухарь 5, перемещаясь по направляющему пазу 6-копира, вызывает качание стола с обрабатываемым колесом 3, благодаря чему шевер 7 (рис. 59, д) у торцов зубьев колеса 3 опускается глубже, чем в середине венца, постепенно уменьшая толщину зуба от середины к торцам. Бочкообразность регулируют наклоном паза копира 6.

При диагональном с углом диагонали от 60 до 90° , тангенциальном и врезном шевинговании бочкообразную форму придают шевером, у которого зубья в продольном направлении имеют вогнутость.

Кроме продольной модификации зуба иногда производят профильную модификацию зуба колеса. С головки зуба колеса удаляют шевером металл глубиной до 0,005—0,0075 мм, чтобы избежать контактирования головки зуба в начале зацепления с сопряженным колесом.

§ 5. Шевингование шевер-рейкой и червячным шевером

Шевингование цилиндрических зубчатых колес производят дисковым шевером и шевер-рейкой. Наиболее распространенным является шевингование дисковым шевером, так как этот метод более универсален и экономичен.

Шевингование шевер-рейкой (рис. 60, а) применяется ограниченно. В процессе обработки зубчатое коле-

со 1, установленное в центрах, находится в плотном зацеплении с шеввер-рейкой 2, закрепленной на столе станка. Стол с инструментом имеет возвратно-поступательное движение и приводит во вращение обрабатываемое колесо 1. Эвольвентный профиль образуется благодаря обкатке зубьев обрабатываемого колеса по шеввер-рейке, имеющей прямобоочный профиль зубьев. Большое число мелких зубчиков 4 на зубьях 3 рейки имеют ре-

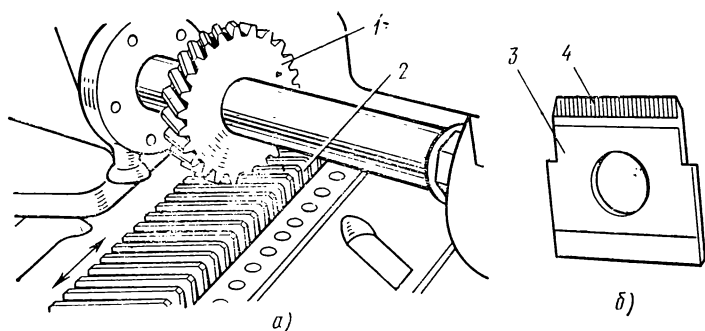


Рис. 60. Шевингование шеввер-рейкой:
а — схема шевингования, б — зуб шеввер-рейки

жущие кромки, которые в процессе резания снимают мелкую стружку с боковой поверхности зубьев колеса и таким образом формируют эвольвентный профиль зубьев (рис. 60, б). В процессе шевингования положение обрабатываемого колеса меняется по всей ширине рейки, благодаря чему достигается равномерный износ зубьев рейки. При реверсировании обрабатываемому колесу сообщается радиальная подача (на инструмент) для снятия небольшого припуска. Процесс шевингования шеввер-рейкой осуществляется за несколько возвратно-поступательных ходов стола (последние два — четыре хода — калибрующие, их осуществляют без радиальной подачи при постоянном межосевом расстоянии между колесом и инструментом).

Шеввер-рейка состоит из ряда вставных зубьев 3, шлифованных с высокой точностью. На боковой поверхности этих зубьев имеются мелкие зубчики 4 (с канавками), параллельные боковой стороне рейки. Зубья 3 прямозубой рейки установлены параллельно между собой и перпендикулярно торцу держателя, в котором закреплена рейка.

Рейки с прямыми зубьями применяют для шевингования косозубых колес с правым и левым направлением линии зуба и углом наклона зубьев до 30° . Косозубые колеса с углом наклона зуба более 30° шевингуют косозубой рейкой. Одной шеввер-рейкой можно обрабатывать любые зубчатые колеса, имеющие одинаковый модуль и угол профиля.

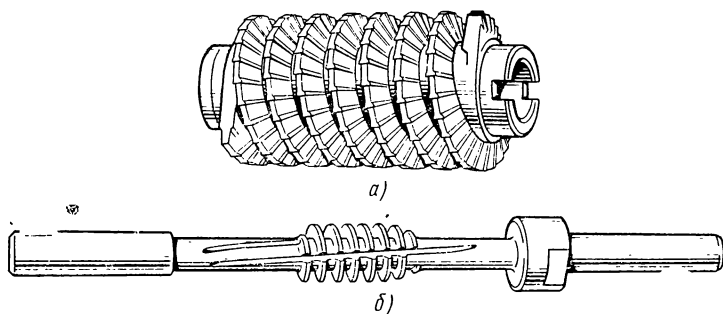


Рис. 61. Инструмент для чистового нарезания зубьев червячных колес:

а — червячный шеввер, *б* — червячная фреза

Чистовое нарезание червячных колес производят червячным шеввером, червячной фрезой и фрезой-летучкой.

Червячный шеввер (рис. 61, *а*) по геометрическим параметрам представляет собой рабочий червяк. На боковых поверхностях витка имеется большое число мелких зубчиков. После термической обработки и шлифования на этих зубчиках образуются узкие незатылованные ленточки шириной 0,2—0,5 мм с режущими кромками. Чтобы обеспечить взаимозаменяемость червячного шеввера с рабочим червяком, целесообразно червячный шеввер и червяк шлифовать на одном станке с одинаковыми установками.

Червячные шевверы сложнее, дороже и имеют более низкий период стойкости, чем червячные фрезы, поэтому для увеличения срока службы диаметр червячного шеввера делают несколько больше по сравнению с диаметром червячной фрезы того же назначения. При работе шеввером с увеличенным диаметром необходимо в станке соответственно увеличить расстояние между осями шеввера и колеса и дополнительно повернуть фрезер-

ную головку на угол, равный разности углов подъема нитки обоих инструментов.

Червячные колеса обычно шевингуют с радиальной подачей на зубофрезерном станке до достижения номинального межосевого расстояния. Обрабатываемое колесо приводится во вращение червячным шевером, механизм привода стола выключен.

Основной задачей при обработке червячным шевером является уменьшение шероховатости поверхности обрабатываемого червячного колеса и исправление небольших погрешностей в геометрии зубчатого зацепления. Поэтому припуск (на толщину зубьев) под шевингование должен быть минимальным, а точность изготовления червячного колеса перед шевингованием — достаточно высокой.

В последнее время окончательную обработку червячных колес осуществляют на специальных зубофрезерных станках с использованием вместо червячных шеверов чистовых червячных фрез (рис. 61,б) классов АА и ААА.

§ 6. Форма профиля инструмента, обрабатывающего зубчатое колесо под последующее шевингование

Качество шевингования в значительной степени зависит от геометрических параметров зуба червячной фрезы или долбяка, нарезающих зубья цилиндрических колес перед шевингованием. Правильный выбор этих параметров является задачей, которую необходимо совместно решать на стадии проектирования конструкторам-разработчикам зубчатых колес и режущего инструмента.

В процессе шевингования вершина зуба шевера не должна касаться дна впадины зуба обрабатываемого колеса, для чего зазор между вершиной зуба шевера и дном впадины зуба колеса после зубофрезерования или зубодолбления должен быть не менее $0,5t$ (рис. 62).

Если радиус галтели во впадине зуба колеса (после зубофрезерования или зубодолбления) слишком большой, то при шевинговании может произойти заклинивание шевера. В этом случае получается неправильный эвольвентный профиль зуба колеса и, кроме того, имеет место повышенный износ вершины зубьев шевера и увеличивается вероятность их поломки. В процессе шевингования

контакт между шевером, галтелью впадины и дном впадины зуба колеса недопустим.

Червячные фрезы и долбяки с модифицированным профилем зуба могут обеспечить необходимый зазор для свободного вращения вершины зуба шевера при шевинговании.

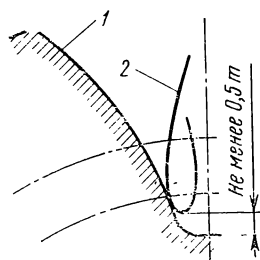


Рис. 62. Нарезание впадины зуба колеса:

1 — профиль зуба колеса,
2 — траектория движения
вершины зуба шевера

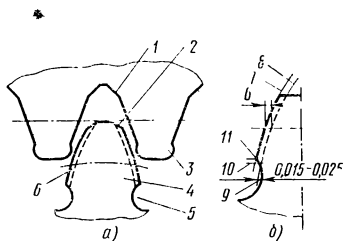


Рис. 63. Модифицированная форма зубьев инструмента и колеса:

а — форма зуба колеса и червячной фрезы, б — зуб колеса, нарезанный червячной фрезой с «усиком»

Модифицированный профиль зубьев червячной фрезы (рис. 63, а) имеет утолщение («усик») 3 на головке и фланкированный участок 1 в ножке зуба, с помощью которого снимается фаска 2 (высотой 0,3—0,6 мм) на головке зуба обрабатываемого колеса. «Усик» служит для небольшого подрезания 5 в ножке зуба обрабатываемого колеса 4, с тем чтобы вершина зуба шевера свободно поворачивалась во впадине зуба колеса. Чтобы не уменьшить прочность зубьев, величина подрезания зуба колеса должна быть на 0,015—0,025 мм больше, чем припуск 6 под шевингование (рис. 63, б).

Положение подрезания меняется в зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса: на колесах с малым числом зубьев подрезание располагается слишком высоко, уменьшая активный эвольвентный профиль зуба, а на колесах с большим числом зубьев — слишком низко, не обеспечивая нужного эффекта.

Шевер проектируют таким образом, чтобы точка его контакта с эвольвентным профилем зубьев колеса (поверхность 8) была бы несколько ниже точки 10, в которой сопряженное колесо касается зуба колеса, нарезан-

ного под шевингование. Начало касания «усика» червячной фрезы с фрезерованным профилем 7 зуба колеса отмечено точкой 11 (см. рис. 63, б). Следовательно, точка 10 определяет максимально допустимую высоту галтели во впадине зуба колеса после фрезерования.

Если зубчатое колесо имеет малое число зубьев, то точка контакта располагается несколько выше точки 10 и в этом случае в зоне контактирования должен сниматься небольшой припуск порядка 0,015 мм (см. рис. 63, б). Высота H «усика» (рис. 64) определяется из условия сопряжения двух зацепляющихся между собой зубчатых колес, а положение точки 9 максимального подрезания зуба — высотой H «усика» и радиусом R вершины фрезы (см. рис. 63 и 64).

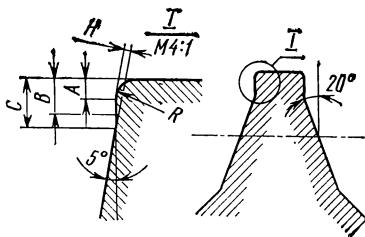


Рис. 64. Форма профиля зуба червячной фрезы с «усиком»

Форма профиля зуба колеса перед шевингованием должна быть точной и близкой к форме окончательного профиля, тогда припуск b будет срезаться во время шевингования равномерно вдоль всего рабочего профиля, не оставляя на боковой поверхности зуба следов предварительной обработки.

Червячные фрезы с «усиком» сложны в изготовлении, дороже, имеют меньший период стойкости, чем фрезы без модификации профиля. Тем не менее их широко применяют в автомобильной промышленности, поскольку обработка такими фрезами повышает качество шевингования и качество сопряжения шевингованных колес в процессе эксплуатации.

В табл. 11 приведены рекомендуемые размеры профиля зуба червячных фрез с «усиком». (см. рис. 64) при угле профиля 20° , предназначенных для фрезерования зубчатых колес под последующее шевингование.

В ножке зуба червячной фрезы делается фланкированный участок 1 для снятия небольшой фаски 2 на головке зуба обрабатываемого колеса (см. рис. 63, а). Это препятствует образованию заусенцев в процессе шевингования и забоин на вершине зуба при транспортировке. Чтобы не вызывать уменьшения активной части профиля зуба колеса, а следовательно, продолжитель-

ности зацепления у сопряженных зубчатых колес, теоретический внешний диаметр заготовки в этом случае следует увеличить на величину снимаемой фаски. По этой причине фаску на вершине зубьев прямозубых цилиндрических колес с укороченной высотой делать не рекомендуется.

Таблица 11

<i>m</i>	<i>H</i>	<i>R</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>m</i>	<i>H</i>	<i>R</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
1	0,035	0,3	0,20	0,29	0,68	3,75	0,05	1,13	0,74	1,09	1,64
1,25	0,035	0,38	0,25	0,36	0,75	4	0,055	1,2	0,79	1,17	1,78
1,5	0,035	0,45	0,30	0,44	0,82	4,5	0,055	1,35	0,89	1,31	1,92
1,75	0,035	0,53	0,35	0,51	0,90	5	0,055	1,5	0,99	1,46	2,07
2	0,04	0,6	0,39	0,58	1,03	5,5	0,055	1,65	1,09	1,65	2,21
2,25	0,04	0,68	0,44	0,66	1,10	6	0,06	1,8	1,18	1,75	2,41
2,5	0,04	0,75	0,49	0,73	1,17	7	0,06	2,1	1,38	2,04	2,70
2,75	0,04	0,83	0,54	0,80	1,24	8	0,06	2	1,58	2,33	2,99
3	0,05	0,9	0,59	0,87	1,42	9	0,06	2,7	1,78	2,62	3,28
3,25	0,05	0,98	0,64	0,95	1,50	10	0,07	3	1,97	2,91	3,69
3,5	0,05	1,05	0,69	1,02	1,57	12	0,07	3,6	2,37	3,50	4,28

§ 7. Точность зубчатых колес до и после шевингования

Результаты шевингования зависят от многих факторов, некоторые из них должны быть учтены при проектировании зубчатого колеса и разработке технологического процесса.

Точность заготовки зубчатых колес. Заготовка зубчатого колеса должна быть правильно сконструирована, иметь достаточную жесткость и высокую точность базовых поверхностей; материал заготовки должен хорошо обрабатываться резанием.

Жесткая конструкция заготовки необходима для уменьшения деформаций при зажиме во время резания и термической обработке. Если зубчатое колесо во время шевингования базируется по отверстию, то при проектировании нужно соблюдать определенное соотношение длины посадочного отверстия к внешнему диаметру заготовки, чтобы избежать вибрации при резании. В за-

готовке (рис. 65, а) конструктивные параметры выбраны оптимальными; опорная поверхность 1 под зубьями достаточно большая; перемычка 2 имеет необходимую толщину; ступица 3 и посадочное отверстие в ней имеют достаточной величины длину и диаметр. Такая заготовка легко и надежно устанавливается в зажимное при-

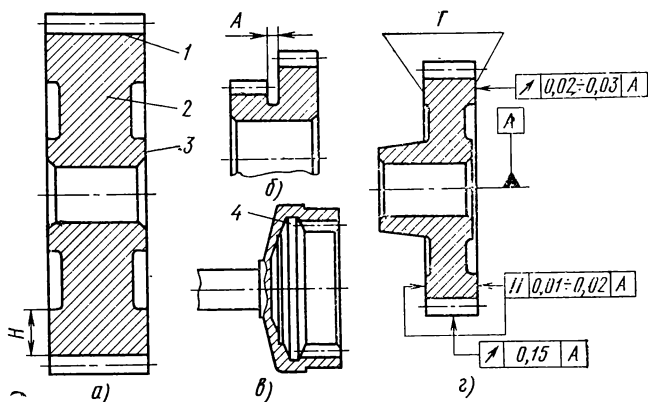


Рис. 65. Конструкции заготовок зубчатых колес

способление при нарезании и шевинговании зубьев и будет иметь минимальные деформации при термической обработке. Высота H опорной поверхности зубчатого венца не должна быть меньше высоты зуба колеса.

При проектировании заготовки зубчатого колеса следует предусматривать фаски на кромках внешних поверхностей, используемых для установки и зажима детали. Забоины и заусенцы на установочных и зажимных поверхностях не допускаются, так как они могут вызвать смещение заготовки от правильного положения в приспособлении зубофрезерного и зубошевинговального станков и обусловить погрешности обработки.

Во время проектирования заготовок блок-колес или колес с буртиком, обрабатываемых шевингованием, необходимо предусмотреть, чтобы расстояние A между соседними венцами (рис. 65, б) было достаточным для свободного выхода шевера в крайнем положении.

Если зубчатые колеса-валы при шевинговании базируются на собственных центровых отверстиях, то эти отверстия должны быть выполнены с предохранительными фасками или выточками; иметь правильный угол

(под установку центров) и не иметь забоин и заусенцев.

При шевинговании зубчатых колес внутреннего зацепления для возможности обработки профиля по всей длине зуба в заготовке следует предусмотреть кольцевую канавку 4 (рис. 65, в), ширина которой достаточна для выхода шевера в конце хода.

При возможности зубчатые венцы внутреннего зацепления следует изготавливать со сквозным отверстием, что позволяет при шевинговании выбирать угол скрещивания осей без ограничения, так как шевер в крайних положениях будет иметь свободный выход.

На характер и величину деформаций, возникающих в шевингованном колесе при термической обработке, влияют следующие факторы: форма заготовки; параметры зубьев; материал заготовки; условия термической обработки.

Точность базовых поверхностей заготовки, применяемых при установке зубчатого колеса на зубошевинговальном станке, имеет большое значение для обеспечения высокого качества зубчатого колеса. Для колеса диска (рис. 65, г) важнейшими параметрами являются: диаметр посадочного отверстия; биение базовых торцов T зубчатого венца; непараллельность базовых торцов; биение внешнего диаметра заготовки.

Систематический контроль базовых поверхностей позволит своевременно обнаружить заготовки низкого качества. Когда имеется ограничение на размер фаски головки зуба, биение внешнего диаметра заготовки следует оговаривать допуском.

Точность зубчатых колес перед шевингованием определяет качество изготовления зубчатых колес в процессе шевингования. Чем выше точность колеса до шевингования, тем точнее оно будет после шевингования.

Зубофрезерование по сравнению с зубодолблением является предпочтительным видом обработки колес под шевингование, что помимо более высокой производительности зубофрезерования объясняется следующим. Линии резов на профиле зуба колеса при зубофрезеровании (рис. 66, а) и зубошевинговании (рис. 66, в) имеют поперечное направление (т. е. практически совпадают), а при зубодолблении (рис. 66, б) — продольное направление. Следовательно, при шевинговании заготовки, обработанной на зубодолбежном станке, создаются неблагоприятные условия резания, так как режущие

зубчики шевра пересекают выступы (гребешки), образованные долбяком. Кроме того, в конце цикла зубодолбления последний зуб обрабатываемого колеса получается несколько тоньше других зубьев, что практически не может быть исправлено при шевинговании.

На точность обработки зубчатого колеса под последующее шевингование большое влияние оказывают точность и техническое состояние заготовки, зубофрезерного станка, зажимного приспособления и червячной фрезы.

При зубофрезеровании и зубодолблении правильная геометрическая форма зубьев нарезаемого колеса может быть обеспечена при непрерывном и согласованном вращении заготовки и режущего инструмента и согласованном вращении заготовки и режущего инструмента в

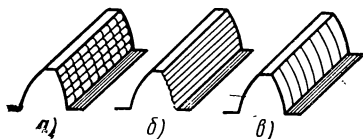


Рис. 66. Направление резов при зубофрезеровании (а), зубодолблении (б) и зубошевинговании (в)

процессе резания. Это условие выполняется в том случае, если ось заготовки нарезаемого колеса совпадает с осью вращения стола (с зажимным приспособлением) зубофрезерного станка. При нарушении этого условия (из-за неточного изготовления заготовки) зубья колеса будут иметь неправильную геометрическую форму, что обусловит повышенное радиальное биение зубчатого венца и неточность шага.

Чтобы получить высокую точность зубчатого колеса при зубофрезеровании или зубодолблении, нужно иметь прежде всего жесткий и точный станок.

Точность установки зажимного приспособления на столе станка оценивается по поверхностям, которые используют в качестве баз при установке нарезаемого колеса в приспособлении. Биение установочной шейки и опорного торца зажимного приспособления не должно превышать 0,01—0,015 мм. Другим более точным и быстрым способом контроля правильности установки и точности зажимного приспособления на столе станка является контроль по точно шлифованной по наружной поверхности и базовым торцам заготовки. Радиальное биение наружной поверхности заготовки, зажатой в приспособлении, не должно превышать 0,015—0,02 мм. Этот принцип рекомендуется использовать и для перио-

дического контроля точности установки зажимного приспособления на зубошевинговальном станке. Точность изготовления установочных поверхностей в зажимном приспособлении должна быть не более 0,005 мм.

На рис. 67 показана правильная установка и зажим червячной фрезы на оправке зубофрезерного станка.

Перед установкой фрезы 1 и поддерживающего кронштейна 2 у оправки 3 индикатором проверяют радиальное и торцовое биение. Радиальное биение оправки не

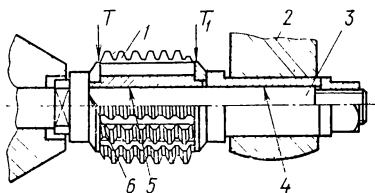


Рис. 67. Правильная установка и зажим червячной фрезы на оправке зубофрезерного станка

должно превышать 0,005—0,01 мм как вблизи шпинделя фрезы (точка 5), так и на противоположном конце оправки (точка 4). Торцовое биение оправки в точке 6 должно быть не более 0,005 мм. У закрепленной на оправке червячной фрезы 1 проверяют радиальное биение контрольных буртиков T и T₁.

Допустимое радиальное биение обоих буртиков 0,01—0,02 мм. Наибольшее биение противоположных буртиков фрезы должно быть в одной плоскости. Торцовое биение фрезы не должно превышать 0,01 мм. Опорные торцы фрезы должны быть строго параллельны. Закрепление червячной фрезы на оправке следует производить с минимальным числом распорных колец или без колец. Для закрепления червячных фрез желательно использовать короткие оправки. Точность посадочного диаметра оправки (под червячную фрезу) должна быть в пределах 0,005 мм, а точность диаметра посадочного отверстия червячной фрезы — 0,008—0,01 мм.

После зубофрезерования и зубодолбления контролируют следующие параметры: погрешность шага, направление линии зуба, профиль (эвольвенту), радиальное биение, колебание длины общей нормали. Размер зубьев с учетом припуска под шевингование, колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса и на одном зубе. Точность зубчатых колес после шевингования на 1—2 степени выше точности после зубонарезания. Поэтому оптимальных результатов после шевингования можно достигнуть, если погрешности колеса после зубонарезания превысят не более 30% и допуски на размеры шевингованного колеса.

Когда шевер должен исправить слишком большую погрешность эвольвентного профиля, полученную после зубонарезания, отдельные участки зубьев шевера подвергаются чрезмерному износу в виде вогнутости, которая в свою очередь образует выпуклости на профилях зубьев шевингуемого колеса.

Таблица 12

Контролируемый параметр	Зубофрезерование (зубодолбление)		Зубошевингование	
	Модуль, мм			
	1,5—3	3—6,5	1,5—3	3—6,5
Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса, мм	0,06	0,08	0,03	0,04
Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе, мм	0,02	0,03	0,01	0,015
Радиальное биение, мм	0,05	0,08	0,04	0,05
Погрешность профиля на четырех зубьях приблизительно через 90°, мм	0,025	0,03	0,01	0,015
Погрешность направления зуба на четырех зубьях приблизительно через 90° на длине 25 мм, мм	0,025	0,03	0,01	0,015
Погрешность шага от зуба к зубу, мм	0,015	0,025	0,01	0,015
Колебание длины общей нормали, мм	0,03		0,04	

С зубчатых колес, на торцах которых производят закругление или снятие фасок с острых кромок, должна быть снята стружка и удалены заусенцы. Иначе эти заусенцы могут внедриться в канавки между режущими зубчиками шевера и вызвать их поломку.

Чрезмерный припуск под шевингование снижает стойкость шевера и увеличивает время шевингования. Высота зуба при зубофрезеровании должна быть несколько больше высоты зуба, указанной в чертеже, чтобы исключить касание вершин зубьев шевера о дно впа-

дины зубьев шевингуемого колеса; когда этот дефект имеет место, возможна поломка зубьев шевера и снижение точности обработки.

В табл. 12 приведены рекомендуемые допуски на основные параметры цилиндрических зубчатых колес (коробки передач автомобиля) после зубофрезерования (зубодолбления) и зубошевингования.

Эти допуски, полученные на основании опыта многих автомобильных заводов, обеспечивают стабильное качество изготовления зубчатых колес. Приведенные допуски следует рассматривать как средние, которые в ряде случаев могут быть расширены или ужесточены.

Точность зубчатых колес после шевингования. В отличие от зубофрезерования и зубодолбления при шевинговании отсутствует жесткая кинематическая связь между инструментом (шевером) и обрабатываемым колесом. Ведущим элементом в большинстве шевинговальных станков является шевер, сообщающий свободное вращение обрабатываемому колесу. Этот принцип работы вызывает ряд проблем, которые отсутствуют при использовании других методов обработки и которые необходимо учитывать при разработке и применении процесса шевингования. Основная причина погрешностей, возникающих при шевинговании, неравномерность вращения обрабатываемого колеса и шевера в процессе резания.

Теоретически зацепление шевера и колеса (при наличии угла скрещивания) является точечным, подобно зацеплению винтовой передачи. Точка касания описывает сложное движение на поверхности зуба колеса. Во время резания (при плотном зацеплении шевера и колеса) зона касания имеет вид вытянутого эллипса. По мере углубления зубчиков шевера в зуб колеса вогнутость эллипса меняется, а следовательно, изменяется и объем снимаемого металла. Величина этого объема зависит от скорости резания, твердости заготовки, неравномерности припуска под шевингование, а также от формы шевингуемого зуба (обычной, бочкообразной и т. д.)

Возникают определенные трудности и при шевинговании зубчатых колес с малым числом зубьев, так как при этом число сторон зубьев шевера, контактирующих с колесом, меняется примерно от двух до трех, что при постоянно приложенной нагрузке обуславливает неравномерность съема металла. Зубья шевера зацепляются

с зубьями колеса на разной высоте, что вызывает некоторое искажение эвольвентного профиля зуба колеса и снижает точность обработки. Для решения указанных проблем необходима высокая точность обработки перед шевингованием, что позволяет оставлять минимальный припуск под шевингование.

При шевинговании легко исправляются погрешности формы профиля, возникающие при нарезании зубьев червячной фрезой или долбяком методом обкатки; в меньшей степени исправляются погрешности шага; погрешности же направления зуба (особенно на колесах с большой шириной зубчатого венца) исправляются с большим трудом. Радиальное биение (появляющееся при зубофрезеровании) исправляется при шевинговании очень незначительно или совсем не устраняется; в некоторых случаях радиальное биение при шевинговании переходит в накопленную погрешность шага.

§ 8. Пути повышения качества при шевинговании

1. Шевингование является отделочной операцией при обработке зубчатых колес, и поэтому при шевинговании должен сниматься минимальный припуск, достаточный для уменьшения шероховатости и устранения погрешностей, полученных на предшествующих операциях зубообработки. Чем выше точность до шевингования, тем легче и быстрее получить зубчатое колесо высокого качества в процессе шевингования. Для уменьшения погрешности направления зуба целесообразно для колес с модулем свыше 4 мм применять двухпроходное зубофрезерование.

При зубофрезеровании и зубодолблении с целью уменьшить радиальное биение зубчатого колеса необходимо точно центрировать его в зажимном приспособлении.

У зубчатых колес после зубозакругления, снятия фасок и зубофрезерования необходимо полностью удалить оставшуюся стружку, а также заусенцы на торцах и зубьях. Фрезерование с попутной подачей значительно уменьшает заусенцы на торцах колеса.

2. Чтобы уменьшить радиальное биение и вибрации в процессе резания, посадочное отверстие заготовки должно иметь достаточный диаметр, длину и минимальный зазор при установке заготовки в оправку. Шевингование надо производить, используя те же базы, что

и при зубофрезеровании и зубодолблении. Опорный то-рец должен располагаться как можно ближе к зубчатому венцу. Опорные и установочные поверхности заготовки должны быть свободны от забоин и заусенцев. Если зубчатое колесо базируется в собственных центровых отверстиях, то последние должны иметь предохранительные выточки и требуемый угол. Центровые отверстия не должны иметь забоин и заусенцев. При шевинговании закрытых венцов расстояние между венцами должно быть достаточным для выхода шевера в крайнем положении.

3. Для обеспечения хорошей обрабатываемости резанием стальные поковки перед механической обработкой должны подвергаться отжигу или нормализации. Материал заготовки должен иметь однородную структуру (феррит—перлит) с твердостью НВ 160—200 и пределом прочности на растяжение 588—686 МПа. Если предел прочности материала превышает 784 МПа, то период стойкости шевера резко уменьшается.

4. Продолжительность зацепления (коэффициент перекрытия) шевера с обрабатываемым колесом должна быть по возможности наибольшей, но не менее 1,6. Снижение коэффициента перекрытия уменьшает активную часть профиля зуба колеса.

Чтобы увеличить продолжительность зацепления, фаску на головке зуба колеса следует делать как можно меньше. Если возможно, то необходимо увеличить головку зуба на величину среза. У прямозубых колес с укороченной высотой зуба фаску на головке зуба делать нецелесообразно. Следует избегать применения зубчатых колес с укороченными зубьями. Для увеличения продолжительности зацепления, если позволяет передаваемая нагрузка; целесообразно увеличить число зубьев колеса. При шевинговании прямозубых колес с небольшим числом зубьев целесообразно применять шевер с максимально возможным наружным диаметром.

5. В крупносерийном и массовом производстве, а также при проектировании тяжелонагруженных и бесшумных зубчатых передач в целях обеспечения высокого качества изготовления необходимо для каждого зубчатого венца проектировать шевер и червячную фрезу и одновременно (для обоих сопряженных колес) производить отладку режущего инструмента. Число зубьев шевера не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса.

Для большинства шеверов (после изготовления или заточки и поэлементного контроля) необходим дополнительный контроль по точности обрабатываемого колеса.

Контрольные вопросы

1. Какую степень точности и шероховатость боковых поверхностей зубьев можно получить у шевингованных зубчатых колес?
2. Какие методы шевингования зубчатых колес с внешним зацеплением вам известны?
3. В чем сущность метода шевингования с черновой и чистовой подачами?
4. Каким образом производят шевингование зубчатых колес с внутренним зацеплением?
5. Какие способы получения бочкообразности зубьев при шевинговании вам известны?
6. Каким образом производят шевингование зубчатых колес шевер-рейкой?
7. Какими инструментами производят чистовое нарезание червячных колес?
8. Какую форму должен иметь зуборезный инструмент для обработки зубьев под шевингование?
9. Какие требования предъявляют к точности обработки зубчатых колес перед шевингованием?
10. Какие вам известны пути повышения качества при шевинговании?

ГЛАВА V. ЗУБОШЕВИНГОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

§ 1. Направления развития шевинговальных станков

Шевингование как один из наиболее производительных и экономичных методов чистовой обработки цилиндрических зубчатых колес высокого качества находится в постоянном развитии. Одновременно с совершенствованием и развитием новых методов шевингования проводится большая работа по созданию новых конструкций зубошевинговальных станков, удобных и надежных в эксплуатации. Новые зубошевинговальные станки совершенствуются в следующих направлениях.

1. Увеличение производительности путем сокращения вспомогательного времени в цикле обработки, увеличения массы и жесткости узлов шеверной головки, бабок и стола для закрепления детали.

2. Повышение точности обработки и стабильности размера зубьев путем контроля глубины резания кулачковым механизмом и уменьшения тепловых деформаций шеверной головки и вертикальной стойки станка.

3. Расширение технологических возможностей и широкая унификация шевинговальных станков в целях реализации на одном станке различных методов шевингования.

4. Создание условий для встраивания шевинговальных станков в автоматические линии (например, постоянство высоты стола от уровня пола).

5. Бесступенчатое регулирование скорости резания и подачи в широких пределах.

6. Повышение надежности работы станков; простота и удобство наладки, переналадки и обслуживания станка.

7. Стабильное качество изготовления зубчатых колес на протяжении длительного времени работы станка.

В последние годы станки с горизонтальным расположением осей шевера и колеса для обработки зубчатых колес среднего модуля подверглись значительным конструктивным изменениям.

Рассмотрим несколько примеров. На рис. 68 дан общий вид зубошевинговального станка. При постоянной высоте стола (1100—1150 мм) вертикальная подача осуществляется посредством подачи вниз головки шевера, а не подачи вверх рабочего стола с обрабатываемым колесом. Основание 1 стола сделано заодно с вертикальной стойкой.

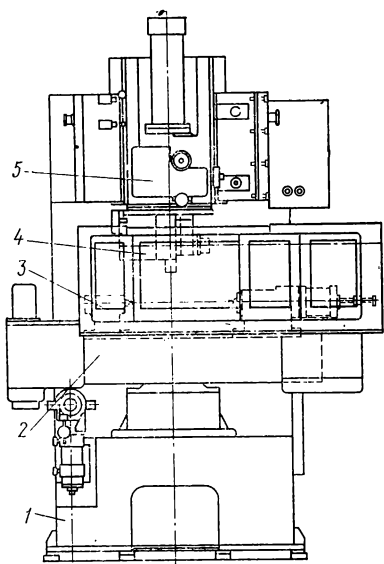


Рис. 68. Общий вид зубошевинговального станка с вертикальной подачей вниз головки шевера

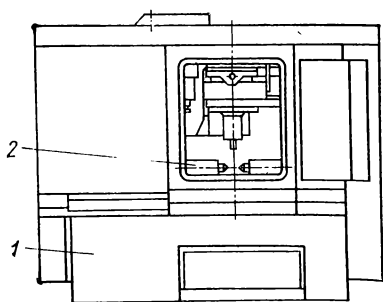


Рис. 69. Общий вид зубошевинговального станка, на котором обрабатываемое колесо расположено на неподвижной станине

Стол 2, на котором установлены бабки 3 для закрепления изделия, может перемещаться в продольном и поперечном направлениях и поворачиваться на угол диагонали, имеет устройство для получения бочкообразной и конической формы зуба.

Вертикальная подача на врезание осуществляется шеверной головкой 4 с шевером, закрепленной в подвижной массивной каретке 5 с широкими направляющими. Для повышения жесткости шпиндель шевера смонтирован в роликовых подшипниках большого размера и угла конуса. Механизм врезной подачи состоит из регулируемого электродвигателя, шариковой винтовой пары и специального копирного устройства, которое обеспечивает перемещение каретки шевера с минимальным зазором и постоянство ее конечных положений. В процессе резания шеверная головка закреплена.

В станке предусмотрена широкая унификация. На базе одной модели (наибольшие параметры обрабатываемого колеса: диаметр 300 мм; модуль 6 мм; ширина зубчатого венца 100 мм; масса станка 4,9 т) изготавливают две-три различные модификации. Одна из этих модификаций обычно предназначена для шевингования четырьмя методами: с параллельной, диагональной, тангенциальной и врезной подачами. На этой же базе изготавливают станок только для врезного шевингования. Параметры обрабатываемых колес на этом станке уменьшены (наибольший модуль до 3 мм, ширина зубчатого венца до 30 мм), остальные параметры остаются без изменения.

Пример обработки. Зубчатое колесо: $z=32$; $m_n=2,75$ мм; $\beta=25^\circ 21'$; $\alpha=21^\circ$; $b=15,3$ мм; $h=6,68$ мм; твердость НВ 170. Шевер: $z_0=73$; $d_a=205$ мм; $\beta_{ш}=10^\circ 21'$; $\alpha=21^\circ$. Режим резания: $v_0=116$ м/мин; $n_{ш}=180$ об/мин; $s_{вр}=0,0023$ мм/об; припуск на толщину зуба 0,05 мм; штучное время 28 с. Точность обработки: радиальное биение 0,006 мм; погрешность шага 0,003 мм; накопленная погрешность шага 0,01 мм.

В зубошевинговальном станке, показанном на рис. 69, обрабатываемое колесо располагают на жесткой неподвижной станине. Движения, необходимые для осуществления рабочего цикла, передаются от шевера. Такое решение рабочей зоны создают дополнительные удобства для автоматизации станка. Неподвижная заготовка и свободный прямолинейный проход через зону обработки обеспечивают свободный доступ транспортно-загрузочным средствам к рабочей зоне как с передней, так и с задней стороны станка (или сквозным путем).

Небольшое расстояние до загрузочного положения удобно и для ручной смены заготовки. Высота стола для закрепления обрабатываемого колеса постоянна и равна 1000 мм. Стол представляет собой массивную литую станину 1, на шлифованной поверхности которой имеется два Т-образных паза для установки и закрепления правой и левой бабок 2 в требуемой позиции. Между центрами бабок закрепляют обрабатываемое колесо. Стол в процессе шевингования неподвижен, заготовка помимо вращения других перемещений не имеет. На столе установлены две массивные, жесткие вертикальные стойки, которые соединены между собой поперечной подвижной кареткой, образующей жесткую основу этого узла. Каретка перемещается по стальным закаленным и шлифованным направляющим посредством винтовой шариковой пары большого диаметра. Подача от электродвигателя осуществляется ступенчато с высокой точностью позиционирования.

На каретке размещены поворотный механизм для установки угла скрещивания и угла диагонали и горизонтальные направляющие, по которым шеверная головка с шевером перемещается вдоль зуба или под углом в зависимости от метода шевингования. Для изготовления зубьев бочкообразной и конической формы стол перемещается по направляющим линейки через кулису (подача регулируется бесступенчато). Применение корректирующего устройства гарантирует равномерное перемещение при малых подачах. На станке можно устанавливать электродвигатели постоянного или переменного тока.

В обоих случаях частота вращения шевера регулируется бесступенчато. Главный электродвигатель расположен на станине, чтобы уменьшить тепловое воздействие на рабочие органы станка.

Встроенный гидравлический агрегат и привод шевера доступны для обслуживания. Стальные направляющие практически не имеют зазора, их закаленные и шлифованные поверхности покрыты искусственным материалом, уменьшающим износ.

Все наладочные установки станка осуществляются одним инструментом. О появлении повреждений в зоне обслуживания оператор предупреждается сигналом от пульта управления, что позволяет оператору быстро устранить возникшие неполадки. Станок включается в работу после закрытия предохранительных щитков.

На рис. 70 показан специальный станок для врезного шевингования особо жесткой конструкции. Наибольшие параметры обрабатываемого колеса: диаметр 180 мм; модуль 5 мм; ширина зубчатого венца 50 мм. Наибольший диаметр шевра 300 мм; масса станка 3000 кг. Станок состоит из стола 1, на котором в центрах правой и

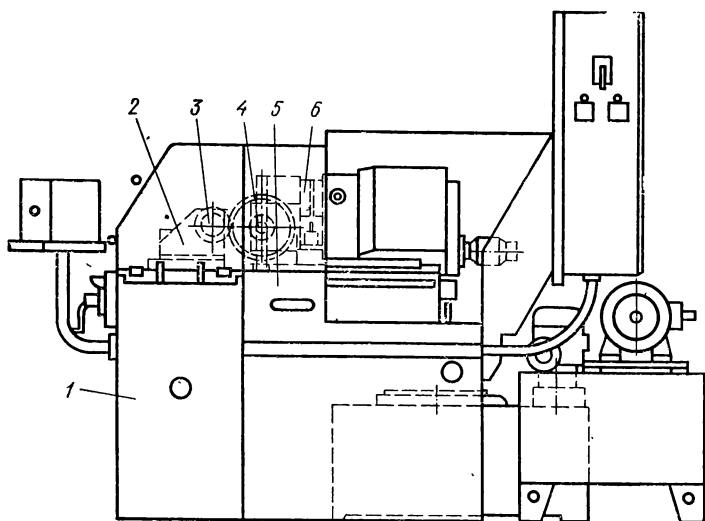


Рис. 70. Зубошевинговальный станок для врезного шевингования

левой бабок 2 закрепляется обрабатываемое колесо 3. Частота вращения шевра (привод от гидромотора, регулирование бесступенчатое) 40—400 об/мин. Реверсирование шевра осуществляется быстро и плавно (без толчков). Расстояние между осями обрабатываемого колеса и шевра устанавливается посредством винта. Во время цикла шевингования головка 6 с шевром 4 перемещается (по направляющим 5) с радиальной подачей на врезание к неподвижной заготовке. Программа рабочего цикла шевингования контролируется специальным копирным устройством.

На рис. 71, а показан станок для шевингования зубчатых колес внутреннего зацепления. Ведущим элементом является обрабатываемое колесо, которое устанавливается в патроне. Такое решение связано с тем, что большая инерция зубчатого колеса с зажимным патро-

ном может быть источником образования погрешностей в зубчатом зацеплении и вызвать поломку зубьев шевера.

Зона 1 загрузки — разгрузки открыта и удобна для обслуживания. Обработываемое колесо во время рабочего цикла, помимо вращения, подается вверх, осуществляя радиальную подачу, быстрый подвод и отвод заготовки от шевера. Шпиндель 2 с закрепленным на нем

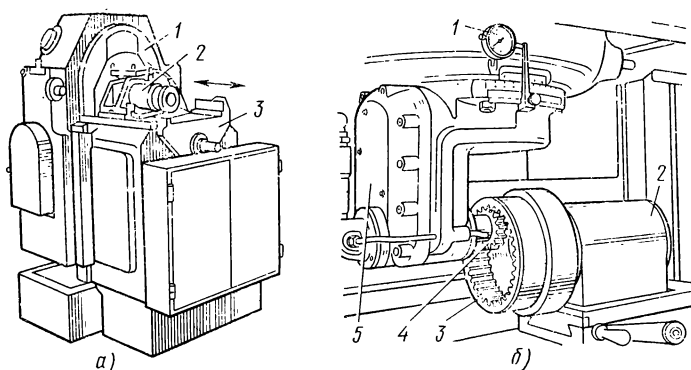


Рис. 71. Оборудование для шевингования зубчатых колес внутреннего зацепления:

а — общий вид зубошевинговального станка, б — приспособление для шевингования колес внутреннего зацепления

шевером может устанавливаться (по направляющим стола 3) на угол скрещивания осей и вместе со столом осуществлять возвратно-поступательное движение при параллельном шевинговании. На станке можно шевинговать зубья бочкообразной и конической формы.

При врезном шевинговании подача заготовки вверх производится без возвратно-поступательного движения шевера. Шевер специальной конструкции: его зубья имеют продольную вогнутость, в которой при необходимости учитывается и бочкообразная форма зуба колеса.

На станке можно производить параллельное и врезное шевингование прямозубых и косозубых цилиндрических колес внутреннего зацепления (внутренний диаметр зубчатого венца 80—250 мм; наибольший модуль 5 мм; масса станка 3500 кг). Шевингование зубчатых колес внутреннего зацепления можно производить и на станках для шевингования колес с наружным зацеплением, для чего на станки вместо обычной шеверной головки уста-

навливают специальную головку 5 с шевером 4 (см. рис. 64, б). На столе станка размещают специальную бабку 2, в которой крепится обрабатываемое колесо 3. Бабка 2 имеет два положения: рабочее и для снятия — установки детали. Шеверная головка 5 поворачивается на угол скрещивания осей, а с помощью индикатора 1 осуществляется более точная наладка для получения требуемого угла наклона линии зуба.

§ 2. Типы зубошевинговальных станков и их основные характеристики

Согласно принятой в отечественном машиностроении классификации металлорежущих станков каждая модель станка обозначается шифром, состоящим из нескольких цифр в сочетании с буквами.

Первая цифра шифра обозначает группу станка. Зубообрабатывающие станки относятся к 5-й группе, поэтому первой в шифре всех зубообрабатывающих станков ставят цифру 5.

Вторая цифра в шифре обозначает тип станка. Группа зубообрабатывающих станков состоит из девяти типов. Зубоотделочные (шевинговальные, зубопритирочные), контрольно-обкатные и обкатные станки относят к 7-му типу.

Буква после первой цифры указывает на модификацию станка, а последняя буква шифра характеризует модернизацию базовой модели.

Зубошевинговальные станки делят на две основные группы — с горизонтальным и вертикальным расположением осей режущего инструмента и обрабатываемого колеса.

В группе шевинговальных станков с горизонтальным расположением осей шевера и колеса наибольшее распространение в машиностроении получили станки, у которых шевер расположен над обрабатываемым колесом (например, станок мод. 5702). В этих станках, предназначенных для шевингования зубчатых колес средних модулей и широко используемых в массовом производстве, ведущим элементом является шевер.

Конструкция станков с горизонтальным расположением осей дает возможность устанавливать шевер в небольшой по размерам приводной головке над массивным и тяжелым столом, которому сообщается возвратно-поступательное движение и подача вверх вместе с заго-

Таблица 13

Технические характеристики	Станки горизонтального типа					Станки вертикального типа		
	Модели станков							
	5701	ABC-02B-180	5702B	5Б702В	5Б702ВФ2-ЧПУ	5Б703	5717С4	5717С3
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	125	200	320	320	320	500	800	1250
Наибольший модуль, мм	1,5	4	6	6	10	10	12	12
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	40	30	100	110	125	150	200	200
Наибольший диаметр шевера, мм	85	250	240	240	240	300	300	300
Наибольшая ширина шевера, мм	20	—	40	40	40	40	—	—
Частота вращения ведущего звена, об/мин:								
инструмента	100—630	63—500	63—500	63—500	50—400	—	—	—
изделия	—	—	—	—	—	50—400	39—284	25—292
Наибольшая длина хода стола, мм	50	—	135	135	140	160	—	—
Мощность главного электродвигателя, кВт	0,9	4,0	3,0	3,2	4,5	3	5,5	5,5
Габариты станка (длина × ширина × высота), мм	1450 × 870 × 1695	2800 × 1650 × 2400	1815 × 1500 × 2120	1950 × 1600 × 2130	1900 × 1600 × 2250	2260 × 1265 × 1930	2770 × 2650 × 1900	3080 × 2690 × 2080
Масса станка, т	1,5	6,0	5,3	5,3	5,0	4,0	8,7	9,7

товкой. Такое расположение стола (с закреплением на нем обрабатываемым колесом) позволяет при подаче вверх использовать массу стола и бабок с заготовкой для уменьшения зазоров в винтовой паре вертикальной подачи. Кроме того, устраняется опасность падения зубчатого колеса на шевер, а в процессе шевингования стружка не попадает на шевер и не забивает канавки между режущими зубчиками.

Шевинговальные станки с вертикальным расположением осей шевера и колеса (например, станок мод. 5717) предназначены для шевингования зубчатых колес больших размеров. Их масса и размер требуют, чтобы станки были более жесткими и точными. Вертикальная компоновка шевинговального станка удобнее для загрузки и разгрузки тяжелых заготовок. При такой установке в зажимном приспособлении обрабатываемое колесо не имеет провисания от собственного веса, что способствует повышению точности обработки. Ведущим элементом является обрабатываемое колесо.

Новыми для шевингования зубчатых колес средних модулей являются станки моделей 5Б702ВФ2 и АВС-02В-180. На станке мод. 5Б702ВФ2 с ЧПУ можно производить шевингование четырьмя методами: параллельным, диагональным, тангенциальным и врезным. При небольшом припуске под шевингование возможна работа без холостых ходов путем радиальной подачи до плотного зацепления шевера с заготовкой (работа с адаптивным подводом). Применение системы ЧПУ позволяет программировать оптимальные режимы резания и различные циклы обработки, что значительно сокращает время переналадки станка при работе в условиях мелкосерийного и серийного производства.

Основные технические характеристики зубошевинговальных станков приведены в табл. 13.

Специальный высокопроизводительный шевинговальный автомат мод. АВС-02В-180, разработанный для врезного шевингования на базе станка мод. 5702, производит обработку специальным облегающим шевером; вся поверхность зуба обрабатывается одновременно при радиальной подаче обрабатываемого колеса.

§ 3. Зубошевинговальный станок мод. 5702В

Зубошевинговальный станок мод. 5702В предназначен для чистовой обработки зубьев незакаленных ци-

линдрических зубчатых колес с прямыми и косыми зубьями внешнего зацепления в условиях серийного и массового производства. На базе этого станка созданы автоматы для обработки колес-дисков и колес-валов. Станок может быть встроен в автоматические линии.

На станке можно производить шевингование с продольной, диагональной и тангенциальной подачами.

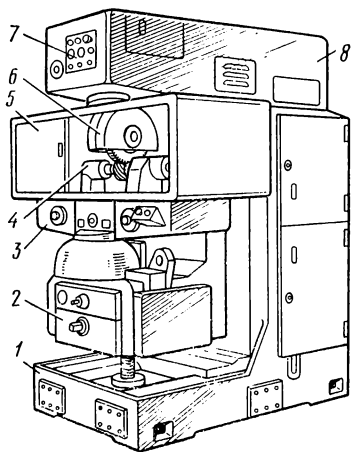


Рис. 72. Зубошевинговальный станок мод. 5702В

При установке на станке специального механизма можно изготовлять зубья бочкообразной и конической формы. Для шевингования зубчатых колес внутреннего зацепления на станок вместо шеверной головки для колес внешнего зацепления устанавливают специальную головку (см. рис. 71, б) для шевингования колес внутреннего зацепления. Правая бабка заменяется специальным устройством для установки и закрепления колеса с внутренними зубьями.

Счетчик числа обработанных деталей позволяет следить за своевременной сменой шевера.

Общий вид станка приведен на рис. 72. Станок имеет жесткую станину 1, отлитую из чугуна и представляющую собой стойку с основанием. Станина воспринимает статические и динамические усилия, возникающие в процессе шевингования. На верхней плоскости станины закреплен корпус 8 с шеверной головкой 6, которая может поворачиваться на угол скрещивания осей. По вертикальным направляющим станины перемещается консоль 2 механизма подач. Стол 3 передвигается по горизонтальным направляющим консоли. В механизме стола имеется поворотная плита для установки угла диагонали. Для зажима заготовки служат правая и левая бабки, установленные на столе станка. Зажим обрабатываемого колеса гидрофицирован. Во время обработки зона резания закрывается щитком 5. Панель 7 управления расположена на корпусе 8 шеверной головки. Обрабатывае-

мое колесо, установленное на столе, получает возвратно-поступательное и радиальное движение от механизма подач, а вращательное — от шевера. Процесс шевингования производится в плотном зацеплении при скрещивающихся осях шевера и обрабатываемого колеса. В конце каждого хода стола последний вместе с механизмом подач перемещается вверх на величину радиальной подачи, а число рабочих ходов стола устанавливается путем соответствующего расположения винтов-упоров на барабане управления, который находится в механизме подач. Число калибрующих ходов стола устанавливают переключателем, расположенным на пульте управления.

Станок имеет повышенную жесткость, надежен в работе, обеспечивает высокую и стабильную точность обработки зубчатых колес.

§ 4. Кинематическая схема станка мод. 5702В и его настройка

Кинематическая схема шевинговального станка мод. 5702В состоит из трех независимых кинематических цепей — вращения шевера, продольной и радиальной подачи стола (рис. 73).

Кинематическая цепь вращения шевера. Шевер I получает вращение от электродвигателя $M1$ ($N=3$ кВт, $n=1365$ об/мин), установленного в корпусе шеверной головки, через упругую муфту, червячную передачу ($3/28$), сменные цилиндрические зубчатые колеса гитары скорости (A/B), конические зубчатые колеса ($28/30 \cdot 30/28$) и цилиндрические зубчатые колеса ($45/36$).

Уравнение кинематической цепи вращения шевера:

$$1365 \cdot 3/28 \cdot A/B \cdot 28/30 \cdot 30/28 \cdot 45/36 = n_{ш}$$

Частоту вращения шевера определяют по формуле

$$n_{ш} = 183 \cdot A/B,$$

где $n_{ш}$ — частота вращения шевера, об/мин; A и B — число зубьев сменных зубчатых колес гитары скорости (табл. 14).

Кинематическая цепь продольной (минутной) подачи стола. Продольная подача столу передается от электродвигателя $M2$ ($N=0,6$ кВт, $n=1320$ об/мин) через упругую муфту, червячную передачу ($1/30$), сменные цилиндрические зубчатые колеса гитары подачи (D/C), кониче-

Кинематическая цепь радиальной подачи стола. Радиальная подача стола в вертикальном направлении осуществляется от гидроцилиндра Π_1 через рейку Π_1 (наре-

Таблица 14

Частота вращения шевера, об/мин	Числа зубьев сменных колес		Частота вращения шевера, об/мин	Числа зубьев сменных колес	
	ведущее А	ведомое В		ведущее А	ведомое В
63	22	62	200	45	39
80	26	58	250	49	35
100	30	54	315	54	30
125	35	59	400	58	26
160	39	45	500	62	22

занную на штоке поршня), находящуюся в зацеплении с колесом $z=18$ и цилиндрические зубчатые колеса (80/40). На одном валу с колесом $z=40$ установлен кулак K радиальной подачи и барабан B . Угол поворота

Таблица 15

Минутная подача стола, мм/мин	Числа зубьев сменных колес		Минутная подача стола, мм/мин	Числа зубьев сменных колес	
	ведущее D	ведомое C		ведущее D	ведомое C
18	21	75	90	56	40
22,4	25	71	118	61	35
28	30	66	150	66	30
35,5	35	61	190	71	25
45	40	56	236	75	21
56	45	51	300	78	18
71	51	45			

кулака K ограничивается винтами-упорами, расположенными на цилиндрической поверхности барабана B и опирающимися на собачку, перебрасываемую гидроцилиндром Π_2 . Кулак K имеет ступеньки по торцу (с шагом

1,45 мм). При повороте кулака на минимальный угол 12° шток поршня гидроцилиндра Π_3 , контактирующий с кулаком, переместится на 1,45 мм и через рейку Π_2 (нарезанную на штоке поршня), зубчатое колесо $z=21$ и конические зубчатые колеса (17/32) повернет винт B радиальной подачи (шаг $P_2=6$ мм); последним посредством гайки Γ переместит вверх консоль вместе со столом и обрабатываемым колесом.

Величину радиальной подачи стола определяют по формуле:

$$s_p = 1,45 / (\pi \cdot 3,5) \cdot H / 21 \cdot 17 / 32 \cdot 6 = 0,02H,$$

где s_p — радиальная подача стола, мм/ход, $H=1 \div 3$ — число интервалов между соседними упорами барабана.

Для настройки межосевого расстояния между шевером и обрабатываемым колесом консоль можно перемещать вручную при разомкнутой муфте M : вращая за квадрат T , посредством цилиндрических зубчатых колес (20/80) и конических зубчатых колес (17/32) приводят во вращение винт B радиальной подачи.

Реверсирование вращения шевера и продольной подачи стола осуществляется электродвигателями, которые получают команду от конечных выключателей $2BK$ и $4BK$. Если конечные выключатели $2BK$ и $4BK$ не срабатывают, то станок останавливается аварийным выключателем $3BK$.

Наладку станка на шевингование бочкообразной формы зуба осуществляют поворотом (с помощью квадрата T_1) копира K_1 на определенный угол, а получение конусной формы зуба достигается наклоном стола с обрабатываемым колесом при помощи винтовой пары $B_1-\Gamma_1$.

Подвод и отвод пиноли правой бабки производятся гидроцилиндром Π_5 , а зажим и отжим заготовки — гидроцилиндром Π_4 .

§ 5. Наладка станка мод. 5702В

В значительной степени качество изготовления зубчатого колеса зависит от качества наладки зубошевинговального станка, которая должна производиться квалифицированным, специально обученным рабочим-оператором.

Во время работы на зубошевинговальном станке оператор должен систематически контролировать размер зубьев, погрешность профиля и шага, направление зуба,

радиальное биение и шероховатость обработанной поверхности; следить за состоянием шевера, режущих зубчиков и отсутствием стружки в канавках между зубчиками, количеством и качеством СОЖ; выполнять другие необходимые работы. Кроме того, на участке изготовления зубчатых колес должен быть хорошо организован контроль основных параметров зубчатых колес перед операцией шевингования. Приборы для контроля зубчатых колес следует устанавливать рядом со станками, обеспечив при этом нормальные условия работы этих приборов (отсутствие грязи, стружки, вибраций и т. д.).

Недостаточный контроль предшествующих операций, неквалифицированная наладка шевинговального станка, некачественное техническое обслуживание оборудования снижают точность окончательной обработки зубчатого колеса, вызывают чрезмерную нагрузку на шевер, в результате чего шевер быстро изнашивается, получает повреждения и теряет точность.

Установка зажимного приспособления. Перед установкой зажимного приспособления на стол шевинговального станка необходимо проверить параллельность боковых сторон среднего паза 4 с помощью линейки 1 и индикатора 2 и верхней рабочей поверхности стола с помощью линейки 1 и индикатора 3 (рис. 74, а). Индикаторы укрепляют на неподвижной части станка, а его измерительный наконечник должен касаться контрольной поверхности линеек. Стол перемещают на длину хода. Отклонение определяют как разность измерений в начале и в конце перемещения стола (допуск не более 0,005 мм).

Размеры установочных поверхностей зажимного приспособления или оправки выдерживают в пределах 0,005 мм. Радиальное биение установочной поверхности и торцовое биение опорной поверхности зажимного приспособления должны находиться в пределах 0,005—0,01 мм. Если зубчатое колесо обрабатывается в центрах, то биение оправки 5 у левого и правого центров не должно превышать 0,005 мм (рис. 74, б), а непараллельность линии центров по отношению к направляющим стола на длине 100 мм должна быть не более 0,003 мм (рис. 74, в). Осевой зазор в подшипниках центров не должен превышать 0,003 мм. Биение центров можно проверить как по оправке 5, так и непосредственно по конусной поверхности центров.

Установка обрабатываемого колеса. Зубчатое колесо необходимо шевинговать, используя те же базы, что при-

меняются при зубофрезеровании или зубодолблении, чтобы обеспечить достаточную жесткость и точность обработки. Опорный торец должен располагаться вблизи зубьев, иметь достаточную по площади и хорошо обра-

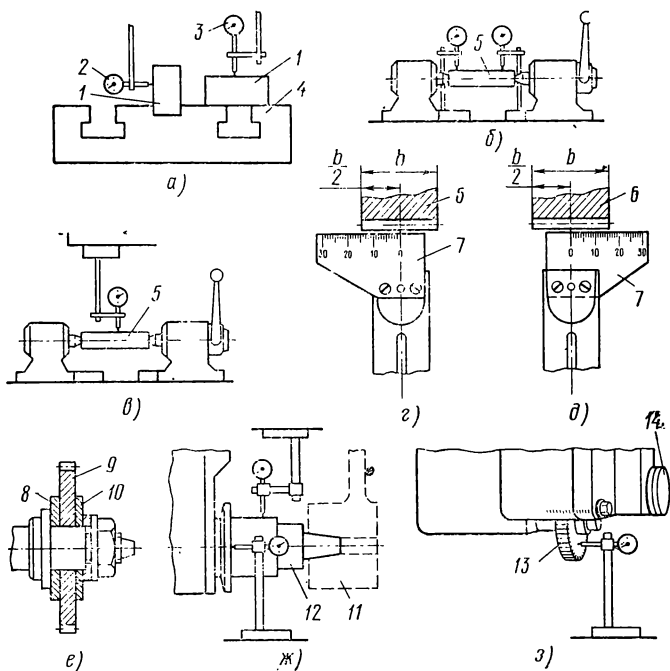


Рис. 74. Контроль параллельности рабочих поверхностей стола (а), биения центров бабок (б), параллельности центров направляющих стола (в), установки середины зубчатого венца относительно оси качания стола (г и д), осевой установки шевера (е), радиального и торцевого биения шпинделя шевера (ж), биения торца шевера (з)

ботанную поверхность. Базовые поверхности заготовки (отверстие, торцы; шейки) должны быть чистыми, не иметь забоин и заусенцев. Большие заусенцы, оставленные на заготовке после зубофрезерования, могут вызвать неточную установку зубчатого колеса в приспособлении, внедриться в стружечные канавки шевера и вызвать его поломку; кроме того, заусенцы опасны для оператора. Поэтому все заусенцы, полученные при зубофрезеровании, должны быть полностью удалены перед шевингованием.

При шевинговании колес-дисков в качестве базовых поверхностей обычно выбирают посадочное отверстие и опорные торцы зубчатого венца. Отверстие, по которому устанавливают зубчатое колесо в приспособление, должно быть точным и выполнено с жесткими допусками. Посадка колеса в приспособлении должна быть скользящей; большой зазор вызывает повышенное радиальное биение и ошибки шага. Базовые торцы зубчатого колеса должны быть перпендикулярны оси колеса и параллельны между собой.

Повышенное биение торцов вызывает погрешности направления зуба. Колеса со шлицевым отверстием обычно базируют по тем же поверхностям, которые используют при сборке, т. е. по наружному или внутреннему диаметру или по боковым поверхностям шлицев. Более высокую точность обработки обеспечивает беззазорное центрирование заготовки на разжимных оправках.

• Колеса-валы при шевинговании, как правило, базируют по центровым отверстиям. При шевинговании длинных валов рекомендуется устанавливать дополнительные опоры (люнеты) в целях уменьшения прогиба вала и повышения точности обработки.

Середина зубчатого венца обрабатываемого колеса b должна находиться точно по оси качания стола (что особенно важно при шевинговании зубьев бочкообразной формы); для выполнения этой наладки используют центрирующий калибр 7 (см. рис. 74, z и d). Левую и правую бабки с зажатым обрабатываемым колесом перемещают так, чтобы нулевая отметка шкалы калибра 7 показывала половину ширины b зубчатого венца с одного торца зубчатого венца. Затем калибр 7 поворачивают на 180° , и в этом положении нулевая отметка также должна показать половину ширины зубчатого венца, но с противоположного торца. После этого бабки закрепляют и снимают центрирующий калибр.

Установка шевера. При установке шевера на шпиндель станка необходимо, чтобы плоскость, проведенная через ось поворота шпиндельной головки и проходящая через ось качания стола, совпадала с серединой ширины шевера 9 (см. рис. 74, e). Эта установка производится с помощью колец 8 и 10 различной толщины.

Шевер должен храниться и транспортироваться в специальной таре, например в деревянных или пластмассовых ящиках. При наладке станка его нужно положить горизонтально на деревянную, пластмассовую или другую

поверхность. С шевером следует обращаться аккуратно и не ударять его о твердые предметы, поскольку даже легкие удары могут привести к образованию забоин и повреждению зубьев шевера. Перед установкой шевера необходимо тщательно очистить шпindel и промежуточные кольца, после чего проверить биение шпинделя. Радиальное биение посадочного диаметра и опорного

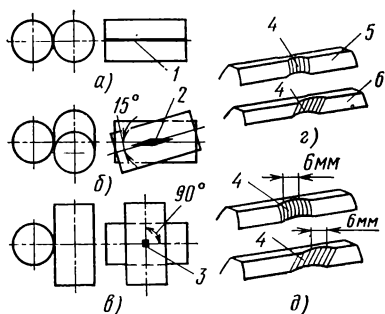


Рис. 75. Изменение поверхности контакта при изменении угла скрещивания осей:

а — оси параллельны (угол скрещивания 0°), б — угол скрещивания 15° , в — угол скрещивания 90° , г — шевингование без перемещения стола, д — шевингование с перемещением стола

торца шпинделя 12 с контрподдержкой 11 (и без нее) (см. рис. 74, ж) не должно превышать 0,005 мм, а осевой зазор шпинделя без контрподдержки — 0,01 мм.

Перед установкой на станок шевер необходимо размагнитить. Если шевер был в работе, то следует проверить, нет ли застрявшей стружки или других частиц в канавках между режущими зубчиками и поломанных зубчиков. Стружку из канавок следует удалить, острые кромки и уголки на сломанных режущих зубчи-

ках затупить мелкозернистым абразивным бруском. Шевер устанавливают на шпindel по скользящей посадке. Устанавливать шевер на шпindel с помощью удара категорически запрещается.

После установки и закрепления шевера 13 (см. рис. 74, з) на шпинделе станка необходимо проверить точность его установки по торцу на максимальном радиусе: биение торца шевера диаметром 300 мм не должно превышать 0,02 мм, диаметром 240 мм — 0,015 мм и диаметром 180 мм — 0,01 мм. Если точность установки шевера на шпindel станка соответствует техническим условиям, то устанавливают и закрепляют кронштейн 14, протирают торец шевера и производят повторную проверку торца.

Перед началом работы шевер необходимо некоторое время вращать на холостом ходу и хорошо смазать смазочно-охлаждающей жидкостью в целях предот-

вращения возможного задира шевера при его контактировании с обрабатываемым колесом.

Установка угла скрещивания осей шевера и колеса. Изменение поверхности контакта при изменении угла скрещивания осей показано на рис. 75. При совмещении под давлением двух цилиндров (одинакового диаметра и длины), оси которых параллельны, поверхность 1 контакта представляет собой прямоугольник (рис. 75, а). Если один из цилиндров поворачивать относительно другого, то по мере увеличения угла скрещивания осей кон-

Т а б л и ц а 16

Направление угла $\beta_{ш}$ наклона зуба шевера	Направление угла β наклона зуба колеса	Угол γ скрещивания осей
Левое	Правое	$\beta - \beta_{ш}$
Правое	Левое	$\beta - \beta_{ш}$
Правое	Правое	$\beta + \beta_{ш}$
Левое	Левое	$\beta + \beta_{ш}$

тактная поверхность будет уменьшаться: при угле скрещивания 15° контактная поверхность 2 превратится в параллелограмм (рис. 75, б), а при угле 90° — в поверхность 3, представляющую собой точку (рис. 75, в). То же самое происходит, если вместо двух цилиндров сопрягаются боковые поверхности зубьев шевера и обрабатываемого колеса. Скрещивание осей под углом 10 – 15° создает однородное скольжение, начиная с вершины зуба до его основания; площадь контакта при этих углах уменьшается и для снятия стружки требуется незначительное усилие.

При дальнейшем увеличении угла скрещивания контактирующая поверхность между зубьями колеса и шевера продолжает уменьшаться, а условия резания становятся еще более благоприятными. Однако при этом направляющее воздействие зуба шевера на зуб колеса уменьшается, в результате чего возникает погрешность профиля и снижение точности зубьев. Чем больше угол скрещивания осей, тем меньше площадь контакта и тем больше съем стружки.

При малых углах скрещивания контактная поверхность между зубьями колеса и шевера увеличивается и

направляющее воздействие улучшается, однако условия резания ухудшаются.

Угол скрещивания γ осей определяют как сумму углов наклона линии зуба шевера ($\beta_{ш}$) и зуба колеса (β) при одинаковом направлении линии зубьев и как разность — при разноименном направлении (табл. 16). Когда шевингуют прямозубые колеса, то угол скрещивания равен углу наклона линии зуба шевера. При обработке обычных сталей $\gamma = 10 \div 15^\circ$; внутренних венцов и блок-колес $\gamma = 3 \div 10^\circ$; чугуна, цветных металлов и синтетических материалов $\gamma = 20^\circ$.

При шевинговании новой детали после установки расчетного угла γ шевингуют первую деталь без возвратно-поступательного движения стола (рис. 75, з) и визуально проверяют следы 4 и характер расположения линии резов на зубьях 5 (прямозубого) и 6 (косозубого) колеса. Следы 4 режущих зубчиков должны быть одинаково заметны на всей длине боковой поверхности зуба колеса. Если следы 4 не одинаковы, то соответственно исправляют угол γ скрещивания осей до получения одинаковых отпечатков всех режущих зубчиков. Зубья колеса, показанные на рис. 75, д, шевинговались при возвратно-поступательном перемещении стола (на величину 6 мм); видно, что длина резания увеличилась, а характер резов сохранился прежним (см. рис. 75, з).

После шевингования всего зубчатого колеса производят измерение направления линии зуба на приборе или проверяют пятно контакта с измерительным колесом на контрольно-обкатном станке. По результатам измерения производят подналадку станка, если она необходима. На новой наладке станка нарезают второе зубчатое колесо с последующим измерением. Наладка станка продолжается до получения требуемых параметров обрабатываемого колеса. Грубую регулировку угла скрещивания производят поворотом шпиндельной головки по лимбу с помощью лупы, а точную — индикатором.

Выбор длины хода стола. Длина хода стола должна быть ограничена в обоих направлениях для того, чтобы шевер во время шевингования всегда находился в зацеплении с обрабатываемым колесом. Длину хода стола выбирают таким образом, чтобы точка скрещивания осей немного выходила за торец зубчатого венца обрабатываемого колеса для обеспечения его полной обработки. При всех методах шевингования не рекомендуется выбирать общий ход стола меньше 6 мм, иначе могут остаться

отпечатки режущих кромок зубчиков на профилях зубьев колеса.

При параллельном шевинговании длина хода стола обычно равна сумме ширины зубчатого венца и модуля. При диагональном или тангенциальном шевинговании длину хода стола определяют расчетным путем и к расчетной длине прибавляют модуль. Не рекомендуется применять длину хода стола, меньшую расчетной величины.

Выбор направления вращения шевера и направления подачи стола. По аналогии с зубофрезерованием шевингование можно производить встречным и попутным методами. Выбор метода определяется направлением вращения шевера и направлением перемещения стола с обрабатываемым колесом. На рис. 76, а показана схема встречного шевингования, при котором резание осуществляется от обработанной поверхности к необработанной. Режущий зубчик 3, внедряясь в металл, образует канавку 4 на профиле зуба колеса. При следующем резе заготовка переместится влево и зубчик 5 войдет в обработанную канавку и срежет металл в точке 6. Последующее резание будет производиться в направлении необработанной поверхности (рис. 76, в).

Если изменить направление движения стола, то обработка будет производиться методом попутного шевингования (рис. 76, б): Вначале зубчик 7 образует канавку 8, а при каждом следующем резе режущий зубчик 9 сначала внедряется в металл на участке 10, а затем этот

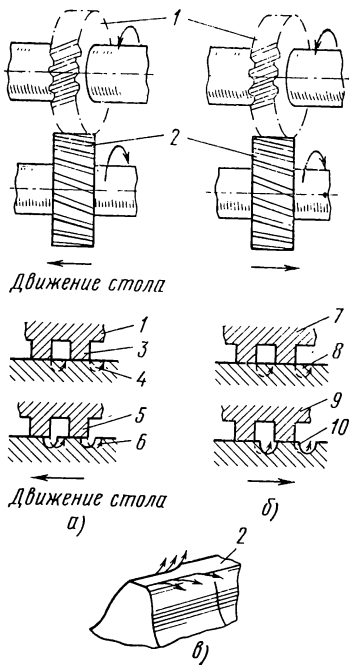


Рис. 76. Шевингование зубьев:
а — с встречной подачей, б — с попутной подачей, в — направление резов при встречном шевинговании

участок срезается в направлении обработанной поверхности.

В случае одинакового давления между шевером 1 и обрабатываемым колесом 2 при встречном шевинговании (по сравнению с попутным) обрабатываемость улучшается, а усилия резания уменьшаются.

Поэтому при наладке шевинговального станка направление вращения шевера и подачи стола следует устанавливать таким образом, чтобы режущие зубчики срезали стружку в направлении необработанной поверхности, что будет соответствовать встречному шевингованию.

§ 6. Режимы резания

При шевинговании определяют три основных параметра режима резания: окружную скорость шевера, продольную и радиальную подачи стола. Дополнительно определяют число продольных ходов стола и величину припуска под шевингование.

Окружная скорость шевера на практике принимается $v_0 = 90 \div 130$ м/мин и уточняется с учетом времени обработки и стойкости инструмента. Частота вращения шевера $n_{ш} = 1000v_0 / (z_0 m_0 \pi)$, где z_0 — число зубьев шевера; m_0 — модуль шевера.

Частота вращения обрабатываемого колеса $n = n_{ш}(z_0/z)$, где z — число зубьев обрабатываемого колеса.

С увеличением окружной скорости стойкость шевера снижается.

Продольная подача (на оборот колеса), применяемая обычно при параллельном и диагональном шевинговании, $s_{пр} = 0,15 \div 0,50$ мм/об. Хорошие результаты обеспечиваются при $s_{пр} = 0,25$ мм/об. Минутная подача $s_m = s_{пр}n = 0,25 \cdot n_{ш}(z_0/z)$. На практике принимают $s_m = 75 \div 125$ мм/мин.

Когда шевингование производят с двумя продольными подачами стола (черновой и чистовой), то черновая подача вдвое больше чистовой. Например, при обработке зубчатого колеса ($z = 28$, $m_n = 4,5$ мм, $b = 31$ мм, $\beta = 19^\circ 31'$) назначают следующий режим резания: диаметр шевера 243 мм; $v_0 = 100$ м/мин; $s_m = 100$ мм/мин (черновая) и 50 мм/мин (чистовая); четыре рабочих хода и два калибрующих; $t_0 = 1,54$ мин.

С увеличением продольной подачи стола увеличивает-ся производительность станка, но ухудшается качество обрабатываемой поверхности и точность обработки.

Если диаметр обрабатываемого колеса значительно меньше диаметра шевра, то частота вращения колеса становится значительной. В этом случае необходимо уменьшить частоту вращения шевра. Например, при $z_0/z > 6$ частоту вращения шевра уменьшают на 30—40%. Частоту вращения шевра также уменьшают при недостаточной жесткости обрабатываемого колеса. Если же диаметр шевра меньше диаметра обрабатываемого колеса, то частоту вращения шевра увеличивают. В ряде случаев для сохранения производительности станка при уменьшении частоты вращения шевра продольную подачу стола увеличивают, а при увеличении — уменьшают.

С помощью радиальной подачи обрабатываемое колесо перемещается вертикально в направлении шевра за каждый ход стола. При параллельном и диагональном шевинговании радиальная подача осуществляется ступенчато во время реверсирования продольной подачи стола. Радиальная подача $s_p = 0,10 \div 0,02$ мм. Максимальную подачу применяют в начале резания (при черновой обработке), а затем она постепенно уменьшается до наименьшего значения (при чистовой обработке). Последние два — четыре хода стола выполняют без радиальной подачи для уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности и повышения точности обработки. Радиальная подача на каждый ход стола заранее выбирается и устанавливается с помощью барабанного устройства путем установки по периферии барабана винтов-упоров; интервалы между винтами-упорами соответствуют радиальным подачам на каждый ход стола.

Пример настройки радиальной подачи. У зубчатого колеса с модулем 4 мм при зубофрезеровании с осевой подачей 4 мм/об припуск на сторону зуба составляет $\Delta s = 0,045$ мм, а припуск на толщину зуба — 0,09 мм.

Общая радиальная подача для обработки указанного зубчатого колеса (с углом профиля $\alpha = 20^\circ$) определяется по формуле $s_p = \Delta s / \operatorname{tg} \alpha = 0,045 / 0,364 \approx 0,12$ мм. Чтобы сократить число ходов стола, первые ходы будут осуществляться с большой радиальной подачей, а последние — с маленькой. Для полной обработки принимаем шесть ходов, из них четыре рабочих и два калибрующих (без радиальной подачи).

Разбивку припуска произведем следующим образом: 1-й ход — 0; 2-й — 0,06 мм; 3-й — 0,04 мм; 4-й — 0,02 мм; 5-й и 6-й ходы — 0.

Винты-упоры устанавливаем по периферии барабана против цифр 0 и 0,1 (в первом ряду) и 0,06 и 0,12 (во втором ряду); винт-упор на торце барабана устанавливают против цифры 0,12; число калибрующих ходов (без радиальной подачи) устанавливают пакетным переключателем на пульте управления.

Припуск под шевингование должен быть таким, чтобы обеспечить удаление погрешностей в зубчатом зацеплении, которые имели место после зубофрезерования или зубодолбления. Чрезмерно большой припуск увеличивает время обработки, вызывает погрешности профиля и снижает срок службы шевера, а при чрезмерно малом припуске могут остаться необработанные участки. Рекомендуемые припуски на толщину зуба (под шевингование) в зависимости от модуля зубчатого колеса приведены ниже.

Модуль, мм	.менее 2,25	2,25—3,5	3,5—5	5—10
Припуск, мм	.0,04—0,06	0,05—0,08	0,06—0,09	0,08—0,1

Число продольных ходов стола зависит от величины снимаемого припуска. Практически суммарное число ходов стола составляет 6—10 (из них 2—4 калибрующих). Слишком большое число ходов при малой радиальной подаче ухудшает условия резания и снижает стойкость инструмента.

В настоящее время осевые подачи s при зубофрезеровании значительно увеличились, в результате чего на профиле зубьев обрабатываемого колеса четко видны следы резов, полученные при нарезании зубьев червячной фрезой радиуса R (рис. 77, а). По мере увеличения осевой подачи увеличивается длина s и глубина f следа реза (рис. 77, б), при этом $f = R - \sqrt{R^2 - s^2/4}$. При уменьшении R глубина f следа увеличивается, а при увеличении — уменьшается.

Так как припуск измеряется по самым высоким точкам поверхности, то большая осевая подача требует увеличения припуска под шевингование. В зависимости от модуля и осевой подачи при зубофрезеровании по диаграмме (рис. 77, в) можно определить величину припуска h' под шевингование. Длинные и глубокие следы резов от подачи фрезы способствуют повышению производительности и увеличению периода стойкости шевера. Большие следы от подачи s глубиной f легко снимаются при повышенной радиальной и продольной подачах в начале резания, что позволяет сократить число ходов стола во время обработки. Оставшийся припуск на

глубине f' снимается при меньших радиальной и продольной подачах.

Очень эффективно нарезать зубья под шевингование двухпроходным методом, при котором второй рабочий ход выполняется с большой осевой подачей (образуются длинные и глубокие следы резов на профиле зубьев колеса и высокая точность по направлению зуба), что позволяет вести шевингование на повышенных режимах резания с меньшим числом ходов стола.

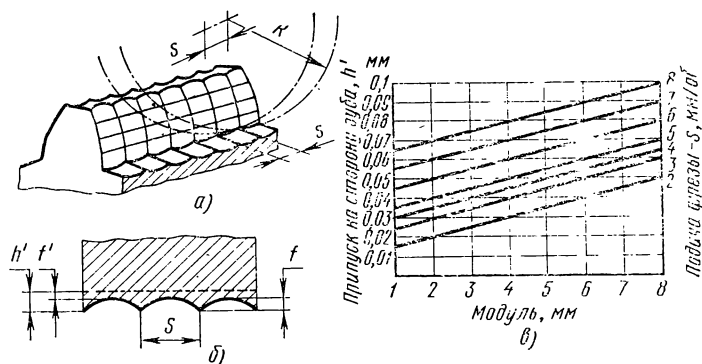


Рис. 77. Припуск под шевингование:

a — нарезание зубьев колеса червячной фрезой радиусом R , *б* — следы резов и толщина припуска h' на зубе колеса, v — зависимость между подачей s фрезы и припуском h' под шевингование

Время обработки при зубошевинговании. Штучное время, затрачиваемое на обработку одной детали, $t_{шт} = t_o + t_v + t_{об} + t_{от}$, где t_o — основное (технологическое) время, подсчитывается по формулам; t_v — вспомогательное время; $t_{об}$ — время обслуживания рабочего места; $t_{от}$ — время перерывов на отдых и естественные потребности. Последние три составляющие штучного времени определяют по нормативам.

Основным (технологическим) называют время, в течение которого происходит изменение формы обрабатываемой детали снятием стружки.

Вспомогательным называют время, затрачиваемое на установку и снятие детали, подвод и отвод режущего инструмента, измерение детали и т. д.

Время обслуживания рабочего места включает в себя смазку и очистку станка, удаление стружки со станка и т. д.

Основное время при шевинговании определяют по формуле: $t_0 = L/s_m(h/s_p + u_k) = (L \cdot u)/s_m$, где L — длина хода стола, мм; u — суммарное число ходов стола; u_k — калибрующие ходы стола; s_p — радиальная подача стола; s_m — минутная подача стола; h — припуск под шевингование в радиальном направлении.

Длина хода стола при параллельном шевинговании: $L = b + m$, где b — ширина зубчатого венца; m — модуль обрабатываемого колеса;

при диагональном шевинговании: $L = b \cdot \sin \gamma / \sin (\varepsilon + \gamma) + m$;

при тангенциальном шевинговании: $L = b \cdot \operatorname{tg} \gamma$.

Минутную подачу определяют по формуле $s_m = 0,25 \times \times n_{ш} (z_0/z)$, а затем уточняют по паспортным данным станка (см. табл. 15).

Частота вращения шевера $n_{ш} = 1000 v_0 / \pi d$ должна соответствовать паспортным данным станка (см. табл. 14).

Припуск в радиальном направлении под шевингование определяют по формуле $h = \Delta s / \operatorname{tg} \alpha$, где Δs — припуск на сторону зуба колеса.

Число рабочих ходов стола определяют по формуле $u_p = h/s_p$.

Число калибрующих ходов стола выбирают опытным путем, а суммарное число ходов стола должно быть четным.

§ 7. Зажимные приспособления

Основное назначение зажимного приспособления — надежно и точно удерживать зубчатое колесо в процессе резания. Приспособление должно иметь достаточную жесткость во избежание вибраций и деформаций при зажиме, а также обеспечить точное и стабильное закрепление заготовки в приспособлении. Опорную поверхность приспособления следует располагать как можно ближе к зубьям обрабатываемого колеса. Необходимо предусмотреть удобную и быструю установку и зажим заготовки в приспособлении (без перекосов). В массовом и крупносерийном производстве следует применять механизированный и автоматизированный зажим заготовки.

Установочные поверхности (отверстия, шейки и опорные торцы) зажимного приспособления должны быть точными по размерам и концентрично расположенными относительно оси вращения центров пиноли или шпинделя станка.

При проектировании зажимного приспособления следует обращать внимание на то, чтобы обеспечить минимальное (не более 0,01 мм, а для прецизионных колес не более 0,005 мм) радиальное биение зубчатого колеса, которое возникает в результате зазора между заготовкой и зажимным приспособлением.

Таблица 17

Номинальный диаметр, мм	Допуск на диаметр отверстия заготовки, мкм			Допуск на диаметр оправки, мкм	Наибольшее значение радиального биения F_{Tr} , мкм, в системе посадок отверстие — оправка		
	H6	H7	H8		h5	H6/h5	H7/h5
Свыше 6 до 10	0—+9	0—+15	0—+22	0—(-6)	15	21	28
10 18	0—+11	0—+18	0—+27	0—(-8)	19	26	35
18 » 30	0—+13	0—+21	0—+33	0—(-9)	22	30	42
30 50	0—+16	0—+25	0—+39	0—(-11)	27	36	50
50 » 80	0—+19	0—+30	0—+46	0—(-13)	32	43	59
80 » 120	0—+22	0—+35	0—+54	0—(-15)	37	50	69

В табл. 17 приведены допуски и посадки (по СТ СЭВ 144—75), используя которые можно достигнуть требуемого радиального биения зубчатого венца.

Повышенное биение опорных торцов зажимного приспособления или заготовки способствует увеличению радиального биения зубчатого венца. Чтобы уменьшить его, необходимо ужесточить допуски на отверстие заготовки и оправки приспособления или применять зажимные приспособления с беззазорным центрированием (многокулачковые, цанговые, приспособления с гидропластовым зажимом и др.).

Базирование зубчатых колес при шевинговании показано на рис. 78. Зубчатое колесо-диск 1 (рис. 78, а), имеющее удобную форму для базирования и зажима, центрируется по отверстию с опорой на торцы T и T_1 , располо-

женные вблизи зубчатого венца; оба торца необходимо обрабатывать за один установ заготовки, с тем чтобы они имели минимальное биение относительно оси и были параллельны.

Зубчатое колесо-диск 2 (рис. 78, б) с длинным посадочным отверстием следует центрировать не по всей длине отверстия, а на шейке 4 (небольшой длины) ступенчатой оправки.

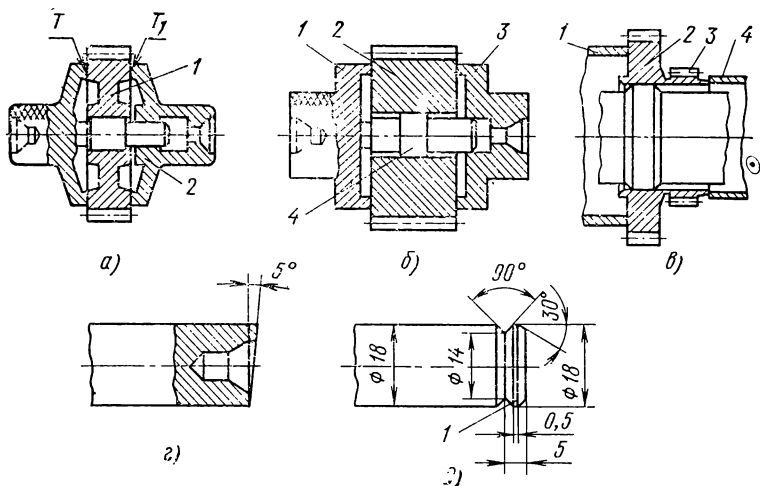


Рис. 78. Базирование зубчатых колес при шевинговании (а, б и в), форма заходной части оправки (г и д)

чатой оправки. Зажим следует производить по торцам фланцев 1 и 3 вблизи зубчатого венца. Шейку 4 оправки располагают по центру зубчатого венца.

На рис. 78, в показана схема базирования колеса-блока (с длинным отверстием) на ступенчатой оправке, применяемая на шевинговальном автомате. Шевингуемый большой зубчатый венец 2 упирается в торец 1 зажимного приспособления, обрабатываемый за один установ с отверстием приспособления. Зажим обрабатываемого колеса осуществляется качающейся опорой 4.

Чтобы быстро и легко установить вручную обрабатываемое зубчатое колесо на оправку, последняя выполняется с заходным участком различной формы (рис. 78, г и д).

Наиболее рационально при шевинговании базировать зубчатые колеса на собственных центровых отверстиях, а

если это невозможно, то применять закаленные и шлифованные оправки, имеющие большие центровые отверстия с предохранительными выточками. На рис. 79 показаны типовые зажимные приспособления, применяемые при шевинговании.

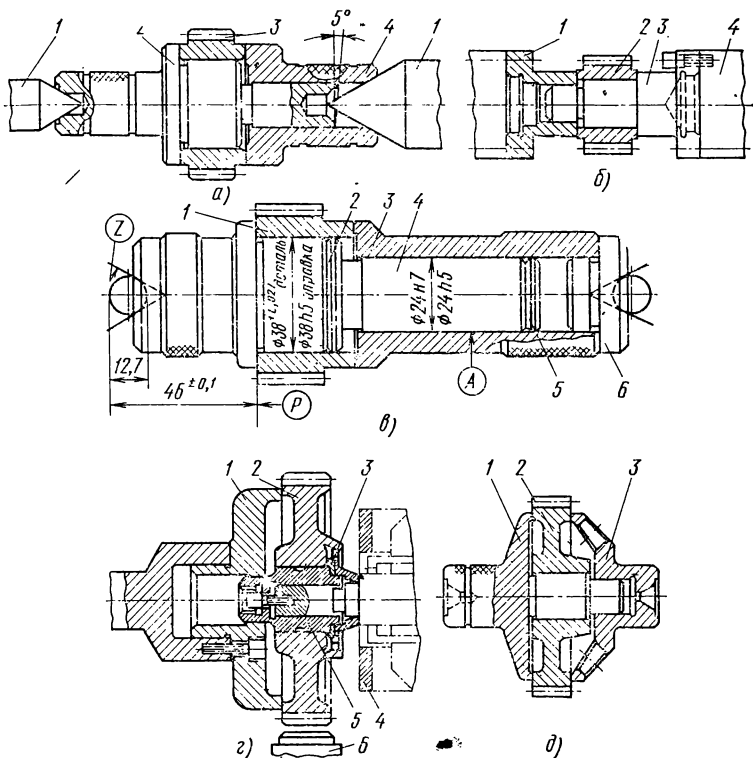


Рис. 79. Типовые зажимные приспособления, применяемые при шевинговании

Простое и удобное в работе приспособление (рис. 79, а), состоящее из двух деталей, предназначено для ручной установки зубчатого колеса 3 на оправку 2. Зажим осуществляется (через подвижную втулку 4) между центрами 1 шевинговального станка. Чтобы облегчить установку втулки 4 на оправку 2, торец оправки срезан под углом 5°. Чтобы сократить вспомогательное время на 50%, рекомендуется иметь две одинаковые оправки.

Приспособление (рис. 79, б) может использоваться на шевинговальных станках с автоматической загрузкой — выгрузкой деталей. Оправка 3, на которой устанавливается обрабатываемое колесо 2, прикреплена к пиноли правой бабки, осуществляющей возвратно-поступательное движение. Левый конец оправки в процессе обработки входит в отверстие фланца 1, чем обеспечивается надежная и точная установка заготовки.

Приспособление (рис. 79, в) предназначено для ручной установки зубчатого колеса. Быстрая и удобная установка колеса 1 и зажимной втулки 3 в оправку 4 обеспечивается наличием двух заходных участков 2 и 5. Во втулку 3 запрессована пробка 6 с большим центровым отверстием, в которое входит центр правой бабки станка.

Приспособление, широко применяемое в массовом производстве, представлено на рис. 79, г. Оператор кладет зубчатое колесо 2 на подставку 6, вводит его зубья в зацепление с зубьями шевера и ориентирует относительно центрирующего пальца 5. Поворотом рукоятки гидроцилиндра палец 5 правой бабки перемещается влево и сферическое кольцо 3 прижимает торец зубчатого венца колеса к торцу фланца 1 и закрепляет деталь. По окончании цикла шевингования палец 5 отходит в исходное положение, а обработанное колесо задерживается кольцом 4 и опускается на подставку 6. Время загрузки и разгрузки при полуавтоматическом цикле работы станка составляет 10 с, что в 2—3 раза меньше, чем при ручной загрузке.

Приспособление для зажима колес-дисков среднего размера показано на рис. 79, д. Колесо 2 вручную устанавливают в приспособление (по отверстию и торцам зубчатого венца) между фланцами 1 и 3. Затем приспособление вместе с колесом 2 устанавливают в центры бабок шевинговального станка и зажимают.

§ 8. Причины брака и способы его устранения при шевинговании

Выявление причин образования бракованных деталей при шевинговании — сложная задача, для решения которой необходимы опыт и знания. Трудность состоит в том, что на один и тот же параметр зубчатого зацепления (например, на погрешность эвольвентного профиля) могут оказывать влияние неточности станка, инструмента, заготовки и зажимного приспособления.

Низкое качество подшипников или повышенное биение центров правой и левой бабок вызывают погрешности профиля, шага, направления зуба и радиального биения. Осевое, торцовое и радиальное биение шпинделя инструмента вызывает биение шевера. Неточная установка шевера на шпиндель станка приводит к погрешностям профиля, направления зуба и радиального биения. Наличие зазора в горизонтальных направляющих стола вызывает погрешности шага и конусность зуба. Зазор в вертикальных направляющих кронштейна стола вызывает погрешности направления зуба, шага и профиля.









Оптимальная точность зубчатых колес среднего модуля перед шевингованием должна находиться в следующих пределах: наибольшая погрешность профиля $\pm 0,025$ мм, шага от зуба к зубу $\pm 0,025$ мм, направления зуба (на длине 25 мм) $\pm 0,025$ мм, радиального биения 0,07 мм. Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса не должно превышать 0,07 мм, а на одном зубе — 0,03 мм. Указанные параметры, а также размер зубьев в процессе зубофрезерования следует контролировать в начале рабочей смены; после смены инструмента; после подналадки станка и через каждые 1—1,5 ч работы станка. Поэлементный контроль производят реже.




Смазочно-охлаждающая жидкость низкой вязкости, содержание в ней мелких металлических частиц являются причиной появления царапин на поверхности зубьев колеса и снижения стойкости шевера.

Одним из наиболее понятных и простых критериев определения качества зацепления цилиндрической зубчатой передачи является форма и расположение пятна контакта. Этот критерий позволяет визуально оценить состояние поверхности зубьев.

Пятно контакта после шевингования проверяют, обкатывая контролируемое колесо в паре с измерительным (эталонным) колесом. Обкатка производится на контрольно-обкатных станках, установленных в специально оборудованных комнатах, где полностью отсутствует шум. Для выявления пятна контакта зубья покрывают тонким и ровным слоем смеси сурика с машинным маслом.

Характерные формы пятна контакта и способы их исправления приведены в табл. 18.

Форма и расположение пятна контакта	Основные способы исправления пятна контакта
 <p data-bbox="315 247 626 315">Контакт в середине ширины зубчатого венца</p>	<p data-bbox="668 247 953 315">Желаемое пятно контакта</p>
 <p data-bbox="315 435 626 555">а) Контакт на концах зуба. Погрешность в угле наклона зуба б) Конусность зуба</p>	<p data-bbox="668 435 953 495">а) Изменить угол скрещивания</p> <p data-bbox="668 512 953 623">б) Устранить непараллельность перемещения оси заготовки к оси шевера</p>
 <p data-bbox="315 623 626 708">Контакт широкий — на головке и ножке зуба, разрыв в середине</p>	<p data-bbox="668 623 953 683">Изменить профиль зуба шевера</p>
 <p data-bbox="315 777 626 845">Контакт узкий по высоте профиля зуба</p>	<p data-bbox="668 777 953 836">Изменить профиль зуба шевера</p>
 <p data-bbox="315 913 626 982">Контакт на головке профиля зуба</p>	<p data-bbox="668 913 953 973">Изменить профиль зуба шевера</p>
 <p data-bbox="315 1101 626 1169">Контакт на ножке профиля зуба</p>	<p data-bbox="668 1101 953 1161">Изменить профиль зуба шевера</p>
 <p data-bbox="315 1238 626 1306">Контакт короткий по длине зуба</p>	<p data-bbox="668 1238 953 1349">Уменьшить бочкообразность на зубе, путем регулирования механизма качания стола</p>
 <p data-bbox="315 1426 626 1494">Контакт длинный по длине зуба</p>	<p data-bbox="668 1426 953 1537">Увеличить бочкообразность на зубе путем регулирования механизма качания стола</p>

Форма и расположение пята	Основные способы исправления пята контакта
 <p data-bbox="310 273 632 333">Контакт на концах зуба</p>	<p data-bbox="632 273 962 333">Увеличить длину хода стола</p>
 <p data-bbox="310 409 632 495">Контакт пятнистый. Грубая поверхность при зубофрезеровании</p>	<p data-bbox="632 409 962 495">Уменьшить шероховатость поверхности при зубофрезеровании</p>
 <p data-bbox="310 572 632 674">Царапины на головке и профиле зуба. Большая шероховатость поверхности зубьев</p>	<p data-bbox="632 572 962 742">Заточить затупленный шевер. Заменить СОЖ. Увеличить окружную скорость, угол скрепления. Уменьшить продольную передачу</p>

Контрольные вопросы

1. В каких направлениях происходит совершенствование конструкции зубошевинговальных станков?
2. По каким конструктивным признакам зубошевинговальные станки разделены на две основные группы?
3. Какими методами можно производить шевингование на станке мод. 5702В?
4. Какие кинематические цепи имеет зубошевинговальный станок мод. 5702В?
5. Какими основными параметрами характеризуются режимы резания при шевинговании?
6. Из каких составляющих складывается штучное время?

ГЛАВА VI. ЗУБОРЕЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

§ 1. Материалы для изготовления режущего инструмента

Наиболее важным фактором, определяющим эффективность режущего инструмента, является качество инструментальных материалов. Развитие инструментальных материалов происходит по пути повышения таких важных свойств, как твердость, красностойкость — способность сохранять высокие твердость и износостойкость при нагреве в процессе резания.

Все материалы, применяемые для изготовления зуборезного инструмента, можно разделить на следующие основные группы: инструментальные легированные стали, быстрорежущие стали и твердые сплавы.

Сравнительно простые зуборезные инструменты (дисковые и пальцевые модульные фрезы) изготавливают обычно из легированной инструментальной стали марки 9ХС. Зуборезные инструменты из этой стали имеют твердость HRC 61—64 и красностойкость до 300—350°С. Обработку производят при скорости резания $v = 10 \div 15$ м/мин.

К числу основных материалов, применяемых для изготовления зуборезного инструмента, относятся быстрорежущие стали, которые бывают нормальной и повышенной производительности. Быстрорежущими сталями нормальной производительности являются Р6М3, Р6М5 и др. Зуборезные инструменты, изготовленные из этих сталей, после термической обработки имеют твердость HRC 62—65, красностойкость до 550—600°С и достаточно высокую износостойкость. Этими сталями производят обработку при скорости резания 50 м/мин.

Наибольшее применение для изготовления зуборезных инструментов (червячных и дисковых фрез, долбяков) получила вольфрам-молибденовая сталь марки Р6М5.

К сталям повышенной производительности, применяемым для изготовления зуборезного инструмента, относятся также стали марок Р9К10, Р9Ф5, Р6М5К5 и Р9М4К8. Легирование быстрорежущих сталей кобальтом и ванадием уменьшает прочность инструмента, но повышает его красностойкость (до 630—650°С) и износостойкость.

Червячные фрезы из стали Р9К10 обладают высокой твердостью (HRC 64—66) и износостойкостью, что позволяет производить нарезание зубьев при скорости резания $v = 60 \div 75$ м/мин. Сталь Р9Ф5 широко применяют для изготовления шеверов. Химический состав инструментальных сталей, применяемых для изготовления зуборезного инструмента, приведен в табл. 19.

Возможности дальнейшего повышения режущих свойств быстрорежущих сталей, изготавливаемых традиционными способами — изменением их химического состава, практически исчерпаны. Новым направлением в развитии быстрорежущих сталей является использование методов порошковой металлургии для их производства.

Технология получения порошковых быстрорежущих сталей основана на распылении жидкой струи металла азотом, а затем газостатическом прессовании порошка при высоких температурах. После прессования заготовки

горячей ковкой по обычной технологии получают необходимый профиль поковок.

Быстрорежущая сталь, полученная из порошка, обладает рядом положительных свойств: однородной мелкозернистой структурой с равномерным распределением карбидов по сечению, повышенными прочностью и ударной вязкостью. Сталь хорошо шлифуется и имеет незначительную деформацию после термообработки. К недостаткам порошковой стали следует отнести высокую стоимость и худшую обрабатываемость резанием.

Наибольший эффект от применения порошковых сталей получают на зуборезных инструментах со сложной фасонной режущей кромкой, а также работающих в условиях повышенных ударных нагрузок. В этих случаях порошковые стали обеспечивают повышение стойкости в среднем в 1,5—2 раза по сравнению со сталями аналогичного химического состава, полученными традиционными способами.

Перспективным направлением повышения стойкости зуборезных инструментов является нанесение на передние и задние поверхности режущих зубьев износостойких покрытий. Для покрытия быстрорежущих сталей применяют в основном нитрид титана TiN. Покрытие производят методом вакуумной ионно-плазменной технологии на установках типа «Пуск», «Булат» и др. Толщина покрытия на рабочих поверхностях инструмента составляет 2—6 мкм. Чтобы избежать отклонения от формы профиля режущего инструмента, покрытие должно быть расположено равномерно на всех рабочих поверхностях. Перед нанесением покрытия поверхность зуборезного инструмента должна быть тщательно очищена.

У зуборезных инструментов, покрытых нитридом титана, более благоприятные условия образования стружки, чем у инструментов без покрытия: улучшается скольжение стружки по передней поверхности; уменьшается интенсивность образования наростов.

Во время первой заточки зуборезного инструмента с передней поверхности вместе с металлом удаляют износостойкое покрытие, которое в дальнейшем не возобновляется. Поэтому наибольшее повышение стойкости имеет место у инструментов с покрытием до первой заточки.

Широкое распространение в промышленности получили режущие инструменты из твердых сплавов. Основ-

Содержание элементов, %

Марки сталей	Углерод (С)	Марганец (Mn)	Кремний (Si)	Хром (Cr)	Вольфрам (W)	Ванадий (V)	Кобальт (Co)	Молибден (Mo)	Никель (Ni)	Серя (S)	Фосфор (P)
9ХС	0,85—0,95	0,30—0,60	1,20—1,60	0,95—1,25	—	—	—	—	—	—	—
P6M3	0,85—0,95	0,4	0,5	3,0—3,5	5,5—6,5	2,0—2,5	—	3,0—3,6	0,4	0,03	0,03
P6M5	0,80—0,88	0,4	0,5	3,8—4,4	5,5—6,5	1,7—2,1	—	5,0—5,5	0,4	0,025	0,035
P9Ф5	1,4—1,5	0,4	0,5	3,8—4,4	9,0—10,5	4,3—5,1	—	1,0	0,4	0,03	0,035
P6M5K5	0,80—0,88	0,4	0,5	3,8—4,3	6,0—7,0	1,7—2,2	4,8—5,3	4,8—5,8	0,4	0,03	0,035
P9K10	0,9—1,0	0,4	0,5	3,8—4,4	9,0—10,5	2,0—2,6	9,0—10,5	1,0	0,4	0,03	0,03
P9M4K8	1,0—1,1	0,4	0,5	3,0—3,6	8,5—9,6	2,1—2,5	7,5—8,5	3,8—4,3	0,4	0,03	0,035

Примечание. В обозначении марки быстрорежущей стали буквы и цифры означают следующее: P — быстрорежущая; цифра за буквой P — содержание вольфрама, %; Ф — ванадий; K — кобальт; M — молибден; цифры за этими буквами — соответственно содержание ванадия, кобальта и молибдена, %.

ная доля твердосплавного инструмента приходится на токарные резцы и фрезы. Хотя качество твердосплавного зуборезного инструмента (вследствие создания новых марок сплавов и способов их обработки) постоянно улучшается, применение твердого сплава при изготовлении зубчатых колес пока еще ограничено.

Зуборезные инструменты из твердых сплавов обладают высокой твердостью (HRA 87—92), теплостойкостью (800—1000°С) и износостойкостью, что позволяет производить обработку при скорости резания $v = 200 \div 300$ м/мин. Недостатком твердых сплавов является повышенная хрупкость, которая возрастает с уменьшением содержания в сплаве кобальта.

Дисковые и пальцевые модульные фрезы, долбяки и червячные фрезы, изготовленные из твердых сплавов марок ВК6М и ВК8, применяют в основном для обработки зубчатых колес из чугуна, цветных металлов и неметаллических материалов.

Для обработки сталей целесообразно применять твердые сплавы марок Т5К10, Т15К6, Т30К4, Т14К8. Твердосплавными зуборезными инструментами обрабатывают незакаленные стальные зубчатые колеса небольших размеров (с модулем до 2 мм). Твердосплавные червячные фрезы применяют для чистовой обработки закаленных (до HRC 64) цилиндрических колес с модулем 5—25 мм.

§ 2. Червячные фрезы

Требования к производительности и точности изготовления зубчатых колес в последние годы значительно повысились. Зубчатые колеса должны не только иметь высокую точность, чтобы повысить срок службы и эксплуатационные показатели, но и быть экономичными при изготовлении. Эти показатели зависят от многих факторов, важнейшими из которых являются конструкция и точность режущего инструмента.

Наиболее распространенным методом чистовой обработки зубьев зубчатых колес в условиях массового производства является шевингование. Качество зубчатых колес во время шевингования в значительной степени зависит от точности обработки зубчатого колеса на операциях, предшествующих шевингованию. Основными процессами зубообработки до шевингования являются зубофрезерование червячными фрезами и зубодолбление круглыми долбяками и зубчатыми рейками.

По сравнению с другими видами инструмента червячные фрезы наиболее часто подвергают конструктивным изменениям в целях повышения их эффективности и точности.

Наибольшее применение получили следующие основные группы червячных фрез: цельные со шлифованным профилем; сборные с поворотными вставными рейками; цельные затылованные с нешлифованным профилем (повышенной точности) и твердосплавные.

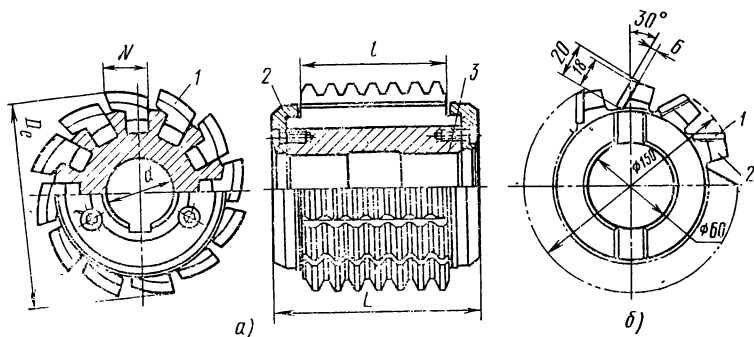


Рис. 80. Червячные сборные фрезы:

a — с поворотными вставными рейками, *б* — с припаянными твердосплавными пластинами

Цельные червячные фрезы со шлифованным профилем хорошо известны в зуборезной практике, их обычно применяют для окончательной обработки точных зубчатых колес. Червячными фрезами класса точности АА и А нарезают колеса 7-й и 8-й степени точности соответственно, фрезами класса точности ААА — особо точные зубчатые колеса. Фрезы со шлифованным профилем широко применяют в мелкосерийном и серийном производстве. Более высокая точность обеспечивается при работе однозаходными червячными фрезами.

Сборные червячные фрезы с поворотными вставными рейками (рис. 80, *a*) широко применяют в автомобильной промышленности для получения колес 7—8-й степени точности под последующее шевингование. Для повышения срока службы фрезы длина реек увеличена до $l=200$ мм; число возможных переточек увеличено примерно в 2 раза благодаря увеличе-

нию ширины режущей части рейки до $W=23$ мм. Эти конструктивные изменения позволили повысить срок службы сборных фрез в 3—4 раза по сравнению с обычными сборными фрезами и цельными фрезами со шлифованным профилем.

Профиль зубьев фрезы шлифуют по всей длине рейки в технологическом корпусе на резьбошлифовальном станке без затылования (как винт). Шлифование осуществляют шлифовальным кругом большого диаметра с высокой производительностью и точностью. Задние углы режущих кромок образуются соответствующей установкой реек в рабочем корпусе. Вставные рейки имеют после термической обработки более однородную структуру (особенно по карбидной неоднородности), более равномерную твердость и меньшие остаточные напряжения.

Рейки 1 (см. рис. 80, а) запрессовывают в прямоугольные пазы рабочего корпуса 3 с подогревом корпуса. Дополнительно рейки удерживаются с обоих торцов крышками 2, запрессованными с натягом.

По сравнению с цельными фрезами сборные фрезы со вставными рейками дороже и более трудоемки в изготовлении, однако до полного износа ими можно обработать значительно больше деталей, в результате чего экономится быстрорежущая сталь. Заготовки реек выполняют из профильного проката. Длинные сборные фрезы особенно эффективно применять в автоматах и автоматических линиях, где длительный срок их службы особенно важен для повышения производительности оборудования, работающего при ограниченном вмешательстве оператора.

Цельные затылованные фрезы с нешлифованным профилем (повышенной точности) отличаются от шлифованных тем, что профиль их зубьев обрабатывают резцом по всей длине на токарно-затыловочном станке, а затем подвергают термической обработке, являющейся окончательной операцией.

Червячные фрезы с нешлифованным профилем (по сравнению с цельными фрезами со шлифованным профилем) имеют большее число переточек, большую стойкость и лучшие условия резания, так как на профиле зубьев отсутствуют прижоги от шлифования, а задние и боковые углы больше, чем у шлифованных фрез.

Точность фрез с нешлифованным профилем ниже (примерно на один класс), чем фрез со шлифованным профилем и соответствует примерно классу точности В.

Фрезами с нешлифованным профилем обрабатывают зубчатые колеса под последующее получистовое и чистовое зубофрезерование, а также под шлифование. Стойкость этих фрез в 1,5—2 раза выше, чем стойкость цельных фрез со шлифованным профилем.

В последние годы наметилось новое направление в повышении производительности, точности и эффективности процесса зубофрезерования. Применяют цельные червячные фрезы малого диаметра, большой длины и ширины зуба, с увеличенными задними углами, повышенной точности, с износостойким покрытием. Червячные фрезы с нешлифованным профилем после термической обработки подвергают электроискровой обработке с последующим покрытием нитридом титана. Этот метод обработки обеспечивает точность изготовления одно- и многозаходных фрез классов А и В. Фрезы с покрытием при значительно меньшем износе имеют больший период стойкости.

Твердосплавные червячные фрезы применяют для обработки закаленных материалов. В основном используются цельные фрезы и сборные с монолитными рейками. Вследствие частых выкрашиваний режущих кромок твердосплавные фрезы применяют для обработки мелкозубчатых колес из цветных металлов и неметаллических материалов, а также из чугуна и стали с модулем до 2,5 мм при скорости резания 200—300 м/мин.

Для окончательной обработки закаленных зубчатых колес (с твердостью до HRC 64) модулем 5—25 мм взамен шлифования (или для обработки под прецизионное шлифование) применяют червячные фрезы с отрицательным передним углом ($\gamma = -30^\circ$) и твердосплавными пластинами 1, припаянными к зубу 2 (рис. 80, б). Резание без ударов (благодаря большому отрицательному переднему углу) и съем небольшого припуска (0,1—0,4 мм) только с боковых сторон зуба (впадина не обрабатывается) обеспечивают высокую стойкость инструмента, хорошее качество обработанной поверхности ($Ra = 1—2$ мкм), высокую (6—8-й степени) точность обработки и производительность. Режим резания при обработке твердосплавной фрезой (диаметром 150 и длиной 110 мм) на зубофрезерном станке зубчатого колеса ($z_1 = 40$, $m = 6$ мм, $\alpha = 20^\circ$, $b_1 = 40$ мм, HRC 64): $v = 90$ м/мин; $s = 1,5$ мм/об; подача попутная; припуск на сторону зуба 0,13 мм; резание без охлаждения.

Основное преимущество многозаходных червячных фрез — повышение производительности зубофрезерования на 40—50% (при переходе с одно- на двухзаходную) и на 60—70% (при переходе с одно- на трехзаходную). Кроме того, при работе многозаходными фрезами условия резания (по сравнению с однозаходными) улучшаются. При применении многозаходных фрез число зубьев колеса не должно быть кратным числу заходов фрезы.

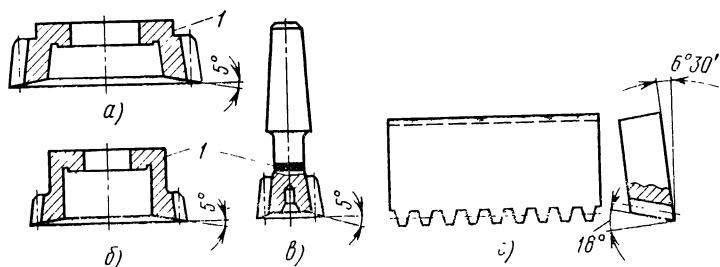


Рис. 81. Дискový (а), чашечный (б), хвостовой (в) долбяки и зубчатая гребенка (г) (1 — контрольный пояс)

Зубчатые колеса с числом зубьев меньше 17 многозаходными фрезами обрабатывать не рекомендуется.

§ 3. Круглые долбяки и зубчатые гребенки

Нарезание круглым долбяком основано на воспроизведении зацепления пары зубчатых колес. При этом одним элементом является обрабатываемое колесо, другим — режущий инструмент (долбяк), который при взаимной обкатке и возвратно-поступательном движении осуществляет резание и образует эвольвентную форму зубьев колеса.

Долбяки изготовляют дисковые (рис. 81, а), чашечные (рис. 81, б) и хвостовые (рис. 81, в). Дисковые долбяки чаще применяют для нарезания колес внешнего зацепления. Для повышения стойкости инструмента и точности изготовления колеса диаметр долбяка выбирают максимально возможным.

Чашечные долбяки применяют для нарезания колес как внешнего, так и внутреннего зацепления; в последнем случае их используют для обработки особо точных

колес. Хвостовые долбяки применяют для обработки колес внутреннего зацепления малого диаметра.

При нарезании косозубых колес внешнего зацепления углы наклона зуба колеса и долбяка одинаковы, а направления угла наклона линии зуба противоположны. Для колес внутреннего зацепления углы наклона и направление углов наклона одинаковы.

Для нарезания шевронных колес применяют комплект долбяков одинакового диаметра: один долбяк с правым наклоном линии зуба, а другой — с левым. Это необходимо для обработки обеих половин шевронного колеса.

Нарезание зубьев на зубострогальном станке основано на обкатке обрабатываемого колеса по зубчатой гребенке, являющейся режущим инструментом. В процессе резания прямолинейные режущие кромки гребенки, совершая возвратно-поступательное движение по направлению зуба и движение обкатки, образуют эвольвентную форму профиля зубьев колеса.

Одной и той же прямозубой зубчатой гребенкой (рис. 81, г) можно нарезать косозубые и прямозубые зубчатые колеса.

§ 4. Заточка зуборезного инструмента

Зуборезный инструмент затачивают по передней поверхности зубьев. Для производства точных зубчатых колес затачивание режущего инструмента производят с той же точностью, что и при изготовлении нового инструмента. Каждая ошибка при заточке вызывает погрешности профиля зубьев и других параметров обрабатываемого колеса. Шероховатость передней поверхности зубьев после заточки $Ra=0,32\div 0,63$ мкм. Наличие прижогов и тепловых трещин на передней поверхности заточенного инструмента контролируют визуально.

При заточке червячных фрез (рис. 82, а) контролируют три параметра — окружной шаг зубьев, передний угол и шаг стружечной канавки. Погрешности окружного шага зубьев возникают при неправильной установке фрезы на заточном станке; в результате износа оправки или делительного диска; из-за недостаточного выхаживания после заточки.

Угол заточки передней поверхности зубьев прямозубого долбяка составляет обычно 5° (рис. 82, б). При заточке косозубых долбяков (рис. 82, в) переднюю поверхность располагают под углом 90° к направлению винто-

вой линии, каждый зуб затачивают отдельно. При заточке долбяков контролируют передний угол, а у косозубых долбяков дополнительно проверяют колебание высоты зубьев.

У долбяков для обработки шевронных колес сначала шлифуют переднюю поверхность перпендикулярно оси долбяка (для удаления износа), затем (со стороны ту-

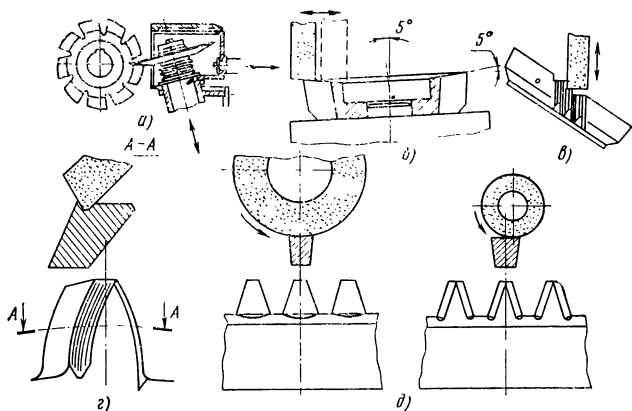


Рис. 82. Заточка зуборезного инструмента:

а — червячной фрезы, *б* — прямозубого долбяка, *в* — косозубого долбяка, *г* — долбяка для обработки шевронных колес, *д* — зубчатой гребенки

пого угла) образуют канавку параллельно эвольвентному профилю (рис. 82, *г*), а со стороны острого угла снимают небольшую фаску.

Формы заточки передней поверхности зубчатой гребенки показаны на рис. 82, *д*.

§ 5. Дисковые шеверы и их конструкции

Дисковый шевер представляет собой закаленное и шлифованное с высокой точностью цилиндрическое зубчатое колесо с косыми зубьями. На профилях зубьев выполнены канавки, которые образуют режущие зубчики по всей высоте зуба и заканчиваются у отверстия в основании зуба. Эти отверстия служат для свободного выхода гребенки при долблении канавок, прохождения потока смазочно-охлаждающей жидкости и удаления мелкой стружки, смываемой из канавок во время шевингования.

Проектирование шевера. Теоретически один шевер мо-

жет шевинговать все зубчатые колеса с одинаковыми модулем и углом профиля независимо от числа зубьев. Однако в массовом производстве при изготовлении ответственных передач (когда необходимо компенсировать деформацию, возникшую при термообработке, модифицировать эвольвентный профиль зуба для снижения уровня шума) целесообразно для каждого колеса (или небольшой группы колес) применять отдельный шевер.

При проектировании нового шевера необходимо учитывать следующие факторы.

1. Параметры зубчатого колеса — степень перекрытия, модуль, число зубьев, угол наклона линии зуба, ширина зубчатого венца — оказывают большое влияние на процесс шевингования. Степень перекрытия определяет число возможных контактирующих точек зубьев шевера и колеса во время шевингования; с увеличением степени перекрытия, которая не должна быть менее 1,7, качество обработки повышается.

Чем больше число зубьев колеса, тем лучше условия при шевинговании (число зубьев колеса, подлежащего шевингованию, не должно быть меньше 17). Модуль шевингуемого колеса должен быть не менее 1,5 мм, а ширина зубчатого венца — не менее 20 мм, угол наклона зубьев косозубых колес, которые шевингуются лучше, чем прямозубые, должен превышать 10° .

Оптимальные параметры зубчатых колес, а также высокое качество их изготовления до шевингования позволяют повысить точность колес после шевингования на 2—3 степени (но не выше 5—6-й степени).

2. Нормальный модуль и угол зацепления у шевера должны быть такими же, как у шевингуемого колеса.

3. Угол наклона линии зуба шевера выбирают в зависимости от угла скрещивания осей шевера и обрабатываемого колеса. Угол скрещивания для прямозубых колес рекомендуется $5-15^\circ$, а для косозубых — $5-12^\circ$.

4. Отношение числа зубьев шевера к числу зубьев обрабатываемого колеса должно быть дробным. Число зубьев шевера рекомендуется назначать нечетным.

При шевинговании зубчатых колес с малым числом зубьев возникают трудности с получением правильного эвольвентного профиля на зубьях колеса. Во время шевингования при прохождении зубьями шевера и обрабатываемого колеса активного участка линии зацепления постоянно меняется число контактирующих боковых поверхностей зубьев шевера и колеса. Так как при шевин-

говании шевера и зубчатое колесо находятся в плотном зацеплении, их зубья сопрягаются обеими сторонами, следовательно, число одновременно контактирующих зубьев с каждой стороны зуба колеса также будет меняться.

На рис. 83, а представлено зацепление зубьев шевера 2 и обрабатываемого колеса 5 с малым числом зубьев, при котором контактирование происходит в двух точках 3 и 4 на правой половине зацепления и в одной точке 1

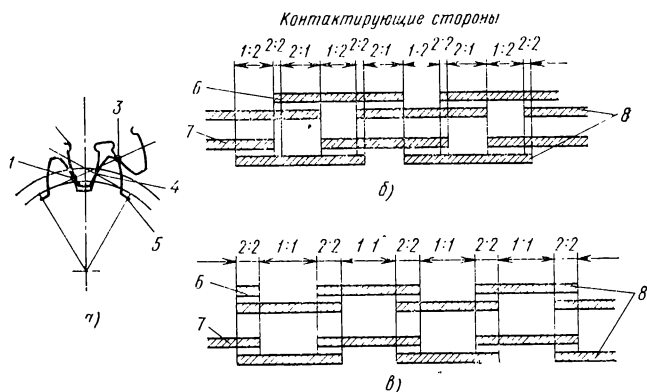


Рис. 83. Схема одновременного зацепления зубьев шевера и колеса:

а — число одновременно контактирующих зубьев левой и правой половины, б — схема зацепления колеса и шевера — не пригодна, в — схема зацепления колеса и шевера — пригодна

ке 1 на левой половине зуба обрабатываемого колеса относительно оси. При приложении нагрузки сила резания будет распределена на правую и левую половину поровну. Так как на правой половине имеются две точки контакта 3 и 4, а на левой только одна 1, то в точке 1 сьем металла будет больше, чем в точке 3 или 4.

При дальнейшем вращении зацепление приобретет противоположный характер, контакт на правой половине будет в одной точке, а на левой в двух, теперь больше металла срезается с зуба, находящегося на правой половине. Если учесть, что контакт при зацеплении шевера и колеса постоянно перемещается по высоте профиля зуба, то и отклонение эвольвентного профиля будет иметь место в разных зонах зуба колеса.

Если представить зацепление шевера с обрабатываемым зубчатым колесом, то получим схему, показанную

на рис. 83,б. Из схемы видно, что число сторон контактирующих зубьев, одновременно находящихся в зацеплении, как на левой 6, так и на правой 7 половине постоянно изменяется и они расположены несимметрично одна относительно другой. Например, одновременный и последовательный контакт на левой и правой половине соответственно изменяется как 1 : 2, 2 : 2, 2 : 1, 1 : 2 и т. д. Изменяется и суммарное число одновременно контактирующих сторон зубьев 8 на обеих половинах зуба — правой и левой.

Для устранения причин образования погрешностей на боковых поверхностях зубьев обрабатываемого колеса следует проектировать шевер так, чтобы число одновременно контактирующих сторон зубьев справа и слева было одинаковым, а при большем числе контактирующих точек с каждой стороны зуба располагать четное (парное) число точек, тогда и нагрузка при резании распределится равномерно, т. е. баланс сил резания будет уравновешен (рис. 83, в).

Аналогичное явление бывает и при шевинговании зубчатых колес с большим числом зубьев. Например, у зубчатого колеса с 60 зубьями число контактирующих сторон может изменяться от 4 до 5, соответственно будет меняться ошибка профиля зуба, но по сравнению с колесом, имеющим малое число зубьев, результат будет значительно лучше.

5. Диаметр шевера выбирают наибольшим, исходя из размеров шевинговального станка, так как чем больше диаметр, тем выше стойкость шевера и точность обработки (особенно при шевинговании прямозубых колес с малым числом зубьев).

6. Ширина зубчатого венца шевера определяется в зависимости от метода шевингования: при параллельном шевинговании ширина определяется произвольно; при диагональном — рассчитывается с учетом угла диагонали; при тангенциальном и врезном — должна быть больше ширины зубчатого венца обрабатываемого колеса. Ширина шевера для обработки колес внешнего зацепления больше, чем для обработки колес внутреннего зацепления.

В большинстве случаев шевер имеет прямые (в продольном направлении) зубья с режущими зубчиками, параллельными торцам шевера (рис. 84, а). Шеверы с прямыми зубьями применяются при параллельном и диагональном шевинговании. При тангенциальном и врезном

шевингования зубья шевера в продольном направлении имеют вогнутую форму (рис. 84, б), а режущие зубчики располагаются по винтовой линии.

При шевинговании зубчатых колес внутреннего зацепления и зубчатых колес внешнего зацепления крупного модуля зубья шевера в продольном направлении имеют выпуклую форму (рис. 84, в).

7. При проектировании шевера следует учитывать возможность нескольких его перешлифовок (заточек), что обуславливается изменением условий работы инструмента.

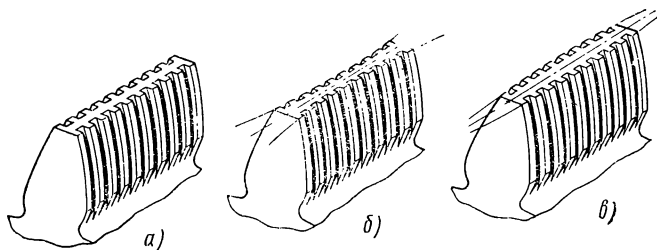


Рис. 84. Форма зубьев шевера в продольном направлении:
а — прямая, б — вогнутая, в — выпуклая

8. Высота головки зуба шевера рассчитывается таким образом, чтобы шевер мог обрабатывать профиль зуба колеса в точке, расположенной ниже крайней точки контакта шевингуемого колеса с сопряженным.

9. Стружечные канавки 1 на зубьях шевера для образования режущих зубчиков 2 (рис. 85, а) выполняют по-разному. В зависимости от типа канавок на зубьях образуются различные передние углы при резании. На шеврах для параллельного и диагонального шевингования стружечные канавки, расположенные параллельно торцам шевера (рис. 85, а), проходят от вершины до основания зуба и попадают в канавку 4 (рис. 85, г), предназначенную для выхода стружки и смазочно-охлаждающей жидкости. Стружечные канавки имеют (по всей высоте зуба) эвольвентную форму и постоянную высоту.

Широко применяются режущие зубчики 3 трапецеидальной формы (рис. 85, б). Такая форма зубчиков делается для большей их прочности и лучшего схода стружки и особенно эффективна при шевинговании зубчатых колес (из плохо обрабатываемого материала) с

неравномерным и повышенным припуском. На рис. 85, в приведены размеры режущих зубчиков трапецеидальной формы шевера ($z_o=51$, $m_o=4,5$ мм, $\beta_o=7^\circ$, $\alpha=20^\circ$) для обработки зубчатого колеса с правым наклоном зуба ($z=28$, $m_n=4,5$ мм, $\alpha=20^\circ$, $\beta=19^\circ 30'$, угол диагонали 30°).

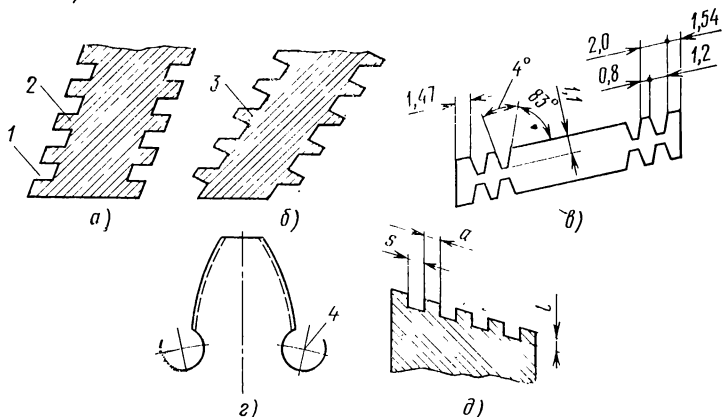


Рис. 85. Форма режущих зубчиков шевера и канавок между зубчиками

Рекомендуемые ширина a режущего зубчика и ширина S стружечной канавки (рис. 85, д) в зависимости от модуля m шевера приведены ниже.

m , мм	до 4,49	от 4,5 до 8
a , мм	0,8	0,9
S , мм	1,1; 1,15; 1,2; 1,25; 1,3	1,2; 1,25; 1,3

Высота стружечной канавки $l=1,1 \div 1,3$ мм.

10. Диаметр канавки 4 (см. рис. 85, з) для выхода стружки и СОЖ выбирают таким образом, чтобы обеспечить зазор между вершиной зуба шевингуемого колеса и дном канавки. Расстояние между канавками 4 должно быть равно или более диаметра канавки. Уменьшение расстояния между канавками 4 снижает прочность зуба шевера.

11. Профиль зуба шевера не всегда выполняют точно по эвольвенте. Очень часто его необходимо модифицировать для получения на шевингуемом колесе требуемой эвольвентной формы или модификации профиля зуба.

Для ремонтных работ используют пять групп шеверов, предназначенных для шевингования цилиндрических зуб-

чатых колес (со стандартной высотой зуба и углом зацепления 14—20°) в определенном диапазоне модулей и числе зубьев (табл. 20).

Таблица 20

Модуль, мм	Группа шевров				
	1	2	3	4	5
Число зубьев колеса					
До 1,25	13—22	Более 20	—	—	—
От 1,5 до 2	13—18	17—34	Более 25	—	—
» 2,25 » 3	14—18	17—29	» 27	—	—
» 3,25 » 5	15—17	17—26	23—40	35—60	Более 55
» 5,5 » 8	15—17	17—25	24—37	35—60	» 55

Модификация профиля зубьев шевера и зубчатого колеса. Модификацию профиля зубьев шевера производят в целях удаления металла с различных участков профиля зубьев колеса для повышения качества поверхности зубьев колеса.

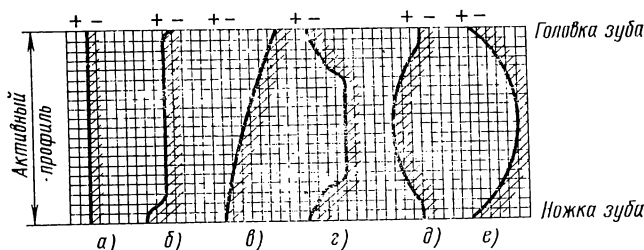


Рис. 86. Типовые модифицированные формы профиля зубьев шевера

На рис. 86, а показан точный эвольвентный профиль зуба шевера, представляющий собой прямую линию, на рис. 86, б, в, г, д и е — типовые модифицированные формы профиля зуба шевера: для удаления металла с головки зуба колеса (рис. 86, б); для исправления угла зацепления на зубьях колеса (рис. 86, в); для удаления металла одновременно с ножки и головки зуба колеса

(рис. 86, *з*); для получения вогнутого (рис. 86, *д*) и выпуклого (рис. 86, *е*) профиля по высоте зуба колеса.

Модификация формы профиля зуба колеса, заключающаяся в отклонении параметров колеса (профиля, шага, продольной кривизны зуба) от теоретически обоснованных, выполняется в целях увеличения срока службы и снижения уровня шума зубчатой передачи при работе на высоких скоростях и при высоких нагрузках. Типовые модифицированные формы профиля зубьев колеса приведены на рис. 87.

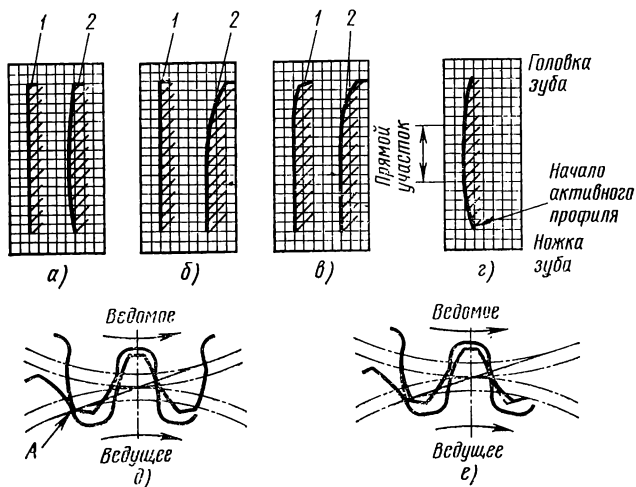
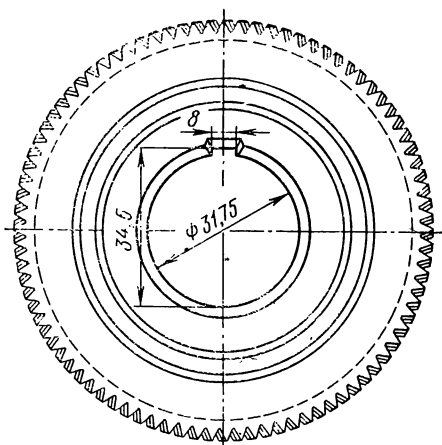
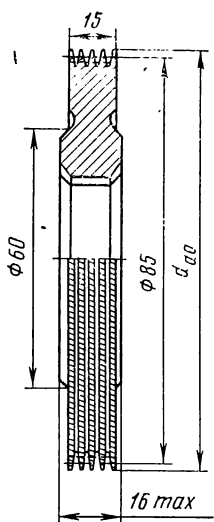


Рис. 87. Типовые модифицированные формы профиля зубьев колеса:

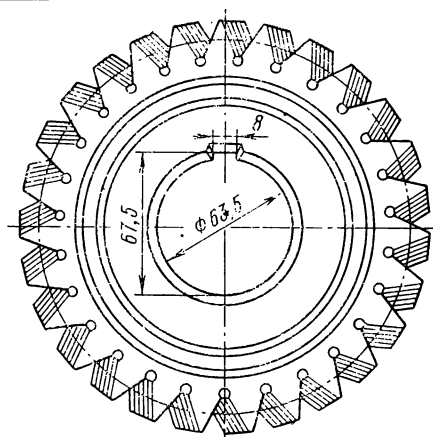
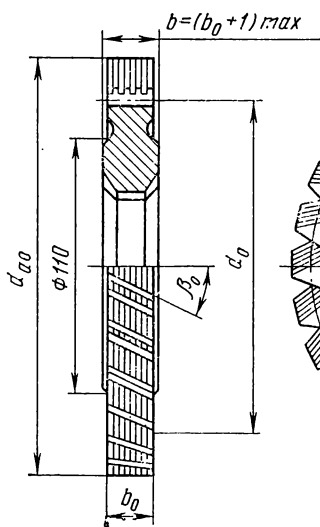
1 — ведущее колесо, 2 — ведомое колесо

В зубчатой передаче (рис. 87, *а*) зубья ведущего колеса 1 имеют точную эвольвентную форму (прямая линия), а зубья ведомого колеса 2 — скругленную на 2—5 мкм (по высоте зуба) форму.

В ряде случаев для уменьшения уровня шума достаточно модифицировать только головку зуба ведомого колеса 2 (рис. 87, *б*), а иногда изменяют профиль головки зуба как на ведомом 2, так и на ведущем 1 зубчатом колесе (рис. 87, *в*). При модификации зубчатого колеса необходимо, чтобы точная эвольвентная форма (прямая линия) сохранялась в середине профиля (рис. 87, *г*), иначе уменьшится степень перекрытия, что будет яв-



a)



б)

Рис. 88. Дисковые шеверы со сквозными (а) и глухими (б) стружечными канавками

Таблица 21

Номинальный диаметр	Модуль m_n	Число зубьев z_0	Ширина венца b_0^*	Номинальный диаметр	Модуль m_0	Число зубьев z_0	Ширина венца b_0^*
175	1,25	137	20	225	2	113	20 и 25
	1,5	113			2,25	97	
	1,75	97			2,5	89	
	2	89			2,75	79	
	2,25	79			3	73	
	2,5	67			3,25	67	
	2,75	61			3,5	61	
	3	59			3,75	59	
	3,25	53			4	53	
	3,5	47			4,5	47	
	3,75	47			5	43	
4	43	5,5	41				
200	1,5	137	20 и 25	300	6	37	25 и 30
	1,75	113			6,5	31	
	2	97			7	31	
	2,25	89			8	29	
	2,5	79			4	73	
	2,75	73			4,5	67	
	3	67			5	59	
	3,25	61			5,5	53	
	3,5	59			6	47	
	3,75	53			6,5	43	
	4	47			7	41	
4,5	43	8	37				
5	41	9	31				
5,5	37	10	29				
6	31						

* $b_0=20$; 25 и 30 мм соответственно для $m=1-4,99$ мм; $m=5-5,99$ мм и $m=6-12$ мм.

ляться причиной возникновения стука и неравномерности вращения.

Ударную нагрузку в точке А (зоне мгновенного контакта двух зубьев) (рис. 87, *д*) можно значительно уменьшить путем модификации (снятия незначительного объема металла с головки зуба) ведомого колеса (рис. 87, *е*).

Основные размеры шевера. По ГОСТ 8570—80 изготавливаются дисковые шеверы двух типов (класс точности АА, А и В). Шеверы первого типа со сквозными стружечными канавками (рис. 88, *а*) ($m=1; 1,125; 1,25; 1,375; 1,5$ и $1,75$ мм) имеют номинальный диаметр 85 и 180 мм, угол наклона винтовой линии зубьев на делительном цилиндре 5; 10 и 15°.

Шеверы второго типа с глухими стружечными канавками (рис. 88, *б*) ($m=2; 2,25; 2,5; 2,75; 3; 3,25; 3,5; 3,75; 4; 4,25; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7$ и 8 мм) имеют номинальный диаметр 180 и 250 мм и угол наклона винтовой линии зубьев на делительном цилиндре 5 и 15°. Каждый типоразмер шевера изготавливают с правым и левым направлением линии зуба.

Делительный диаметр шевера $d_b = (z_0 m_0) / \cos \beta_0$, где β_0 — угол наклона линии зуба шевера, а основной диаметр $d_{b0} = z_0 m_0 \cos \alpha$, где α — угол зацепления зубьев колеса.

Основные рекомендуемые параметры шевера, мм, приведены в табл. 21.

§ 6. Критерии затупления шевера

Срок службы шевера зависит от многих факторов: окружной скорости вращения шевера; подачи; материала и твердости обрабатываемого колеса и шевера; требуемого качества обработки; снимаемого припуска; типа смазочно-охлаждающей жидкости; отношения размера шевера к размеру обрабатываемого колеса.

Износ на зубьях шевера невелик, и определить его визуально (в целях своевременной заточки шевера) практически невозможно. Поэтому основными критериями, определяющими необходимость в заточке инструмента, являются следующие: точность эвольвентного профиля на зубьях колеса; число обработанных деталей; шероховатость поверхности зубьев колеса; колеба-

ние измерительного межосевого расстояния на одном зубе.

Когда за критерий износа шевера принимают точность эвольвентного профиля, то контролируют (после обработки определенного числа деталей) появление утолщения на головке зуба колеса. Для своевременного определения износа шевера в начале его работы погрешность профиля проверяют на приборе (эвольвентомере), оснащенном записывающим устройством. Через каждые 4 ч проверяют четыре зуба, равномерно расположенных по окружности (через 90°). При необходимости проверку производят через каждый час, пока не будут достигнуты предельные границы допуска. По форме кривой эвольвентного профиля решают вопрос о времени снятия шевера (со станка) для заточки.

Число деталей, которое должен обрабатывать шевёр от заточки до заточки, в каждом конкретном случае определяют опытным путем в зависимости от требуемого качества. Число деталей до заточки (примерно 2000—3000) устанавливают на счетчике циклов; после изготовления этого числа деталей станок автоматически останавливается.

Качество поверхности зубьев колеса по мере затупления шевера ухудшается, что обычно определяют визуально. При затуплении шевера на профиле зуба колеса появляются заметные риски, микронеровности и другие повреждения поверхности, которые вызывают повышение уровня шума и нежелательное изменение формы и расположения пятна контакта при проверке на контрольно-обкатном станке. Оценку шероховатости производят также путем сравнения с контрольным образцом, который имеет предельно допустимую шероховатость.

Колебание измерительного межосевого расстояния (ИМР) на одном зубе контролируют на специальном приспособлении путем плотного двухпрофильного зацепления с измерительным колесом, поворачивая обрабатываемое колесо на шаг. Когда ИМР достигает максимально установленного значения, шевёр снимают со станка и затачивают.

Контроль обрабатываемых зубчатых колес необходимо производить систематически. Все перечисленные критерии для оценки износа шевера применяются на практике, но конкретный их выбор осуществляется заводом — изготовителем зубчатых колес.

§ 7. Заточка, контроль, транспортировка и хранение шеверов

Заточка шевера. Заточку шевера производят по профилю зуба, снимая определенный припуск с наружного диаметра, чтобы выдержать заданные по чертежу размеры зуба. Перед заточкой шевер необходимо тщательно очистить и проверить, нет ли мелкой стружки в стружечных канавках и повреждений в посадочном отверстии.

Во время заточки с профиля зуба шевера снимают минимальное количество материала. При нормальном затуплении во время повторной заточки обычно снимается припуск 0,05 мм на сторону зуба. Если шевер имеет большое затупление или повреждение, его шлифуют до тех пор, пока не будут устранены все следы затупления или повреждения. Число переточек шевера зависит от модуля и возможной глубины стружечных канавок. Обычно шевер перетачивают от 6 до 10 раз.

Шевер затачивают на станках, оснащенных одним или двумя шлифовальными кругами. Станки с одним шлифовальным кругом имеют простую и жесткую конструкцию. Шлифовальный круг получает вращение непосредственно от электродвигателя через муфту. Вертикальная стойка, на которой закреплен шпиндель шлифовального круга, может поворачиваться в горизонтальной плоскости на угол, необходимый для заточки косозубых шеверов; кроме того, шпиндель может наклоняться в вертикальной плоскости. Во время заточки шлифовальный круг имеет только вращательное движение.

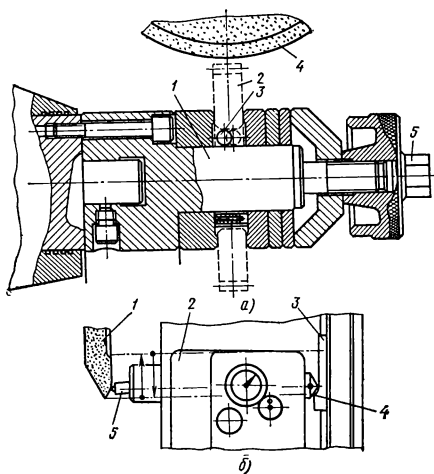


Рис. 89. Узлы станка для заточки шеверов:

а — шпиндель для закрепления шевера,
б — механизм для правки шлифовального круга

Для образования эвольвентного профиля шлифуемый шевер совершает обкаточное движение с приводом от обкатного барабана, диаметр которого равен диаметру основной окружности шевера. Поворот обкатного барабана, находящегося на одном шпинделе с шевером, осуществляется стальными лентами, а деление на зуб — от делительного диска, расположенного на противоположном конце шпинделя. Заточку нового шевера (модуль 5 мм) производят за 5—6 ч, включая время на подналадку станка и измерения.

Таблица 22

Операция заточки	Подача на рабочий ход, мм	Частота вращения шевера, об/мин
Черновая	0,015—0,02	3
Получистовая	0,003	3—6
Чистовая	0,002	2

Шевер 2 (рис. 89, а) устанавливают на державку 1 через шариковую втулку 3, а затем закрепляют гайкой 5. Шлифовальный круг 4 располагают по центру шевера.

В начале заточки у шевера шлифуют только одну сторону одного зуба и измеряют по ней профиль и направление зуба. Шлифование продолжается до тех пор, пока результаты измерения не будут соответствовать условиям чертежа, после чего приступают к шлифованию этой стороны зуба на всей партии шеверов. Аналогично шлифуют противоположную сторону зуба шеверов. Каждую сторону зуба затачивают за три операции (черновую, получистовую и чистовую), а в период между операциями производят правку шлифовального круга. Рекомендуемые подачи и частота вращения шевера приведены в табл. 22.

Шеверы из быстрорежущей стали затачивают без подвода охлаждающей жидкости (для предотвращения образования трещин), а шеверы из инструментальной стали — с применением охлаждающей жидкости.

На рис. 89, б показан механизм для правки шлифовального круга алмазом. Круг 1 профилируется с помощью алмаза 5. При перемещении каретки 2 щуп 4, контактируя с шаблоном 3, перемещает алмаз 5 по профилю шлифовального круга, и алмаз воспроизводит на круге обратную (негативную) форму шаблона 3.

Зубошлифовальный станок с двумя шлифовальными кругами (рис. 90) широко применяется в промышленности для изготовления и заточки шеверов, зубчатых накатников и измерительных зубчатых колес. Шлифование производят методом обкатки. Инструментом служат два шлифовальных круга 1 тарельчатой формы. В процессе заточки зубьев шевера совершает три движения: обкатку, подачу вдоль своей оси и периодическое дви-

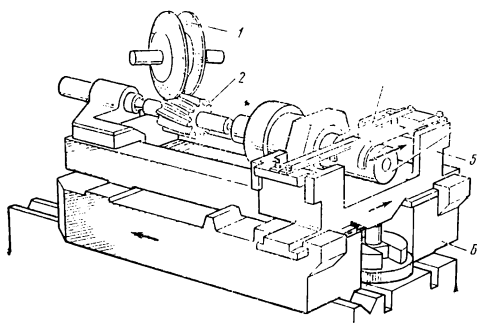


Рис. 90. Шлифовальный станок с двумя тарельчатыми шлифовальными кругами

жение от делительного диска. Шевер устанавливают вместо зубчатого колеса 2 на одном шпинделе с обкатным барабаном 4. Во время заточки (для получения эвольвентного профиля) шевер обкатывается по барабану 4, диаметр которого равен диаметру основной окружности шевера. Вращательное движение барабан получает через стальные ленты 3 во время поступательного движения суппорта 5. Подача шевера вдоль оси осуществляется столом 6.

Шлифовальный круг тарельчатой формы касается обрабатываемой боковой поверхности зуба узкой торцевой кромкой, расположенной близко к наружному диаметру круга (периферийное шлифование), благодаря чему имеет место небольшой по площади контакт и быстрое его перемещение по профилю зуба. В этом случае на обрабатываемую поверхность переносится небольшое количество теплоты, поэтому зубошлифование можно производить без охлаждения.

Шлифование можно производить при установке шлифовальных кругов относительно оси заготовки под углом 15° или 20° . Другой метод шлифования — под нулевым

-углом. При шлифовании нулевым методом по сравнению с методом установки шлифовальных кругов под углом 15° или 20° производительность повышается на 20—30%. Этот метод характеризуется более коротким ходом обкатки, шлифовальный круг в конечных точках обкатки не выходит из зацепления, нет перебега головки зуба.

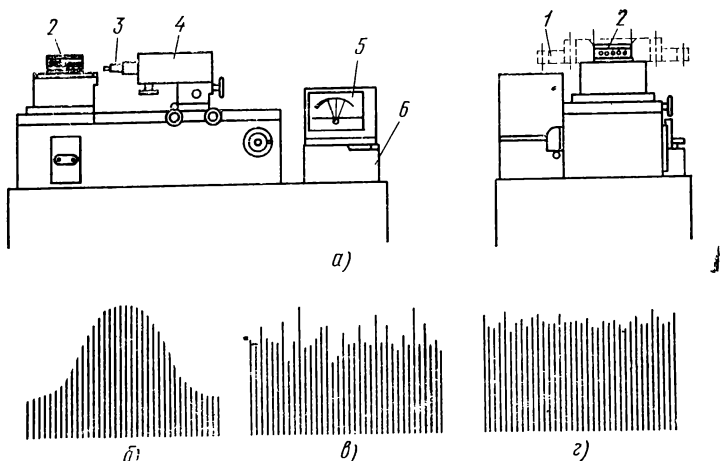


Рис. 91. Прибор для контроля радиального биения:
 а — общий вид прибора, б, в и г — типовые графики измерения

Методы заточки шеверов двумя тарельчатыми кругами более производительны, чем заточка шеверов на станках с одним шлифовальным кругом большого диаметра. При изготовлении нового шевера, включая время на наладку и подналадку станка, повторное измерение и т. д., затрачивают в среднем 1—3 ч. Машинное время при заточке шевера диаметром 250 мм с модулем 3—6 мм составляет от 0,5 до 1,5 ч.

Точность обработки: погрешность профиля, окружного шага и направления линии зуба находится в пределах 3 мкм, шероховатость поверхности $Ra \approx 0,5$ мкм.

Контроль. У заточенного шевера контролируют следующие основные параметры: эвольвенту; направление зуба; радиальное биение; погрешность шага; наличие прижогов на зубьях; шероховатость поверхности на профиле зуба и калибр зуба. Погрешности профиля, направления зуба и шага контролируют на стандартных приборах, оснащенных записывающими устройствами.

Качество заточки шевера контролируют с помощью микроскопа. Контролируемые зубчики шевера освещают электролампой, а фокус микроскопа (8—10-кратное увеличение) направляют на режущую кромку проверяемого участка зуба. Затупленные (скругленные) участки режущей кромки проявляются в виде яркой светлой полоски. Наличие светлой полоски обуславливает повторную переточку шевера.

Наличие прижогов на зубьях определяют визуально. Шероховатость поверхности на боковых сторонах зубьев контролируют с помощью специальных приборов. Особое влияние на срок службы шевера и качество обработки оказывает радиальное биение шевера после заточки.

На рис. 91, *а* показан прибор для контроля радиального биения на шеверах и зубчатых накатниках диаметром до 500 мм. Шевер *1* устанавливают на шариковую втулку *2*. В процессе измерения головка *4* (автоматически) последовательно вводит наконечник *3* во впадины зубьев шевера со скоростью 15 зубьев в минуту. При наладке прибора можно пользоваться ручным способом измерения. Самописец *6* регистрирует отдельные значения на графике, а на приборе *5* указывает масштаб измерения. Форма измерительного наконечника, выполненная в виде ролика, зависит от модуля измеряемого шевера.

Типовые графики измерения радиального биения показаны на рис. 91, *б*, *в* и *г*. Синусоидальная форма кривой (рис. 91, *б*) указывает на большое радиальное биение зубьев шевера, а большие погрешности шага выявляются в виде отдельных скачков (рис. 91, *в*). Нормальная точность шевера по радиальному биению показана на рис. 91, *г*.

Окончательное решение о качестве шевера принимается с учетом точности изготовленных им зубчатых колес. Для этого на участке изготовления шеверов устанавливают один или несколько шевинговальных станков и выделяют опытных операторов. Каждым заточенным и проверенным шевером шевингуют 2—4 зубчатых колеса, у которых затем проверяют два параметра — направление зуба и эвольвенту на четырех зубьях, равномерно расположенных через 90°. Применяют и другие методы контроля зубчатых колес, обработанных проверяемым шевером.

Транспортировка и хранение шеверов. При транспортировке как внутри цеха, так и за его пределами необхо-

димо осторожное обращение с шеверами, являющимися точными и дорогостоящими инструментами. Для того чтобы шеверы не касались друг друга, а также металлических полок и других твердых деталей, они должны транспортироваться и храниться в специальных контейнерах или в отдельных деревянных ящиках. Если в обращении находится большое число шеверов, их хранят на деревянных полках с отделениями для каждого шевера. При транспортировке и хранении шеверы необходимо плотно уложить в контейнеры и хорошо смазать (включая отверстие) в целях предотвращения коррозии. Шеверы следует хранить в помещении с температурой 21—27°С.

Перед установкой шевера на шевинговальный станок его необходимо тщательно очистить и проверить на магнитные свойства.

Контрольные вопросы

1. Из каких материалов изготавливают зуборезные инструменты?
2. Какие основные группы червячных фрез вам известны?
3. Каким образом затачивают червячные фрезы, долбяки и зубчатые гребенки?
4. Какую форму могут иметь зубья шевера в продольном направлении?
5. Для чего необходима модификация профиля зубьев шевера и зубчатого колеса?
6. Какие критерии износа шевера вам известны?
7. Какими методами можно заточить шевер?
8. Какие мероприятия необходимо выполнять при транспортировании шеверов?

ГЛАВА VII. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

§ 1. Основные понятия

Одним из основных направлений развития современной технологии является широкое внедрение в машиностроение механизации и автоматизации технологических процессов. За последние годы уровень механизации и автоматизации зубообрабатывающего оборудования значительно повысился не только в массовом и крупносерийном, но и в серийном производстве.

Создание универсальных переналаживаемых транспортных устройств для нескольких типоразмеров зубчатых колес позволило с успехом применять их для меха-

низации и автоматизации серийного производства. При этом средства механизации и автоматизации должны быть экономически целесообразными, надежными в работе и быстро переналаживаться.

Механизация и автоматизация позволяют более полно использовать станок и вспомогательные приспособления, повысить его производительность на 15—25%; одновременно создается возможность для многостаночного обслуживания; облегчаются условия труда рабочих; повышается качество и стабильность размеров зубчатых колес.

Наиболее эффективной является комплексная автоматизация всего производственного процесса, включая получение заготовки, механическую и термическую обработку, сборку, контроль и упаковку готовой продукции.

Механизация технологических процессов — это частичная или полная замена труда рабочего трудом машинным в процессе непосредственного изменения формы или качества обрабатываемой детали. Функции рабочего при этом сводятся к управлению машиной и контролю за ее работой.

Автоматизация технологических процессов — комплекс мероприятий по управлению и контролю за работой машин или технологическими процессами без какого-либо участия рабочего. Работа машин происходит по заданной программе.

Полуавтомат — машина, работающая с автоматическим рабочим циклом, для повторения которого требуется вмешательство рабочего.

Автомат — машина, автоматически выполняющая все рабочие и холостые ходы в течение рабочего цикла обработки.

Поточная линия — система полуавтоматов и автоматов, расположенных в технологической последовательности, в которой межоперационное транспортирование деталей, а также загрузка и выгрузка на отдельных операциях производится вручную.

Автоматическая линия — система автоматов, расположенных в технологической последовательности, в которой весь комплекс операций технологического процесса, включая межоперационное транспортирование деталей, выполняется автоматически.

Автоматический цех (завод) — цех (завод), где основные производственные процессы выполняют на автоматических линиях.

Гибкие автоматические линии, получающие распространение в последние годы, оснащаются станками с числовым программным управлением (ЧПУ), промышленными роботами, обрабатывающими центрами, управляемыми от ЭВМ. Гибкие автоматические линии в массовом производстве, благодаря гибкости, позволяют часто обновлять выпускаемую продукцию, сохраняя при этом высокую производительность. В мелкосерийном и серийном производстве эти линии позволяют комплексно автоматизировать процесс обработки аналогично массовому производству с высоким темпом выпуска продукции при сохранении надлежащей гибкости.

§ 2. Механизмы и тара для транспортирования зубчатых колес

При транспортировании зубчатых колес от операции к операции они в большей степени, чем другие детали, склонны к образованию забоин и других повреждений зубьев. В связи с этим вопросам их транспортирования, особенно в условиях массового и крупносерийного производства, уделяется большое внимание.

Шевингование зубьев производится непосредственно перед термической обработкой, поэтому даже незначительное повреждение зубчатых колес, полученные в этот период, очень сложно устранить при последующей обработке.

В качестве межоперационных транспортных средств в поточных линиях массового и крупносерийного производства широкое распространение получили приводные подвесные конвейеры (рис. 92, а). Их применяют на участках различной длины (иногда в сочетании с рольгангами, скатами, склизами). Балку 2 конвейера, имеющую профиль двутавра, подвешивают к перекрытию здания или к металлоконструкциям. По полкам балки движутся каретки 4 на роликах 1. Движение каретки осуществляется с помощью разборной цепи 3 от электродвигателя через редуктор. Обрабатываемые детали 6 навешивают на штыри подвески 5, которые в зависимости от формы детали могут иметь различную конструкцию (штыри, полки, ячейки и др.). Поддон 7 служит для сбора масла, стекающего с деталей. Для удобства загрузки и разгрузки деталей подвески располагаются на уровне груди человека. Подвесные конвейеры перемещаются

по замкнутой траектории, при необходимости они могут изгибаться, подниматься вверх, обходить встречающиеся препятствия, проходить через моечные агрегаты, сушильные и окрасочные камеры и т. д.

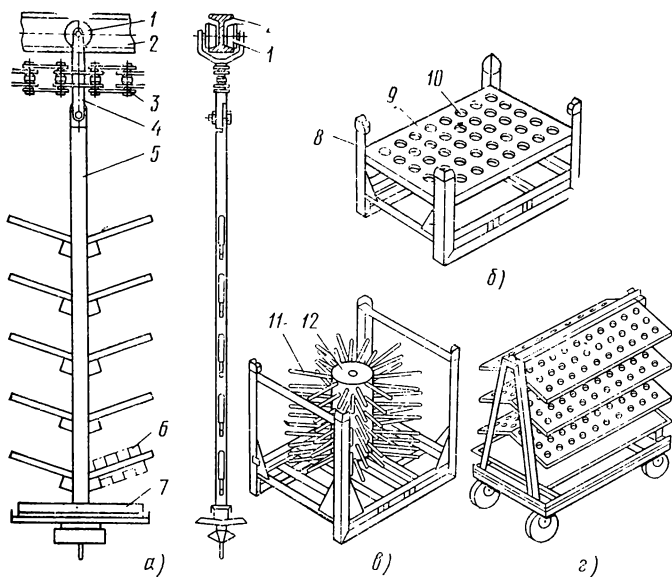


Рис. 92. Средства для транспортирования зубчатых колес:
 а — приводной подвесной конвейер, б — тара для колес-валов, в — тара для колес-дисков, г — тележка с полками

Для межцехового транспортирования зубчатых колес чаще всего применяют специальную тару сварной конструкции. Колеса-валы транспортируют в таре 8 с полками 9, в которых выполнено большое количество ячеек 10 (рис. 92, б). Валы устанавливают вертикально, чтобы они не касались друг друга. В зависимости от длины вала в таре может быть 1—3 полки. Емкость тары 30—200 деталей.

Колеса-диски лучше всего транспортировать в таре, оснащенной штырями 11, изготовленными из труб и приваренными в определенном порядке к поворотной стойке 12 (рис. 92, в). Емкость такой тары до 1000 деталей. Для уменьшения занимаемой площади тару можно устанавливать штабелями (друг на друга).

Транспортирование тары внутри цеха и между цехами производится электрокарами и электропогрузчиками с вилочными захватами.

В единичном и серийном производстве для перемещения зубчатых колес от операции к операции применяют тележки. На рис. 92, *г* показана тележка с полками, в которых выполнены отверстия для укладки колес-валов; перемещение тележки осуществляют вручную.

В автоматических линиях различают механизмы межстаночного транспортирования, которые осуществляют передачу деталей от одного станка к другому, и механизмы внутриваночного транспортирования, осуществляющие загрузку и разгрузку деталей на станке.

К механизмам межстаночного транспортирования относятся: подводящие и отводящие транспортеры; транспортеры-распределители; магазины-накопители; подъемники; ритмопитатели; кантователи.

Наиболее распространенными и простейшими подводящими и отводящими устройствами для зубчатых колес являются гравитационные транспортные средства (лотки, склизы, скаты), по которым детали перемещаются под действием собственного веса.

На рис. 93, *б* и *д* показан гибкий переналаживаемый лоток, по которому перемещаются зубчатые колеса 5. Особенностью гибких лотков является возможность встройки их в автоматические линии независимо от расположения станков. Лоток собирают из полос 6, изготовленных из пружинной листовой стали 65Г. Ширина полос определяется размерами деталей. В полосах имеются прорези 4, которые служат для размещения крепежных элементов: болтов 7, втулок 14, гаек 12, шайб 13. Масса транспортируемых зубчатых колес до 10 кг.

Необходимым элементом гравитационных транспортных систем являются подъемники. Зубчатые колеса поступают в элеваторный подъемник (рис. 93, *а*) по лотку 1, затем поднимаются на необходимую высоту, с помощью циркуляционной цепи, расположенной внутри колонны 3, а выходят из подъемника по лотку 2, после чего колеса катятся под действием собственного веса.

В автоматических линиях для изготовления зубчатых колес, объединяющих обычно большое количество сложного оборудования, режущего и измерительного инструмента, применяют транспортные системы с накопителями. Это необходимо для сокращения простоев линии (в случае выхода из строя отдельных станков). Для по-

вышения имеющейся в лотках емкости применяют башенные спиральные магазины-накопители (рис. 93, в), позволяющие на маленькой площади накапливать большое количество зубчатых колес.

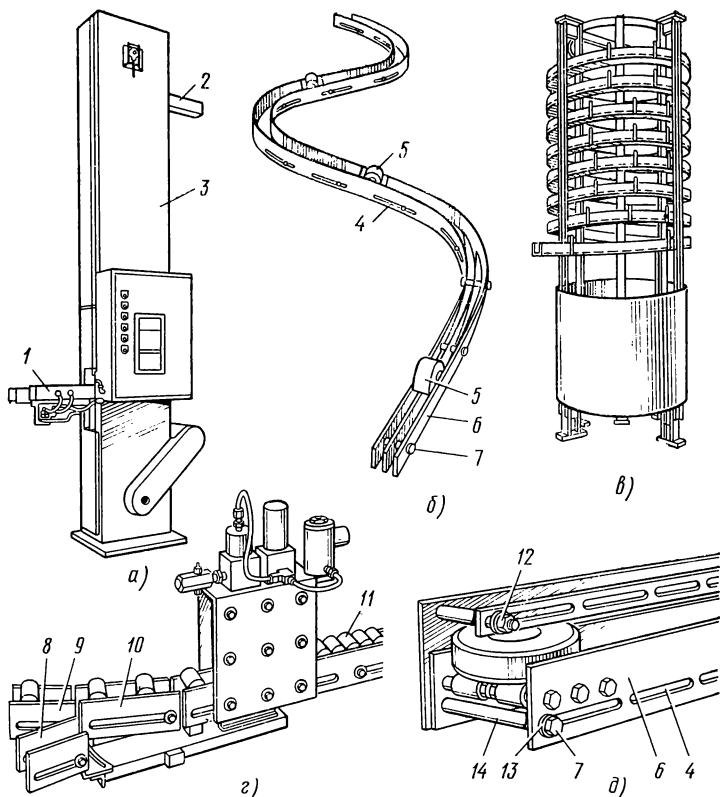


Рис. 93. Гравитационные транспортные средства:
 а — подъемник, б и д — лоток, в — магазин-накопитель, г — транспортер-распределитель

Для распределения потока зубчатых колес между станками или местами сборки служат транспортеры-распределители (рис. 93, г). С помощью переключаемой (в определенные промежутки времени) стрелки 10 поток зубчатых колес 11 распределяется поровну между лотками 9 и 8.

Ритмопитатели предназначены для подачи деталей к станкам с заранее заданным ритмом. Кантователи поворачивают детали на 90° или 180° , соответственно ориентируя их относительно рабочих органов станка.

§ 3. Автоматизация зубошевинговальных станков

В настоящее время в результате разработки новых методов шевингования, совершенствования конструкции станков и режущего инструмента, повышения режимов резания производительность шевингования значительно увеличилась. Чтобы более полно использовать возможности зубошевинговальных станков, их загрузку и разгрузку производят с помощью автооператоров — механизмов, осуществляющих загрузку и ориентирование заготовок в зоне обработки и съем обработанных деталей.

На рис. 94, б показан автооператор качающегося типа, применяемый для автоматизации шевинговальных станков при обработке зубчатых колес-дисков. Автооператор удобен в обслуживании и легко устанавливается на станок. Загрузка и съем обработанных деталей производятся с передней стороны станка:

Цикл загрузки — разгрузки заготовок непрерывно повторяется, время цикла около 2 с. Когда правая бабка станка отведена, качающийся питатель *б* захватами *з* перемещает зубчатое колесо *2* с конца лотка *1* в рабочую позицию *5*, вводя колесо в зацепление с шевером *4*. Перемещение питателя производится пневмоцилиндром *7*. Затем правая бабка зажимает зубчатое колесо, питатель возвращается к лотку, захватывает другую заготовку и начинается процесс шевингования. Когда шевингование закончено, правая бабка отводится и зубчатое колесо скатывается по лотку.

Магазин, подающий зубчатые колеса к автооператору, может быть оснащен парой контрольных зубчатых колес, через которые проходят зубчатые колеса, предназначенные для шевингования; в результате чего некачественно обработанные колеса не смогут пройти к автооператору.

Автооператор, применяемый при шевинговании колес-валов (рис. 94, а), состоит из цепного магазина (шагового типа) *1*, который установлен на столе шевинговального станка *5*. Емкость магазина 9—13 колес. Детали *з*, устанавливаемые в магазин оператором, перемещаются в рабочую зону в держателях *2*. Для устране-

ния возможности повреждения шевера 4 при входе в зацепление с обрабатываемым колесом 3 магазин снабжен пружиной 6. Во время закрепления колеса-вала и последующего его шевингования оно располагается по центру держателя 2. После окончания шевингования колеса транспортируются из зоны обработки и подаются в лоток 7 с собачками 8, предохраняющими готовые детали от повреждений и забоин. Время загрузки, включая зажим колеса-вала в приспособление, около 6 с.

Зубошевинговальный полуавтомат мод. АВС-02В-1774 (рис. 95), созданный на базе зубошевинговального стан-

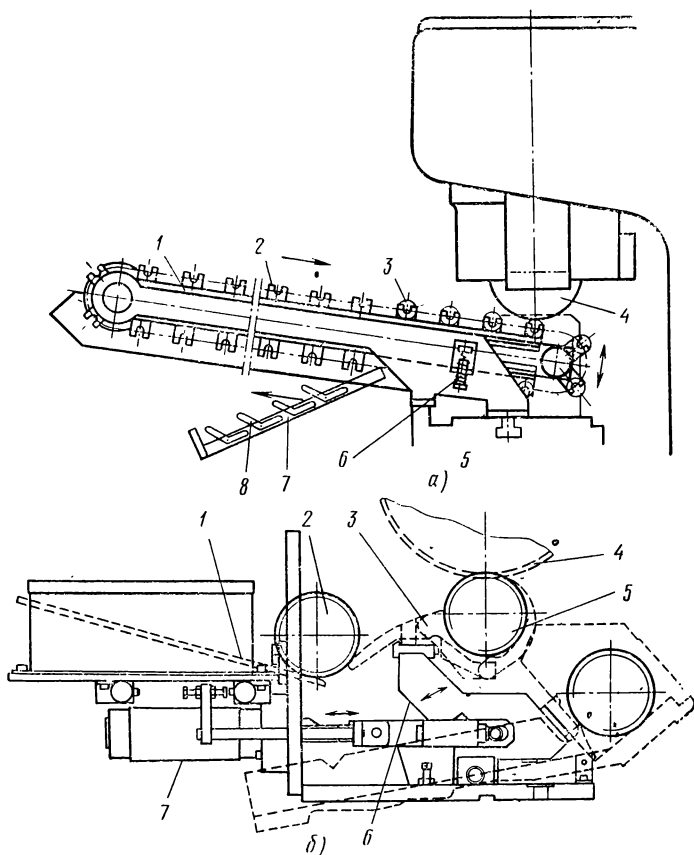


Рис. 94. Автооператоры:
 а — для колес-валов, б — для колес-дисков

ка мод. 5702 и предназначенный для обработки зубчатых колес-дисков и колес-валов, оснащен автоматическим загрузочным устройством, состоящим из магазина 1 и автооператора 4. Магазин выполнен в виде диска (с вертикальной осью), на котором закреплены держатели 2 заготовок. Емкость магазина 12—24 заготовки.

Поворотный автооператор (рычажного типа) предназначен для загрузки заготовок в зону обработки и выгрузки шевингованных колес в магазин. Заготовка подается из магазина с помощью подъемника 3 в захват 5, который подает ее в зону обработки и вводит в зацепление с шевером 7. После закрепления заготовки 6 в бабках станка автооператор отводится из зоны обработки.

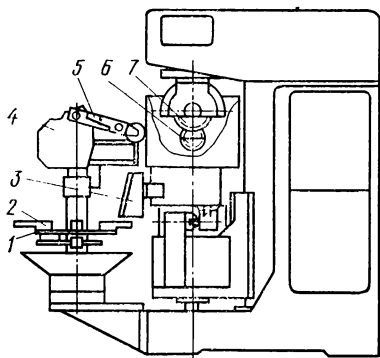


Рис. 95. Зубошевинговальный автомат мод. АВС-02В-1774

По окончании цикла шевингования автооператор входит в зону обработки,

забирает шевингованное колесо и укладывает его на подъемник магазина. Подъемник опускает зубчатое колесо в держатель, из которого была выдана заготовка. Диск магазина поворачивается в следующую позицию, и цикл загрузки — разгрузки повторяется.

§ 4. Короткие и комплексные автоматические линии

Наряду с автоматизацией отдельных зуборезных станков широкое распространение получили короткие автоматические линии, состоящие из нескольких станков-автоматов, соединенных между собой межоперационным транспортом, автооператоров, подъемников, магазинов-накопителей и т. д. Короткие автоматические линии, предназначенные для обработки зубьев цилиндрических колес, включают станки зубофрезерные, зубодолбежные, зубошевинговальные, для снятия фасок и др. Обычно такие автоматические линии состоят из двух — шести стан-

ков-автоматов и за короткий промежуток времени могут быть переналажены на другую деталь аналогичного типа, что позволяет эффективно использовать их как в массовом, так и в серийном производстве.

На рис. 96, *а* показана короткая автоматическая линия для обработки зубьев колес-дисков. Линия имеет зубофрезерный 3, зубофасочный 7 и зубошевинговальный 9 станки-автоматы, соединенные цепным транспортером 8, по которому свободно перемещаются зубчатые колеса. Транспортер одновременно служит и магазином-накопителем.

Установку зубчатых колес с транспортера на станки и обратно производят с помощью автооператоров 6 универсального типа. Автооператор, состоящий из стойки 1, салазок 4 и поворотной головки 2, может производить загрузку и выгрузку зубчатых колес диаметром 25—120 мм, длиной до 400 мм и массой до 5 кг. Время загрузки — выгрузки около 6 с.

Так как зубофрезерование производят пакетом (по два колеса), то для разделения зубчатых колес и дальнейшего их транспортирования по одному колесу служит делительное устройство 10. Каждый станок-автомат управляется автономно с помощью пульта 5.

Короткая автоматическая линия для обработки колес валов показана на рис. 96, *б*. Заготовки зубчатых колес вручную устанавливаются в магазин-накопитель 7, откуда они с помощью автоматического загрузочного устройства 6 поступают в цепной транспортер 5 шагового типа. Цепной транспортер проходит через зону обработки, что значительно облегчает автооператорам загрузку и разгрузку зубофрезерных 4 и 3, зубофасочного 2 и зубошевинговальных 10 и 12 станков.

Транспортирование зубчатых колес между зубофасочным 2 и шевинговальным 12 станками осуществляют гравитационным транспортом. Для сообщения зубчатым колесам потенциальной энергии их поднимают элеваторным подъемником 1 на необходимую высоту, после чего под действием силы тяжести они катятся по лотку 15 в башенный спиральный магазин-накопитель 14.

Магазин-накопитель в течение определенного времени может обеспечить заготовками шевинговальные станки в случае выхода из строя зубофрезерных или зубофасочного станков. Автоматические загрузочные устройства 13 и 9 переключают зубчатые колеса из магазина-накопителя 14 на цепной транспортер 11 и после

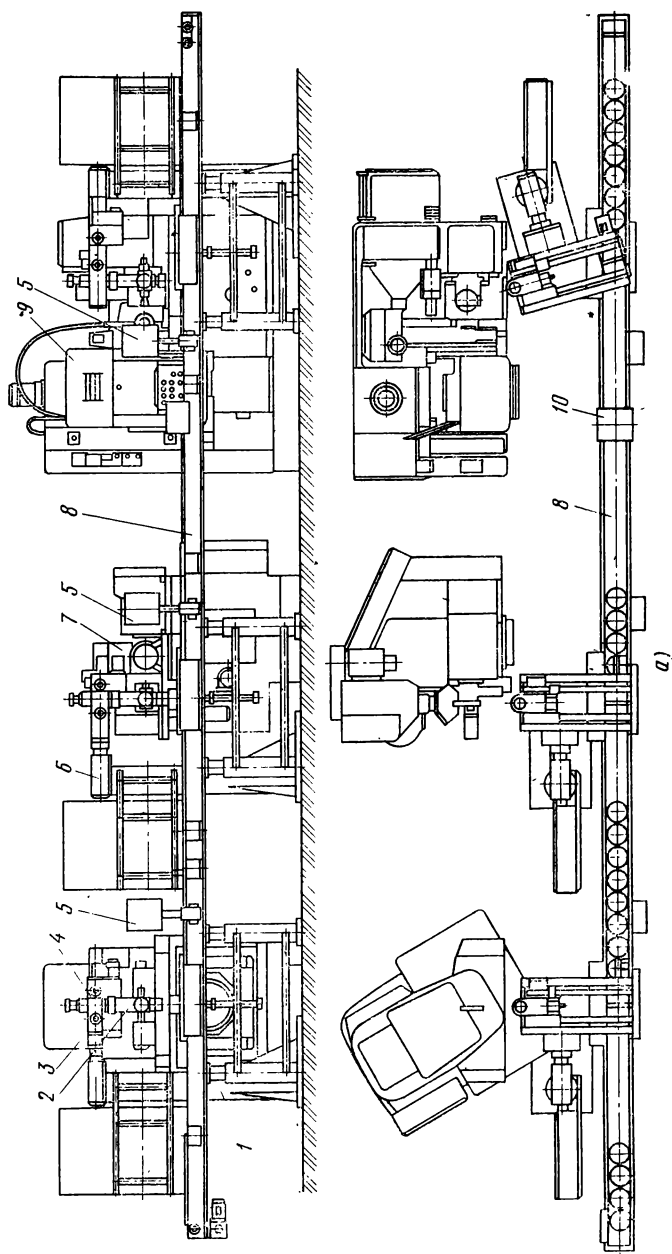


Рис. 96. Короткая автоматическая линия:
 а — для колес-дисков, б — для колес-валов

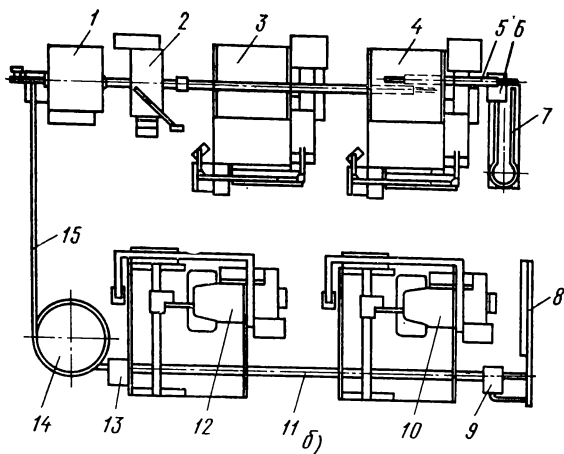


Рис. 96. Продолжение

шевингования зубьев — с транспортера в магазин-накопитель 8.

Наличие нескольких магазинов-накопителей в автоматической линии делает связи между станками более гибкими. Имеется возможность замены инструментов, подналадки станка и проведения мелких ремонтных работ на отдельных позициях без остановки всей линии.

На ряде предприятий массового производства нашли применение комплексные автоматические линии для изготовления зубчатых колес, соединяющие в единый автоматический комплекс станки-автоматы, выполняющие все операции технологического процесса: точение, сверление, шлифование, протягивание, зубофрезерование, зубодолбление, снятие фасок, зубошевингование и др.

Эти линии, показавшие себя надежными и долговечными в работе, обеспечивают высокие точность и качество изготовления зубчатых колес. Так, на КамАЗе при обработке зубчатых колес коробки передач использование комплексных автоматических линий позволило достичь уровня автоматизации производства 92%. Это один из самых высоких показателей автоматизации оборудования для обработки зубчатых колес в мировой практике.

§ 5. Применение промышленных роботов при зубообработке

Эффективным решением задач механизации и автоматизации зубообрабатывающих операций является использование промышленных роботов (ПР) различного назначения, заменяющих человека при работе во вредных и опасных условиях, освобождающих его от выполнения тяжелого, утомительного, монотонного ручного труда. ПР позволяют более полно использовать технологическое оборудование, повысить производительность труда.

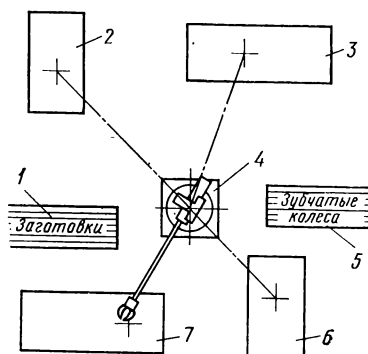
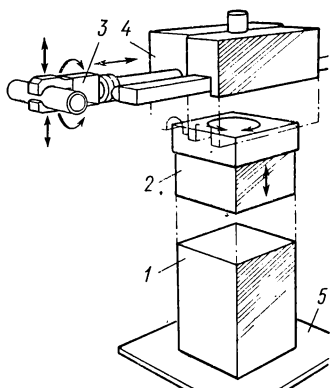


Рис. 97. Промышленный робот

Рис. 98. Схема обслуживания ПР четырех станков

На рис. 97 представлен ПР, применяемый для автоматической загрузки и выгрузки заготовок зубчатых колес на механообрабатывающее оборудование, в том числе зубообрабатывающее. ПР перемещает заготовки колес-дисков (диаметром до 300 мм) и колес-валов (длиной до 600 мм) массой 15—20 кг.

ПР состоит из станины 1, поворотно-подъемного механизма 2, захвата 3 и головки 4. Четырехугольная станина ПР, установленная на массивной плите 5, имеет возможность изменять свою высоту от 500 до 900 мм. Управление ПР — электрогидравлическое, со следящей системой.

Схема обслуживания ПР четырех механообрабатывающих станков показана на рис. 98. ПР 4 берет заготовку зубчатого колеса в магазине-накопителе 1 и уста-

навливает ее на станок 2, а затем на станки 3, 7 и 6. После обработки на станке 6 ПР кладет обработанное зубчатое колесо в магазин-накопитель 5.

Контрольные вопросы

1. Что называют механизацией и автоматизацией технологических процессов?
2. В чем преимущества механизации и автоматизации технологических процессов?
3. Какие вам известны механизмы, применяемые для межстаночного транспортирования деталей?
4. Какие механизмы называют автооператорами и где они применяются?
5. В чем основные различия между короткой и комплексной автоматическими линиями?
6. Где находят применение промышленные роботы?

ГЛАВА VIII. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

§ 1. Основные положения стандарта на зубчатые колеса

В соответствии с требованиями производства развитие приборов для контроля зубчатых колес осуществляется в следующих направлениях.

1. Повышение точности измерения.
2. Сокращение времени, затрачиваемого на измерение и оценку полученных результатов.
3. Использование электроники для автоматического управления и анализа результатов измерения.
4. Встраивание контрольно-измерительных приборов непосредственно в металлорежущие станки, особенно при обработке крупномодульных зубчатых колес.
5. Создание многофункциональных приборов-автоматов для контроля всех основных параметров зубчатого зацепления за одну установку заготовки.
6. Создание автоматических линий для контроля зубчатых колес.

Для обеспечения взаимозаменяемости и надежной работы цилиндрических зубчатых передач погрешности их изготовления ограничены допусками, которые установлены ГОСТ 1643—81. Стандарт распространяется на окончательно изготовленные цилиндрические прямозубые и косозубые зубчатые колеса с внешним и внутренним зацеплением. Точность зубчатых передач разделена на 12 степеней. Первые номера имеют более точные

Таблица 23

Нормы	Комплексы контроля	Обозначения	Степень точности	Наибольший диаметр колеса, мм	Основные модели приборов
Кинематической точности	Наибольшая кинематическая погрешность колеса	F'_{ir}	3—8	1000	БВ-5058 БВ-5030
	Накопленная погрешность окружного шага колеса	F_{pr}	7—8	6300	БВ-5056 БВ-5059
	Радиальное биение зубчатого венца	F_{rr}	9—12	6300	Б-10М
	Колебание длины общей нормали	F_{pwr}	3—8	1600	БВ-5045, БВ-5047
	Колебание измерительного межосевого расстояния на оборот колеса	F''_{ir}	9—12	1000	МЦ-320М МЦ-400Б
Плавности работы	Циклическая погрешность колеса	f_{zkr}	3—8	6300	БВ-5024
	Погрешность профиля зуба	f_{fr}	3—8	1000	БВ-1089
	Отклонение шага зацепления (основной шаг)	f_{pbr}	3—8	1000	БВ-5043
	Отклонение шага (окружной шаг)	f_{ptr}	9—12	6300	БВ-5043
	Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе	f''_{ir}	9—12	1000	МЦ-320М МЦ-400Б
Контакта зубьев	Погрешность направления зубьев	$F_{\beta r}$	3—12	630	БВ-5034
	Суммарная погрешность контактной линии	F_{kr}	3—12	630	Контрольно-обкатной станок мод. 5798
Бокового зазора	Боковой зазор	j_n	—	—	Контрольно-обкатной станок мод. 5798
	Отклонение толщины зуба	E_{cr}	—	—	Штанген-зубомер ШЗ-18 БВ-5016К

колеса. Для самых высоких степеней точности — 1-й и 2-й допуски пока не разработаны.

Стандартом установлено три нормы точности: кинематической, плавности работы и контакта зубьев. Установлено шесть видов сопряжений, определяющих наименьший боковой зазор в передаче. Виды сопряжений бокового зазора обозначены буквами *A, B, C, D, E, H*. Боковой зазор и допуск на него уменьшаются от *A* к *H*.

Каждая норма точности (кинематическая, плавности хода и пятна контакта), а также сопряжение по боковому зазору имеют несколько контрольных комплексов (табл. 23), которые являются равноправными. Завод-изготовитель зубчатых колес имеет право выбирать и комбинировать (с определенными ограничениями) указанные комплексы. При выборе контролируемых параметров необходимо учитывать условия работы передачи, требуемую точность, наличие измерительных средств, габариты колес и т. д.

§ 2. Технологические методы контроля

Высокое качество зубчатых колес формируется на протяжении всего технологического цикла изготовления, начиная с обработки заготовки, зубьев и кончая отделочными операциями и сборкой. Требуемая точность зубчатого колеса может быть достигнута при условии применения правильных методов и средств контроля, а также систематического контроля на всех ответственных операциях технологического процесса. Контроль качества изготовления зубчатых колес необходим как часть производственного процесса.

Для определения основных погрешностей в зубчатом зацеплении в процессе изготовления обычно применяют три этапа контроля: производственный, лабораторный и окончательный (приемочный).

Производственный контроль осуществляется рабочим и наладчиком непосредственно на участке изготовления зубчатых колес с помощью быстродействующих приспособлений. Контролер производит выборочную проверку.

Первым этапом является контроль базовых поверхностей заготовки. Посадочное отверстие и шейки должны иметь точные размеры, а опорные торцы должны располагаться перпендикулярно оси заготовки. Базовые по-

верхности заготовки перед зубообработкой обычно проходят 100%-ный контроль.

После зубофрезерования или зубодолбления на приспособлении, производящем плотное двухпрофильное зацепление обработанного колеса с измерительным колесом, проверяют: колебание измерительного межосевого расстояния (ИМР) за оборот колеса и на одном зубе; размер зубьев и припуск под шевингование. Шероховатость поверхности проверяют визуально. Контролируют два первых зубчатых колеса с каждого станка в следующем режиме: в начале рабочей смены; после замены инструмента; после подналадки станка; через каждые 1—2 ч работы станка.

После шевингования, кроме размера зубьев и колебания ИМР за оборот и на одном зубе, дополнительно контролируют шероховатость поверхности зубьев. При появлении признаков затупления шевера, характеризующихся возникновением на поверхности зубьев колеса царапин и неровностей, контроль шероховатости поверхности и формы профиля необходимо производить чаще.

Лабораторный контроль предназначен для определения погрешностей отдельных параметров зубчатого зацепления, с тем чтобы более точно оценить качество зубчатого колеса и технологический процесс. Контроль осуществляется контролером с помощью приборов, установленных в специальном помещении (рядом с зуборезным участком), защищенном от шума и вибраций. Интервалы и параметры измерения обычно выбирает завод-изготовитель в зависимости от назначения зубчатых колес и требуемого качества.

Окончательный (приемочный) контроль зубчатых колес осуществляется после их полной обработки. Контроль должен производиться квалифицированно и ответственно, так как качество зубчатого колеса на этом этапе определяет срок службы передачи в рабочем агрегате. Проверяемые параметры при окончательном контроле обычно определяет завод—изготовитель зубчатых колес в зависимости от условий их эксплуатации. Технические условия указываются в рабочем чертеже. Основные параметры зубчатого колеса проходят 100%-ный контроль.

§ 3. Контроль показателей кинематической точности

Наибольшая кинематическая погрешность колеса F'_{ir} определяется на специальных приборах однопрофильного контроля при непрерывном обкате контролируемого колеса с точным измерительным колесом при постоянном межосевом расстоянии в однопрофильном зацеплении под небольшой нагрузкой. Кинематическая погреш-

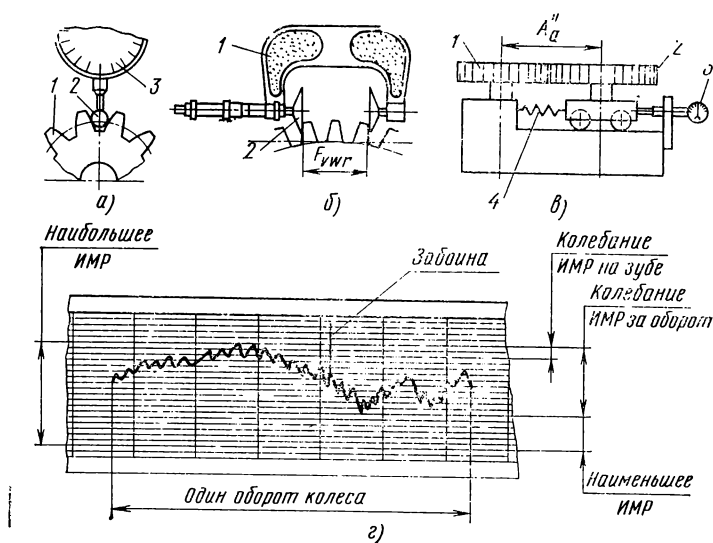


Рис. 99. Схемы измерения показателя кинематической точности:

а — радиального биения, б — колебания длины общей нормали, в и г — колебания измерительного межосевого расстояния

ность колеса представляет собой разность между действительным углом поворота проверяемого колеса и расчетным углом поворота измерительного колеса за один оборот. Разница в угле поворота вызывает неравномерное вращение — замедление или ускорение вращения проверяемого колеса за один его полный оборот.

На приборах для комплексного однопрофильного контроля измеряют суммарные погрешности, имеющиеся в зубчатом колесе (погрешности профиля, направления зуба, ошибки шага, радиальное биение и др.) и оказывающие влияние на его качество.

В настоящее время создано большое число приборов для однопрофильного контроля, которые применяют главным образом для контроля зубчатых колес высокой точности и зубчатых передач специального назначения.

Накопленная погрешность окружного шага колеса F_{pr} цилиндрических зубчатых колес определяется по результатам измерения окружного шага по всей окружности колеса или путем автоматического измерения и записи диаграммы, из которой определяется накопленная погрешность шага.

Радиальное биение зубчатого венца F_{rr} проверяют на специальных приборах (биенмерах) или универсальным способом. Проверяемое колесо на оправке устанавливают между центрами прибора. Измерительный шариковый наконечник 2 поочередно вводят в каждую впадину зубчатого венца 1 (рис. 99, а). Результаты измерения фиксируются индикатором 3. Радиальное биение зубчатого венца колеса относительно оси определяется как разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора.

Радиальное биение зубчатого венца можно проверить универсальным способом при установке колеса на оправке в центрах. Во впадину зуба закладывают ролик, контактирующий с измерительным наконечником индикатора. Ролик последовательно вводят в каждую впадину зуба и по разности показаний индикатора определяют биение зубчатого венца.

Контроль колебания длины F_{vwr} общей нормали производят микрометром 1 с двумя параллельными тарельчатыми измерительными поверхностями 2 (рис. 99, б) или нормалемерами. Одновременно измеряют несколько зубьев. Колебание длины общей нормали определяется как разность между наибольшей и наименьшей длинами общей нормали в пределах одного колеса.

Колебание F''_{ir} измерительного межосевого расстояния за оборот колеса контролируют на приборе комплексного двухпрофильного контроля, схема которого показана на рис. 99, в. Проверяемое колесо 1 находится в плотном двухпрофильном зацеплении с измерительным колесом 2 под небольшим давлением пружины 4. При взаимном обкате вследствие погрешностей (профиля, шага, толщины зуба, радиального биения и т. д.) проверяемого колеса происходит изменение межосевого расстояния A_a'' , которое фиксируется индикатором 3. Если приспособление снабжено записывающим устройством, то ре-

зультаты измерения записываются на график (рис. 99, *г*). Разность между наибольшим и наименьшим межосевыми расстояниями при повороте контролируемого колеса на целый оборот характеризует колебание измерительного межосевого расстояния за оборот.

§ 4. Контроль показателей плавности работы

Циклическая погрешность f_{zhr} колеса — составляющая кинематической погрешности колеса, многократно повторяющаяся за его оборот. Основным источником образования циклической погрешности является неточность червяка делительной передачи станка и профиля сопряженного червячного колеса в кинематической цепи стола зубофрезерного станка, которые проявляются за каждый оборот червяка. Циклическая погрешность вызывает появление волнистости по профилю и направлению зуба, которая измеряется волномером.

Для проверки эвольвентного профиля f_{fr} зубьев применяют эвольвентомеры трех типов: со сменными дисками обката; универсальные; комбинированные (для контроля эвольвенты и направления зуба).

Эвольвентомеры со сменным диском обката, диаметр которого равен диаметру основной окружности проверяемого колеса, просты в изготовлении и надежны в работе. Их можно использовать не только в лаборатории, но и для систематического контроля зубчатых колес в цеховых условиях.

Преимущество универсального эвольвентомера по сравнению с рассмотренным состоит в том, что при проверке эвольвентного профиля не требуется обкатного диска. Эти приборы используются для измерения в лабораторных условиях и при измерении небольших партий колес.

В последнее время нашли широкое применение комбинированные приборы (рис. 100, *а*), на которых за одну установку зубчатого колеса последовательно можно контролировать: эвольвентный профиль; направление зуба; шаг и шероховатость поверхности на профиле зубьев. Колесо 2 устанавливается на одной оправке с обкатным диском 1, диаметр которого равен диаметру основной окружности проверяемого колеса. При перемещении линейки 4 находящийся с ней в контакте диск 1 будет вращаться вместе с колесом 2. На каретке (с линейкой 4) установлен измерительный наконечник 3, связанный с

самописцем. Если эвольвентный профиль зуба теоретически правильный, то самописец прочертит на графике прямую линию. Когда профиль зуба имеет отклонения от эвольвенты, то эти погрешности будут отмечены на графике. Обычно эвольвентный профиль проверяют на четырех зубьях, расположенных друг от друга примерно на 90° .

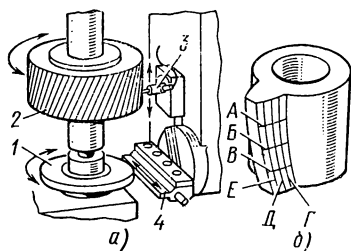


Рис. 100. Схемы измерения профиля и направления зуба

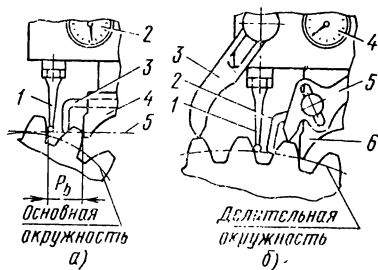


Рис. 101. Схемы измерения шага зубьев:

a — основного, *б* — окружного

Чтобы получить более полное представление о качестве эвольвентного профиля зуба, рекомендуется вести контроль по обеим сторонам зуба в нескольких сечениях *A*, *B* и *B* (рис. 100, б).

Отклонение f_{pbr} шага зацепления (основной шаг) — наибольшее отклонение от кратчайшего расстояния между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум соседним одноименным профилям зубьев. Измерение шага зацепления производят шагомером станкового или накладного типа. Перед измерением шагомер устанавливают на размер, равный теоретическому основному шагу на основной окружности.

По стандарту контролируется разность между действительным и номинальным шагами зацепления, т. е. определяют действительное отклонение основного шага колеса от теоретического (номинального).

На рис. 101, *a* приведена схема измерения шагомером. Подвижный *1* и неподвижный *4* наконечники касаются одноименных профилей двух зубьев колеса. Смещение наконечника *1* передается на индикатор *2*. Наконечник *3* служит для ориентации прибора. При измерении шагомер поворачивают и находят минимальные по-

казания индикатора. В этом положении точка контакта будет лежать на линии зацепления 5 и показывать расстояние, равное основному шагу.

Отклонение шага f_{ptr} (окружной шаг) определяется как наибольшая разность между двумя соседними окружными шагами. Индикатор устанавливают на нуль по первой паре зубьев, отсчеты на последних парах зубьев являются относительными к первому отсчету. Схема измерения приведена на рис. 101, б. Подвижный 1 и неподвижный 6 наконечники касаются одноименных профилей соседних зубьев в точках, близких к делительной окружности. Подвижный наконечник 1 связан с индикатором 4, который фиксирует отклонения от первоначальной установки. Наконечники 3 и 5 опираются на головки зубьев по окружности выступов, а наконечник 2 контактирует с боковой поверхностью зуба. Эти наконечники ориентируют зубчатое колесо при измерении. Размер окружных шагов от зуба к зубу измеряют по всей окружности колеса. По данным измерения разности окружных шагов можно определить накопленную погрешность окружного шага.

Колебание f_{ir} измерительного межосевого расстояния на одном зубе измеряется на приборах для комплексного двухпрофильного контроля (см. рис. 99, в) при взаимной обкатке в плотном зацеплении проверяемого колеса с измерительным колесом при повороте проверяемого колеса на один зуб. Измерения производят в нескольких положениях; учитывается наибольшее отклонение.

§ 5. Контроль показателей контакта зубьев

Погрешность F_{br} направления зуба проверяют на приборах-ходомерах или комбинированных приборах для измерения эвольвентного профиля и направления зуба (см. рис. 100, а). При измерении направления зуба одновременно с вращением проверяемого колеса 2 измерительный наконечник 3 с кареткой перемещается вдоль оси колеса. Взаимосвязь между вращением и вертикальным перемещением измерительного угла определяется углом наклона линии зуба. При перемещении измерительный наконечник, контактируя с профилем зуба, воспроизводит действительную винтовую линию, которая сравнивается с теоретической винтовой линией колеса.

Погрешности направления линии зуба обычно проверяют в середине высоты зуба колеса на четырех равнорасположенных по окружности зубьях с обеих сторон.

Когда необходимо иметь данные о погрешностях в направлении зуба по всей боковой поверхности зуба, например определение деформации зубьев в процессе термической обработки, то измерения производят в трех положениях по высоте зуба Г, Д и Е (см. рис. 100, б).

Контроль пятна контакта на зубьях контролируемого колеса осуществляется его обкаткой в паре с сопряженным или измерительным колесом на контрольно-обкатном станке при номинальном межосевом расстоянии.



Рис. 102. Боковой зазор между зубьями

Для выявления пятна контакта боковые поверхности зубьев одного или обоих колес покрывают тонким ровным слоем краски (сурик с маслом). После непродолжительного обката в обоих направлениях при небольшом торможении определяют форму и расположение

пятна контакта на зубьях проверяемого колеса.

Пятно контакта должно располагаться в центре, одинаково на всех зубьях с отрывом по длине и высоте профиля (см. табл. 18). Для нагруженных передач длину пятна контакта выбирают короче, чем для малонагруженных. Расположение пятна контакта на кромках зубьев вызывает повышенный шум и сокращает срок службы передачи.

§ 6. Контроль показателей бокового зазора в передаче

Боковой зазор j_n — наименьшее расстояние по нормали между нерабочими профилями зубьев двух сопряженных колес при номинальном межосевом расстоянии (рис. 102). Контроль бокового зазора между зубьями двух сопряженных колес производят на контрольно-обкатном станке (при номинальном межосевом расстоянии) с помощью индикатора.

Измерительный наконечник индикатора устанавливают перпендикулярно поверхности зуба. Покачивая колесо в пределах зазора при неподвижном сопряженном колесе, по индикатору определяют величину бокового зазора. Измерение производят на четырех одинаково расположенных по окружности зубьях. Разница между наименьшим и наибольшим значениями будет соответствовать колебанию бокового зазора в передаче.

Толщина E_{cr} зуба измеряется различными методами. Наиболее распространенным прибором для ее измерения является штангензубомер (рис. 103).

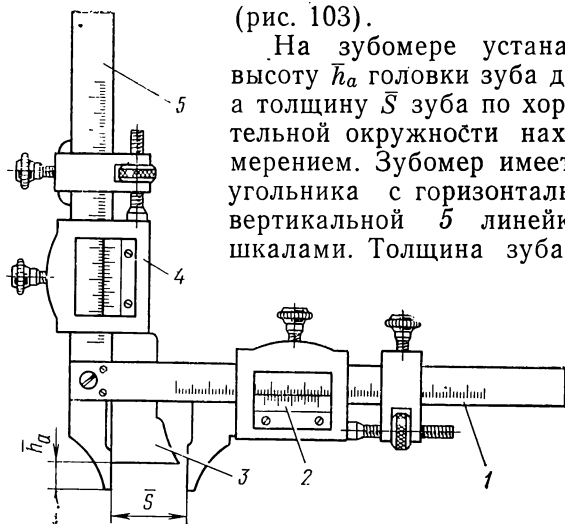


Рис. 103. Штангензубомер

Высота h_a головки зуба до хорды, а толщину S зуба по хорде делительной окружности находят измерением. Зубомер имеет форму угольника с горизонтальной 1 и вертикальной 5 линейками со шкалами. Толщина зуба определяется по шкале и нониусу 2 горизонтальной линейки. Высота зуба устанавливается по шкале и нониусу 4 вертикальной линейки. При измерении подвижная планка 3 контактирует с внешней окружностью колеса.

Контрольные вопросы

1. Сколько степеней точности изготовления зубчатых колес установлено в стандарте?
2. Какие нормы точности установлены в стандарте?
3. Что представляет собой контрольный комплекс для цилиндрических зубчатых колес?
4. Какие технологические методы контроля известны вам?

ГЛАВА IX. БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА, ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ И ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

§ 1. Безопасность труда

Требования по безопасности труда предусматривают меры предупреждения травматизма и несчастных случаев на производстве. Каждый рабочий, работающий на зу-

бошевинговальных и других типах станков, должен хорошо знать и строго соблюдать требования безопасности труда, а администрация предприятия должна создать нормальные условия труда и обеспечить рабочие места всем необходимым для безопасного ведения работ.

К выполнению работ на зубошевинговальных и других типах станков допускаются рабочие, прошедшие медицинское освидетельствование и получившие инструктаж по безопасным методам работы непосредственно на рабочем месте. Инструктаж по безопасности труда должен проводиться не реже 2 раз в год.

Выполнение требований по безопасности труда систематически контролируется инженером по безопасности труда и администрацией предприятия. Лица, не выполняющие инструкцию, привлекаются к ответственности согласно правилам трудового распорядка предприятия. Находясь на территории предприятия (во дворе, в здании, на подъездных и проезжих путях), необходимо выполнять следующие общие правила.

1. Быть внимательным к сигналам, подаваемым крановщиками работающих электрокранов, машинистами движущихся электровозов, водителями электрокаров и других видов транспорта.

2. Не находиться и не проходить под поднятым грузом.

3. Не проходить в местах, запрещенных для прохода, не подлезать под стоящий железнодорожный состав, не перебегать перед близко движущимся транспортом.

4. Не переходить в неустановленных местах через конвейеры и рольганги.

5. Не разрешается включать и останавливать (кроме аварийных случаев) машины, станки и механизмы рабочим, которым не поручено на них работать.

6. Заметив нарушение правил безопасности труда другим рабочим или рабочими, необходимо предупредить мастера или представителя администрации предприятия.

Перед началом работы на станке:

1. Приведите в порядок рабочую одежду, застегните рукава или засучите их, заправьте одежду так, чтобы не было свисающих концов, уберите волосы под плотно облегающий головной убор. На забинтованный палец наденьте резиновый напальчник. Работать в легкой обуви (тапочках, босоножках и т. п.) запрещается.

2. Приняв станок от сменщика, убедитесь в том, хорошо ли убраны станок и рабочее место, ознакомьтесь с

неполадками в работе станка, имевшимися в предыдущей смене, и с принятыми мерами.

3. Приступая к работе, убедитесь в том, что:

а) ограждение зубчатых колес, приводных ремней, шевинговальной головки, предохранительных устройств для защиты от стружки, охлаждающей жидкости находятся в исправности, имеют достаточно прочное крепление и уплотнение;

б) исправны транспортер и тара для уборки стружки, системы смазки и охлаждения станка; количество масла и смазочно-охлаждающей жидкости достаточно для обеспечения бесперебойной работы станка;

в) режущий инструмент (шевер) не затуплен и оправка (шпиндель) для закрепления инструмента находится в исправности;

г) исправен измерительный и вспомогательный инструмент и разложен или установлен для пользования в определенном порядке;

д) зажимное приспособление исправно и надежно закрепляет деталь;

е) при работе на вспомогательном и рабочем ходу в механизмах и движущихся частях станка нет посторонних шумов, стуков и других дефектов.

4. Отрегулируйте местное освещение станка так, чтобы рабочая зона была достаточно освещена и свет не слепил глаза.

5. Проверьте исправность грузоподъемных машин или съемных грузозахватных приспособлений, необходимых для работы.

6. Проверьте исправность подножной деревянной решетки, ее устойчивость и отсутствие поломанных планок.

7. О неисправности станка немедленно заявите мастеру и до устранения неисправности к работе не приступайте. Работать на неисправном и не имеющем необходимых ограждений станке запрещается.

Во время работы на станке:

1. Выполняйте только ту работу, которая поручена вам мастером.

2. Установку и снятие деталей массой более 20 кг производите только подъемными средствами.

3. При установке и снятии деталей с помощью грузоподъемной машины, управляемой с пола, строго соблюдайте инструкцию по работе на этой машине.

4. Шланг, подводящий смазочно-охлаждающую жидкость, установите так, чтобы исключить соприкосновение

его с режущим инструментом и движущимися частями станка. Не допускайте разбрызгивания смазочно-охлаждающей жидкости на пол.

5. Применяйте на станке смазочно-охлаждающую жидкость, только указанную в инструкции, вывешенной на рабочем месте. Регулярно производите смену и долив смазочно-охлаждающей жидкости согласно инструкции по эксплуатации станка.

6. При обработке деталей применяйте режимы резания, предусмотренные в технологической карте.

7. Надежно и прочно закрепляйте на станке обрабатываемую деталь и режущий инструмент.

8. При наличии съемной оправки, предназначенной для закрепления обрабатываемых деталей, на станке или около станка должна быть жестко смонтирована специальная подставка для установки на нее оправки с деталью и закрепления детали гайкой.

9. При работе с безоправочными зажимными приспособлениями устанавливайте деталь на специальную подставку, ориентируя ее относительно центрального пальца и зубьев шевера. При включении пневмо- и гидрозажима не поддерживайте деталь рукой.

10. Уложите поданные на обработку и обработанные детали аккуратно без повреждения зубьев и базовых поверхностей в специальную тару или в штабеля высотой, не превышающей 1 м, не загромождая при этом рабочего места и проходов.

11. Включение станка производите только после надежного закрепления детали и закрытия специальными щитками рабочей зоны.

12. Во время работы станка, особенно зубошевинговального, запрещается открывать и снимать защитные и предохранительные средства.

13. Перед каждым включением станка предварительно убедитесь в том, что пуск станка никому не угрожает.

14. Остановите станок и выключите электродвигатель при:

- а) уходе с рабочего места даже на короткое время, если это не связано с многостаночным обслуживанием;
- б) временном прекращении работы;
- в) перерыве в подаче электроэнергии;
- г) установке и съеме деталей и инструмента;
- д) смазке, уборке и чистке станка;
- е) обнаружении какой-либо неисправности в оборудовании.

15. При уборке, чистке, смазке, наладке станка вывешивайте на лусковых устройствах плакат «Не включать — работают люди».

16. Не укладывайте детали, инструмент, ветошь и пр. на станину станка.

17. Не удаляйте стружку со станка непосредственно рукой или сжатым воздухом, пользуйтесь специальными крючками, скребками, щетками-сметками. Требуйте своевременного удаления стружки от станка.

18. Работая с подручным или учеником, обучайте его безопасным приемам работы и следите за их выполнением.

19. Не мойте руки в масле, эмульсии, керосине и пр. и не вытирайте их концами, загрязненными маслом и стружкой.

По окончании работы станка:

1. Отведите в исходное положение режущий инструмент. Все рукоятки приведите в нерабочее положение и выключите двигатель станка.

2. Приведите в порядок рабочее место: уберите измерительный и вспомогательный инструмент в отведенное для него место, очистите станок от стружки, аккуратно сложите обработанные детали и заготовки, смажьте трущиеся части станка маслом.

3. Сдайте станок своему сменщику или мастеру и сообщите обо всех имеющихся неполадках в работе станка и о принятых мерах.

§ 2. Электробезопасность

Неисправность в электрооборудовании и электроаппаратуре, поврежденная электропроводка представляют большую опасность для жизни рабочего. Для предотвращения поражения электрическим током при работе на станке необходимо выполнять следующие требования.

1. Токоведущие средства должны быть надежно изолированы и закрыты, а электродвигатели станка заземлены.

2. Не прикасайтесь к электродвигателю, зажимам и электропроводам, арматуре общего освещения и не открывайте двери электрошкафов.

3. Плавкие вставки предохранителей и тепловых реле должны соответствовать указаниям в таблице.

4. При обнаружении на металлических частях станка напряжения (ощущение электрического тока), работы

электродвигателя на две фазы (двигатель гудит), обрывая заземляющего провода необходимо остановить станок и сообщить мастеру о неисправности электрооборудования.

5. Электродвигатели и электроаппаратуру необходимо содержать в чистоте. Требуется периодической очистки их от масла, стружки, пыли и грязи.

При поражении электрическим током следует немедленно изолировать пострадавшего от тока. Действовать необходимо осторожно, чтобы не подвергнуться действию тока самому. Если у пострадавшего обморок, то ему необходимо делать искусственное дыхание до тех пор, пока пострадавший не придет в себя.

§ 3. Противопожарные мероприятия

Для предупреждения пожара на предприятии, который наносит значительный материальный ущерб и нередко является причиной несчастных случаев, необходимо строго выполнять правила по противопожарным мероприятиям.

1. Курить на территории предприятия разрешается только в специально отведенных местах.

2. Не загромождайте рабочее место и подходы к средствам пожаротушения ненужными материалами, деталями, стружкой.

3. Не переносите в открытых сосудах легковоспламеняющиеся жидкости. Пролитая на пол легковоспламеняющаяся жидкость должна быть немедленно удалена с помощью песка и влажных опилок.

4. Легковоспламеняющиеся жидкости и обтирочные материалы необходимо хранить в местах, обеспечивающих полную пожарную безопасность. Вблизи этих мест должны быть установлены надписи «огнеопасно» и «курить воспрещается».

5. О сгорании плавких предохранителей электрооборудования станка, неисправности штепсельных соединений, наличии оголенных проводов необходимо немедленно сообщить мастеру.

6. В цехах, на участках, в отделениях и мастерских предприятия должны быть организованы противопожарные посты, укомплектованные средствами пожаротушения: ящиками с сухим песком, пенными и углекислотными огнетушителями, баграми, топорами, лопатами и др.

Причины возникновения пожара на предприятиях металлообрабатывающей промышленности в основном свя-

заны с неосторожностью или халатностью работающих. С целью предупреждения пожаров на предприятиях проводится пожарная профилактика, представляющая комплекс технических и организационных мероприятий.

Пожарная профилактика сводится к организации производственных процессов с соблюдением правил пожарной безопасности, правильной эксплуатации оборудования, правильного монтажа электрооборудования и т. д.

К организационным относятся мероприятия по созданию противопожарных постов, ликвидации очагов загорания и пожаров, эвакуации людей и имущества и т. д.

При возникновении загорания следует отключить станок от электросети, сообщить мастеру и по телефону или специальным сигналом вызвать пожарную команду. До прибытия пожарной команды организовать самостоятельное тушение пожара с использованием средств противопожарных постов, имеющихся на каждом производственном участке.

Некоторые материалы требуют особых правил и способов тушения. Керосин и бензин нельзя тушить водой, так как эти жидкости легче воды и, всплывая на поверхность, будут продолжать гореть. Для их тушения используют плотную ткань, песок. При горении масла необходимо плотно закрыть емкость, в которой оно находится, для прекращения поступления воздуха в очаг горения. Если масло загорелось на полу, то следует закрыть очаг железным листом, засыпать песком или землей.

Контрольные вопросы

1. Какие общие правила безопасности труда необходимо выполнять, находясь на территории предприятия?
2. Какие основные мероприятия безопасности труда должен выполнять рабочий перед началом, во время и после окончания работы на станке?
3. Какие требования по электробезопасности должны быть выполнены при работе на станке?
4. Что необходимо делать при обнаружении загорания на предприятии?

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Принятые обозначения

<p>a_c — коэффициент глубины среза исходного контура</p> <p>a_{cm} — глубина модификации исходного контура</p> <p>a_w — межосевое расстояние</p> <p>b — ширина зубчатого венца</p> <p>c — радиальный зазор</p> <p>C, P — окружной питч</p> <p>d, d_b — диаметр делительной, основной окружности</p> <p>d_a, d_f — диаметр вершин, впадин зубьев</p> <p>D, P — диаметральный питч</p> <p>g — длина линии зацепления</p> <p>h — высота зуба</p> <p>h_a — высота головки зуба до хорды</p> <p>h_a, h_f — высота головки, ножки зуба</p> <p>h_s — глубина захода исходного контура</p> <p>h_c — высота среза исходного контура</p> <p>НВ — твердость по Бринеллю</p> <p>НRC — твердость по Роквеллу</p> <p>j — боковой зазор</p> <p>m — модуль</p> <p>m_0 — модуль шевера</p> <p>m_n, m_t — нормальный, окружной модуль</p> <p>n — частота вращения</p> <p>p — шаг зацепления</p>	<p>$\rho_n, \rho_b,$ ρ_t, ρ_x — нормальный, основной, окружной, осевой шаг</p> <p>ρ_z — шаг винтовой линии</p> <p>$P_z, P_x,$ P_Y — главная, окружная (продольная), радиальная сила резания</p> <p>R — радиус-вектор эвольвенты</p> <p>R_a — среднее арифметическое отклонение высоты неровностей профиля</p> <p>R_z — высота неровностей профиля по десяти точкам</p> <p>r_b — радиус основной окружности</p> <p>r_i — радиус закругления у корня зуба исходного профиля</p> <p>\bar{S} — толщина зуба по хорде делительной окружности</p> <p>S_a — ширина вершины зуба</p> <p>S_n, S_t — нормальная, окружная толщина зуба</p> <p>$s_o, s_m,$ s_p, s_{np} — осевая, минутная, радиальная, продольная подача</p> <p>ΔS — припуск на сторону зуба</p> <p>$t_{шт}, t_o$ — штучное, основное (технологическое) время</p> <p>u — передаточное число</p> <p>ϑ — окружная скорость</p>
--	--

v — скорость резания
 ϑ_0 — окружная скорость шевера
 x — коэффициент смещения исходного контура
 x_n, x_i — коэффициент смещения относительно нормального, торцового модуля
 z — число зубьев
 z_0 — число зубьев шевера
 z_{min} — наименьшее число зубьев колеса, свободное от подрезания
 α — угол зацепления
 α_n — нормальный угол зацепления

β — угол наклона линии зуба
 γ — угол скрещивания осей шевера и колеса
 ε — угол диагонали при шевинговании
 ε_α — коэффициент торцового перекрытия
 ε_β — коэффициент осевого перекрытия
 ε_γ — суммарный коэффициент перекрытия
 θ — угол поворота радиуса-вектора эвольвенты
 ρ — радиус кривизны
 φ — угол развернутости эвольвенты
 ω — угловая скорость

2. Соотношение чисел твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу и Шору

По Бринеллю			По Роквеллу				По Виккерсу HV	По Шору
Диаметр отпечатка при диаметре шарика			HV	HRA	HRC	HRB		
2,5	5,0	10,0						
0,55	1,10	2,20	782	89	72		1220	107
0,57	1,15	2,30	713	85	67		1021	96
0,60	0,20	2,40	652	83	63		867	88
0,63	1,25	2,50	600	81	59		746	81
0,65	1,30	2,60	555	79	56		649	75
0,68	1,35	2,70	512	77	52		587	70
0,70	1,40	2,80	477	76	49		534	66
0,73	1,45	2,90	444	74	47		474	61
0,75	1,49	2,99	418	73	44		435	57
0,78	1,55	3,10	387	71	41		401	53
0,80	1,60	3,20	364	70	39		380	50
0,82	1,65	3,30	340	69	37		344	47
0,85	1,70	3,40	321	68	35		320	45
0,87	1,75	3,50	302	67	33		305	42
0,90	1,80	3,59	286	66	30		285	40
0,93	1,85	3,70	269	65	28		272	38
0,95	1,90	3,80	255	64	26		255	36
0,97	1,95	3,90	241	63	24	100	240	35
1,00	2,00	4,01	228	62	22	98	266	33
1,02	2,05	4,10	217	61	20	97	217	32
1,05	2,10	4,20	207	60	18	95	209	30
1,08	2,15	4,31	196	58		93	197	29
1,10	2,10	4,40	187	187		91	186	28
1,12	2,25	4,49	179	56		88	177	27
1,15	2,30	4,60	170	55		86	171	26
1,17	2,35	4,70	163	53		84	162	25
1,20	2,40	4,80	156	52		82	154	24
1,23	2,45	4,90	149	51		80	149	23

Продолжение табл.

По Бринеллю			По Роквеллу				По Виккерсу HV	По Шору
Диаметр отпечатка при диаметре шарика			HВ	HRA	HRC	HRB		
2,5	5,0	10,0						
1,25	2,50	5,00	143	50		76	144	22
1,27	2,55	5,10	137			75		
1,30	2,60	5,20	131			72		
1,32	2,65	5,30	126			69		
1,35	2,70	5,40	121			67		
1,38	2,75	5,50	116			65		
1,40	2,79	5,59	112			62		
1,43	2,85	5,71	107			59		
1,45	2,90	5,81	103			57		
1,47	2,95	5,90	99			54		
1,50	3,01	6,01	95					
1,58	3,16	6,32	85					
1,67	3,33	6,67	75					

ЛИТЕРАТУРА

Калашников С. Н. и др. Производство зубчатых колес/ Справочник. М., 1975.

Калашников С. Н., Калашников А. С. Изготовление зубчатых колес. М., 1980.

Сильвестров Б. Н. Справочник молодого зуборезчика. М., 1981.

Сыроегин А. А., Калашников С. Н. Автоматизация и механизация производства зубчатых колес. М., 1970.

Тайц Б. А., Марков Н. Н. Точность и контроль зубчатых передач. Л., 1978.

Шаумян Г. А. Комплексная автоматизация производственных процессов. М., 1973.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Введение	5
Глава I. Общие сведения о зубчатых передачах	13
§ 1. Типы зубчатых передач и их назначение	13
§ 2. Основные сведения о геометрии цилиндрических зубчатых передач	18
§ 3. Расчет геометрических параметров цилиндрических зубчатых передач	28
§ 4. Корректирование зубчатых передач	34
§ 5. Смазка цилиндрических зубчатых передач	37
Глава II. Основы резания металлов	39
§ 1. Общие сведения о резании	39
§ 2. Резец и элементы его режущей части	40
§ 3. Образование стружки при шевинговании	43
§ 4. Элементы резания при зубонарезании	46
§ 5. Износ инструмента	47
§ 6. Силы резания	50
§ 7. Шероховатость поверхности	51
§ 8. Смазочно-охлаждающие жидкости	53
Глава III. Технологические процессы обработки зубчатых колес	54
§ 1. Материалы для изготовления зубчатых колес	54
§ 2. Производственный и технологический процессы	56
§ 3. Базы, их выбор и точность обработки	59
§ 4. Типовые технологические процессы обработки цилиндрических зубчатых колес	62
§ 5. Нарезание цилиндрических зубчатых колес методом копирования	67
§ 6. Нарезание цилиндрических и червячных зубчатых колес методом обкатки на зубофрезерных станках	71
§ 7. Нарезание цилиндрических зубчатых колес методом обкатки на зубодолбежных станках	77
§ 8. Отделочные методы обработки зубьев зубчатых колес	84
Глава IV. Шевингование цилиндрических зубчатых колес	93
§ 1. Возможности и основы зубошевингования	93
§ 2. Методы зубошевингования	95

	Стр.
§ 3. Шевингование зубчатых колес с внутренним зацеплением . . .	109
§ 4. Шевингование зубчатых колес с закрытыми венцами и бочкообразными зубьями	111
§ 5. Шевингование шеввер-рейкой и червячным шеввером	114
§ 6. Форма профиля инструмента, обрабатывающего зубчатое колесо под последующее шевингование	117
§ 7. Точность зубчатых колес до и после шевингования	120
§ 8. Пути повышения качества при шевинговании	127
Глава V. Зубошевинговальные станки	129
§ 1. Направления развития шевинговальных станков	129
§ 2. Типы зубошевинговальных станков и их основные характеристики	135
§ 3. Зубошевинговальный станок мод. 5702В	137
§ 4. Кинематическая схема станка мод. 5702В и его настройка	139
§ 5. Наладка станка мод. 5702В	142
§ 6. Режимы резания	150
§ 7. Зажимные приспособления	154
§ 8. Причины брака и способы его устранения при шевинговании	158
Глава VI. Зуборезный инструмент	161
§ 1. Материалы для изготовления режущего инструмента	161
§ 2. Червячные фрезы	165
§ 3. Круглые долбяки и зубчатые гребенки	169
§ 4. Заточка зуборезного инструмента	170
§ 5. Дисковые шевверы и их конструкции	171
§ 6. Критерии затупления шеввера	181
§ 7. Заточка, контроль, транспортировка и хранение шевверов	183
Глава VII. Механизация и автоматизация производства цилиндрических зубчатых колес	188
§ 1. Основные понятия	188
§ 2. Механизмы и тара для транспортирования зубчатых колес	190
§ 3. Автоматизация зубошевинговальных станков	194
§ 4. Короткие и комплексные автоматические линии	196
§ 5. Применение промышленных роботов при зубообработке	200
Глава VIII. Методы и средства контроля цилиндрических зубчатых колес	201
§ 1. Основные положения стандарта на зубчатые колеса	201
§ 2. Технологические методы контроля	203
§ 3. Контроль показателей кинематической точности	205
§ 4. Контроль показателей плавности работы	207
§ 5. Контроль показателей контакта зубьев	209
§ 6. Контроль показателей бокового зазора в передаче	210

	Стр.
Глава IX. Безопасность труда, электробезопасность и противопожарные мероприятия	211
§ 1. Безопасность труда . . .	211
§ 2. Электробезопасность	215
§ 3. Противопожарные мероприятия	216
Приложения	218
Литература	221



**Сергей Никифорович Калашников,
Александр Сергеевич Калашников**

ШЕВИНГОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Заведующий редакцией Г. П. Стадниченко. Научный редактор И. А. Новосельский. Редактор Е. Б. Коноплева. Младшие редакторы Л. Н. Чернецова, Н. Н. Чуркина. Художник Ю. Д. Федичкин. Художественный редактор В. П. Спирова. Технический редактор Н. Н. Желудкова. Корректор А. А. Хромых.

ИБ № 4971

Изд. № М-230. Сдано в набор 16.11.84. Подп. в печать 25.02.85. Т-03097. Формат 84×108¹/₃₂. Бум. тип. № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 11,76 усл. печ. л. 11,97 усл. кр.-отт. 11,82 уч.-изд. л. Тираж 8000 экз. Зак. № 1042. Цена 25 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 101898, Москва, Центр, Хохловский пер., 7.

25 коп.