

Федеральный комплект учебников



Профессиональное
образование

Металлообработка

А. Г. Холодкова

Общая технология машиностроения

Учебное пособие



А. Г. ХОЛОДКОВА

ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Допущено
Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебного пособия для образовательных учреждений
начального профессионального образования*

УДК 621(075.32)
ББК 34.5я722
Х71

Рецензент —
преподаватель Московского автомобильного колледжа
при АМО «ЗИЛ» *Т.А. Багдасарова*

Холодкова А. Г.
Х71 **Общая технология машиностроения: Учеб. пособие для
нач. проф. образования / Альбертина Григорьевна Холодко-
ва. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 224 с.
ISBN 5-7695-1923-1**

Изложены общие положения технологии машиностроения: понятия о технологическом процессе, операции и ее элементах, точности изготовления деталей и изделий, технологичности конструкции. Рассмотрены особенности и сравнительные характеристики различных методов получения заготовок, их обработки, применяемое для этих целей технологическое оборудование. Приведены способы выполнения сборки различных соединений и типовых сборочных единиц изделий.

Для учащихся учреждений начального профессионального образования. Может быть полезно для студентов среднего профессионального образования, учащихся УПК машиностроительных предприятий.

УДК 621(075.32)
ББК 34.5я722

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

ISBN 5-7695-1923-1

© Холодкова А. Г., 2005
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2005
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2005

ВВЕДЕНИЕ

Машиностроение является главной отраслью народного хозяйства, которая определяет возможность развития других отраслей и обеспечивает изготовление новых и совершенствование имеющихся машин. Отличительной особенностью современного машиностроения является существенное изменение эксплуатационных характеристик машин: увеличение скорости, мощности, температуры, уменьшение массы, объема, вибраций, снижение шума и т. п. В XX в. машиностроение сделало в своем развитии невиданный скачок: от первых автомобилей со скоростью движения 8... 15 км/ч в конце XIX в. до современных со скоростью 330... 340 км/ч; от самолетов типа «Фарман», поднимавшихся на 400... 500 м над землей, до современных сверхзвуковых лайнеров, летающих на высоте 8... 11 тыс. м со скоростью 900 км/ч, и ракет со скоростью полета более 11 км/с. Турбины начала XX в. мощностью 100... 400 кВт сменили в конце века турбины в несколько сотен тысяч киловатт. Если в 1920 — 30-е гг. в механических цехах заводов стояли универсальные токарные, сверлильные, фрезерные станки с ременными приводами, то в настоящее время станочный парк имеет станки-автоматы, станки с ЧПУ, многоцелевые станки, работающие по программе ЭВМ, выполняющие несколько десятков операций, оснащенные многоинструментальными магазинами (32—40 инструментов и более).

Технический прогресс в машиностроении характеризуется не только улучшением конструкций машин, но и совершенствованием технологии их производства. Слово «технология», образованное из двух греческих слов: *téchnē* — искусство, мастерство, умение и *lógos* — слова, учение, означает науку, систематизирующую совокупность приемов и способов обработки сырья, материалов, полуфабрикатов соответствующими орудиями производства в целях получения готовой продукции. Важно качественно, экономично и в заданные сроки с минимальными затратами труда изготовить машину. В условиях рыночных отношений быстрота реализации принятых решений играет главенствующую роль.

Развитие новых, прогрессивных технологических процессов способствует созданию более совершенных машин и снижению их себестоимости. Актуальна задача повышения качества выпускаемых машин, в первую очередь их точности изготовления. В XX в.

точность деталей машин возросла почти в 2000 раз. Такого увеличения не наблюдается ни по одному показателю служебных характеристик машин. В ряде производств уже становится нормой изготовление деталей с микрометрической и долемикрометрической точностью.

Основные направления развития современной технологии следующие: переход к автоматизированным технологическим процессам, обеспечивающим требуемое качество продукции; внедрение безотходной и малоотходной технологии для наиболее полного использования материалов, энергии, топлива; создание гибких производственных систем; широкое использование промышленных роботов и робототехнологических комплексов.

Бурный рост развития машиностроительного производства обусловил предпосылки появления технологии машиностроения, основы которой были заложены в 1930-х гг. В эти же годы были созданы кафедры «Технологии машиностроения» в различных вузах страны и началась успешная подготовка инженерных кадров. К первым трудам по технологии машиностроения относятся работы А. П. Соколовского, А. И. Каширина, В. М. Кована, Б. С. Балакшина. Для развития теоретических основ технологии машиностроения большое значение имели работы Н. А. Бородачева, А. Б. Яхина, В. С. Корсакова, С. П. Митрофанова, А. А. Маталина, М. П. Новикова и многих других ученых.

Теоретические основы технологии машиностроения базируются на положениях и закономерностях таких фундаментальных дисциплин, как физика, химия, теоретическая механика, сопротивление материалов, теория вероятностей, математическая статистика, и смежных технических дисциплин: технология конструкционных материалов, материаловедение, теория резания и др. Технология машиностроения развивалась и развивается по многим направлениям, возглавляемым видными учеными, работниками промышленных предприятий и исследовательских институтов.

Материал учебного пособия «Общая технология машиностроения» представлен таким образом, чтобы учащиеся могли ознакомиться с основными понятиями, положениями и закономерностями основ технологии машиностроения, сравнительными характеристиками, особенностями и технологическими возможностями различных технологических методов заготовительного производства (литье,ковка,штамповка), механической и термической обработки, сборочного производства. В соответствии с общей тенденцией развития машиностроения в учебном пособии большое внимание уделяется качеству изготовления деталей и машин в целом. Читатели должны быть хорошо подготовлены в области технологии конструкционных материалов, материаловедения, метрологии, стандартизации.

1.1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ (ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ)

Производственным процессом называют совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых для изготовления и ремонта изделий. Производственный процесс включает в себя подготовку и обслуживание средств производства; получение материалов, полуфабрикатов, заготовок (если на предприятии отсутствует заготовительное производство) и их хранение; изготовление заготовок, различные методы их обработки (механические, термические и др.); сборку изделий и испытание; контроль качества на всех стадиях производства; отделку, окраску, упаковывание, транспортирование и хранение готовой продукции.

Технологический процесс — это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению состояния предмета производства. Организацию производства и характер технологического процесса изменяют в соответствии с количеством выпускаемых изделий, их сложностью и трудоемкостью. Производство делят на единичное, серийное и массовое.

Единичное производство характеризуется выпуском изделий широкой номенклатуры в малом количестве экземпляров, повторное изготовление которых, как правило, не предусматривается, например изготовление экспериментальных образцов машин, уникального оборудования и т. п.

Серийное производство характеризуется изготовлением изделий партиями или сериями, периодически повторяющимися через определенные промежутки времени. В зависимости от числа изделий в серии производство разделяют на мелко-, средне- и крупносерийное. Серийно выпускают различные станки, редукторы, компрессоры и т. п. В серийном производстве используют универсальное, специализированное и специальное оборудование, в том числе станки с числовым программным управлением (ЧПУ), многоцелевые станки, гибкие производственные системы (ГПС). На большинстве рабочих мест выполняют периодически повторяющиеся операции.

Массовое производство характеризуется выпуском большого числа изделий одного и того же типа в течение длительного времени.

Изделиями массового производства являются легковые автомобили, шариковые подшипники и т. п. В массовом производстве широко используют специальное высокопроизводительное оборудование, автоматические линии, специальные инструменты и приспособления, средства автоматизации при транспортировании и контроле. Оборудование располагают в соответствии с последовательностью выполняемых технологических операций. На большинстве рабочих мест выполняется одна, постоянно закрепленная за ними технологическая операция.

Основным критерием, определяющим тип производства, является коэффициент закрепления операций

$$K_{з.о} = Q/P,$$

где Q — число операций, выполняемых в течение месяца; P — число рабочих мест.

В массовом производстве $K_{з.о}$ равен 1, крупносерийном — от 2 до 10, среднесерийном — от 10 до 20, мелкосерийном — от 20 до 40, единичном — свыше 40, т. е. практически не регламентируется.

Наиболее совершенной формой массового производства является поточное производство.

Поточным называют производство, характеризуемое расстановкой оборудования в полном соответствии с технологическим процессом и определенным интервалом выпуска изделий — тактом выпуска. Для организации непрерывного потока необходимо, чтобы время выполнения операций было равно или кратно такту.

Такт t , мин/шт., — равномерно повторяющийся промежуток времени, затрачиваемый на выпуск единицы продукции в процессе производства. Такт выпуска не зависит от трудоемкости изготовления изделия, его величина определяется программой выпуска изделия и фондом времени для выполнения этой программы:

$$t = \Phi \cdot 60/N,$$

где Φ — фонд времени, ч (год, мес, сут, смена); N — производственная программа за тот же период, шт.

При поточном производстве сокращаются цикл изготовления продукции и межоперационные заделы, снижается трудоемкость изготовления изделия и повышается производительность. Достоинства поточного производства настолько очевидны, что в серийном производстве при изготовлении изделий, близких по служебному назначению, сходных по размерам, конфигурации и технологическому процессу, создают переменное-поточное и групповое поточное производство. В первом случае при переходе на обработку (или сборку) нового изделия поточную линию переналаживают, во втором — линию оснащают приспособлениями и инструментами, позволяющими обрабатывать (или собирать) всю группу изделий без переналадки линии.

Технологический процесс подразделяют на технологические операции.

Технологической операцией называют законченную часть технологического процесса, выполняемую на одном рабочем месте. Технологическая операция включает в себя все действия оборудования и рабочих над одним (несколькими) обрабатываемым или собираемым объектом производства.

Рабочее место — элементарная единица структуры предприятия, где размещаются исполнители работы, обслуживаемое ими технологическое оборудование и предметы производства.

Технологическая операция является основным элементом производственного планирования и учета. От количества операций и времени их выполнения зависят трудоемкость технологического процесса, число рабочих, занятых в нем, применяемое оборудование, инструмент и оснастка. В свою очередь технологическую операцию подразделяют на технологические и вспомогательные переходы.

Технологический переход — законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством обрабатываемой (или сопрягаемой) поверхности, применяемого инструмента и режимов обработки (сборки). К режимам обработки относят глубину резания t , величину подачи S и скорость резания v ; к режимам сборки — величину сборочной силы $P_{сб}$, скорость v , момент затяжки $M_{зат}$, частоту вращения n резьбозавертывающего инструмента и т. п. Если один из вышеперечисленных параметров меняется, начинается выполнение нового перехода. Так, обработка наружной поверхности вала одним и тем же резцом выполняется за два перехода: черновое и чистовое обтачивание, отличающиеся режимами обработки. Обработка точного отверстия выполняется за три перехода последовательно работающими инструментами: сверлом, зенкером, разверткой с соответствующими режимами обработки.

Вспомогательный переход — законченная часть технологической операции, состоящая из действий рабочего и (или) оборудования, не связанных с изменением размеров, формы и качества поверхностей заготовки, но необходимых для выполнения технологической операции. К вспомогательным переходам относят установку и закрепление заготовки на станке, включение и выключение станка, подвод и отвод режущего инструмента, смену инструмента, перемещение заготовки на другую позицию, измерение размеров в процессе обработки заготовки.

При большой глубине резания технологический переход выполняется за несколько рабочих ходов (проходов).

Рабочий ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, при котором с поверхности снимается один слой материала.

При ручной сборке трудно разделить технологические и вспомогательные переходы, поэтому сборочную операцию разделяют на ряд приемов, выполняемых рабочим.

Прием — законченная совокупность движений рабочего в процессе выполнения операции.

Установ — часть технологической операции, выполняемой при неизменном закреплении заготовки или собираемой сборочной единицы. Технологическая операция может выполняться за один или несколько установов.

Позиция — фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной заготовкой или сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или оборудования при выполнении определенной части операции.

1.2. ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Одним из важнейших показателей качества изделия является точность его изготовления, от которой зависят его эксплуатационные качества, долговечность и надежность, трудоемкость в изготовлении и эксплуатации.

Под **точностью** в технологии машиностроения понимают степень соответствия производимых изделий их заранее установленному прототипу или образцу.

Стандартами ИСО и ГОСТами установлены следующие показатели точности:

- точность размеров — расстояний между различными элементами деталей и сборочных единиц;
- точность формы — отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от номинальных;
- точность расположения поверхностей деталей и деталей в сборочной единице — отклонение реального положения рассматриваемого элемента от номинального расположения.

Точность размеров характеризуют допуском T , который определяют как разность двух предельных (наибольшего и наименьшего) допустимых размеров. По ГОСТ 25346—82 установлено 19 квалитетов от $IT01$ до $IT17$, где IT — международный допуск по системе ИСО. Точность размеров на чертежах проставляют условными обозначениями поля допуска ($\varnothing 50K6$, $\varnothing 50H7$) или предельными отклонениями в мм ($\varnothing 50_{0,002}^{0,018}$), иногда указываются оба обозначения ($\varnothing 50H7^{(+0,021)}$). Точность размеров грубее 13-го квалитета оговаривают в технических требованиях, например: «Неуказанные предельные отклонения размеров валов $h14$, отверстий $H14$, линейных $\pm IT14/2$ ».

Точность формы характеризуют отклонениями Δ от заданной геометрической формы. По ГОСТ 24643—81 определены отклоне-

ния двух форм поверхностей: цилиндрических и плоских. Количественно отклонение формы оценивают наибольшим расстоянием от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) по нормали к последней.

Допуск формы — наибольшее допустимое значение отклонения формы. По ГОСТ 24643—81 установлены три уровня относительной точности, которая зависит от соотношения между допуском размера и допуском формы и расположения: А — нормальная, В — повышенная и С — высокая относительная точность. Соответственно допуск формы и расположения составляет 60, 40 и 25 % допуска на размер, а для отклонений формы цилиндрических поверхностей — 30, 20 и 12 %. Если точность формы поверхности на чертеже не оговаривается, допуск должен находиться в пределах допуска на размер: $\Delta \leq T$.

Отклонения формы плоских и цилиндрических поверхностей представлены на рис. 1.1.

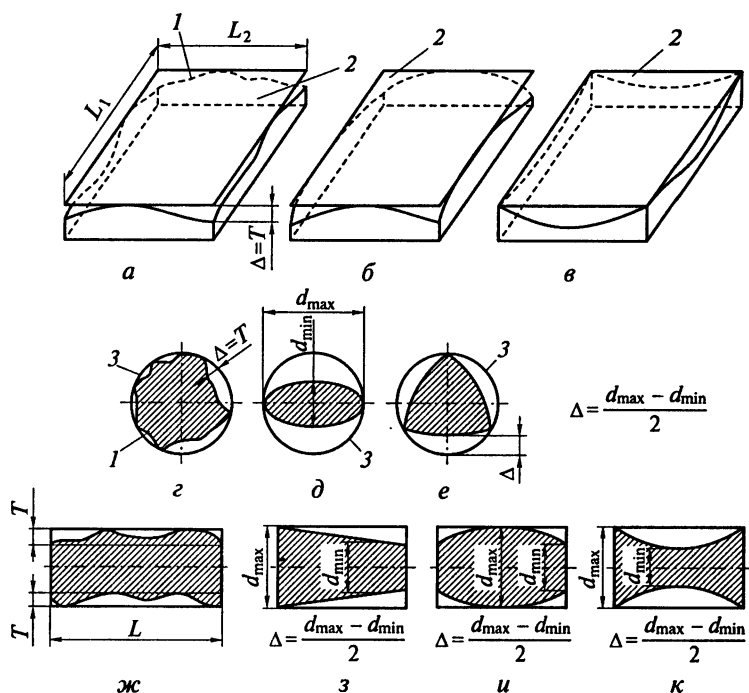


Рис. 1.1. Отклонения формы плоских (а—в) и цилиндрических (г—к) поверхностей:

а — реальный профиль; б — выпуклость; в — вогнутость; г — некруглость; д — овальность; е — огранка; ж — отклонение от прямолинейности образующей цилиндра; з — конусность; и — бочкообразность; к — седлообразность; 1 — реальный профиль; 2 — прилегающая плоскость; 3 — прилегающая окружность; d , L — размеры; T — допуск на размер; Δ — величина погрешности формы

Точность расположения характеризуется отклонениями расположения поверхностей и осей. При оценке отклонений расположения исключают из рассмотрения отклонения формы рассматриваемых элементов. Для этого реальные поверхности (их оси, плоскости симметрии и центры) заменяют соответственно прилегающими поверхностями.

Допуск расположения — предел, ограничивающий допустимое отклонение Δ расположения.

К погрешностям расположения относят отклонения от параллельности, перпендикулярности поверхностей и осей; отклонение от соосности цилиндрических поверхностей; отклонение от симметричности, позиционное отклонение, отклонения от пересечения осей; радиальное и торцевое биение поверхностей.

Отклонение от параллельности поверхностей (рис. 1.2, *a*) — угол между плоскостями, выраженный разностью наибольшего и наименьшего расстояния между плоскостями в пределах длины нормируемого участка.

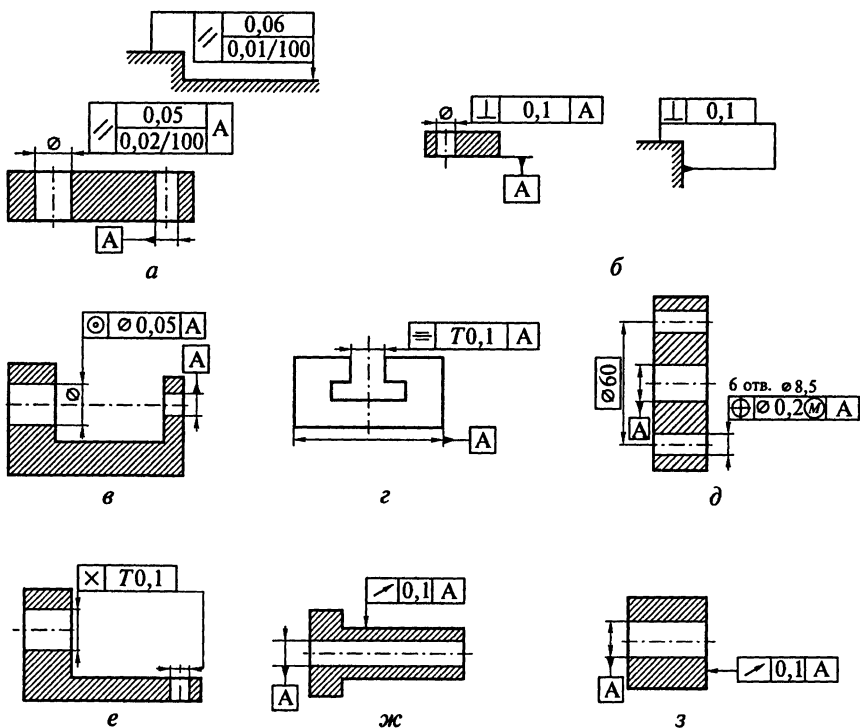


Рис. 1.2. Отклонение расположения поверхностей:

a — от параллельности; *б* — от перпендикулярности; *в* — от соосности; *г* — от симметричности; *д* — позиционное; *е* — от пересечения осей; *ж* — радиальное биение; *з* — торцевое биение

Отклонение от перпендикулярности поверхностей — отклонение от прямого угла (90°) между поверхностями, выраженное в линейных единицах на длине нормируемого участка (рис. 1.2, б).

Отклонение от соосности цилиндрических поверхностей (эксцентриситет) — наибольшее расстояние между осями вращения двух или нескольких поверхностей вращения (рис. 1.2, в).

Отклонение от симметричности — наибольшее расстояние между плоскостями (осями) симметрии рассматриваемого и базового элементов в пределах длины нормируемого участка (рис. 1.2, г).

Позиционное отклонение — наибольшее расстояние между реальным расположением элемента (его оси, центра или плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка (рис. 1.2, д).

Отклонение от пересечения осей — наименьшее расстояние между номинально пересекающимися осями (рис. 1.2, е).

Радиальное биение цилиндрической поверхности — разность наибольшего и наименьшего расстояния реального профиля от базовой оси поверхности А в сечении, перпендикулярном этой оси (рис. 1.2, ж).

Радиальное биение — результат совместного влияния отклонения от круглости профиля рассматриваемого сечения и отклонения его центра от базовой оси; измеряется в нескольких точках по окружности.

Торцевое биение — разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси поверхности А (рис. 1.2, з). Обычно торцевое биение по окружности измеряется на крайних точках торца.

Вид допуска формы или расположения должен быть указан на чертеже условными знаками, приведенными в табл. 1.1. Пример простановки условных знаков на чертеже детали показан на рис. 1.3.

Точность механической обработки и методы ее обеспечения. Под точностью обработки понимают степень соответствия обработанной детали техническим требованиям чертежа в отношении точности размеров, формы и расположения поверхностей. Если все параметры детали находятся в пределах указанных на чертеже допусков, деталь считается годной для сборки и дальнейшей работы.

Существуют два метода обеспечения заданной точности обработки.

При методе индивидуального получения размера точность обработки обеспечивается выверкой положения заготовки на станке и настройкой инструмента на заданный размер по нанесенным рискам на заготовке, полученным разметкой, или по лимбу пробным проходом инструмента с соответствующими измерениями. Этот метод характерен для мелкосерийного и единичного производства.

Допуски формы и расположения поверхностей

Группа допуска	Допуск	Условное обозначение
Допуск формы	Прямолинейности	
	Плоскостности	
	Круглости	
	Цилиндричности	
	Профиля профильного сечения	
Допуск расположения	Параллельности	
	Перпендикулярности	
	Наклона	
	Соосности	
	Симметричности	
	Позиционный	
	Пересечения осей	
Суммарный допуск формы и расположения	Радиального и торцевого биения, биения в заданном направлении	
	Полного радиального и торцевого биения	
	Формы заданного профиля	
	Формы заданной поверхности	

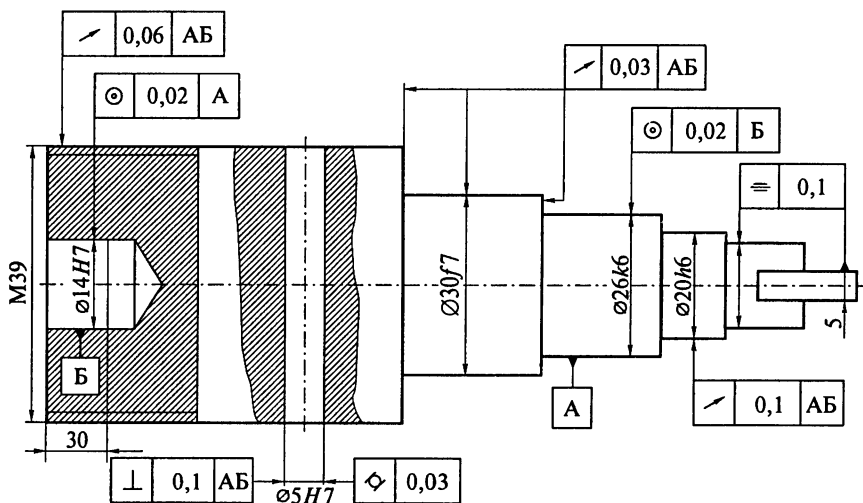


Рис. 1.3. Допуски формы и расположения поверхностей на детали типа «вал»

Метод автоматического получения размеров применяют, когда заготовки обрабатывают на станке в приспособлениях. При этом вся партия заготовок обрабатывается инструментом, предварительно настроенным на заданный размер. Этот метод характерен для серийного и массового производства.

На точность обработки влияет много факторов: погрешность установки заготовки на станке; погрешности, обусловленные упругими отжатиями технологической системы станок — приспособление — инструмент — заготовка под действием сил резания; погрешности, вызванные неточностью изготовления и износом режущего инструмента; погрешности, вызываемые установкой инструмента на заданный размер; погрешности станка и износ его элементов; погрешности, вызванные температурными деформациями технологической системы под воздействием теплоты, выделяемой при обработке; деформации заготовки из-за перераспределения внутренних напряжений.

Погрешность установки заготовки на станке при обработке в приспособлениях зависит от выбора установочных технологических баз (поверхностей, линий, точек), которые обеспечивают определенное положение заготовки на станке, сохраняемое в процессе обработки.

Каждая из установочных баз (рис. 1.4) контактирует с установочными элементами, рассматриваемыми как жесткие опорные точки, лишаящие заготовку соответствующего числа степеней свободы. Для повышения точности обработки следует выдерживае-

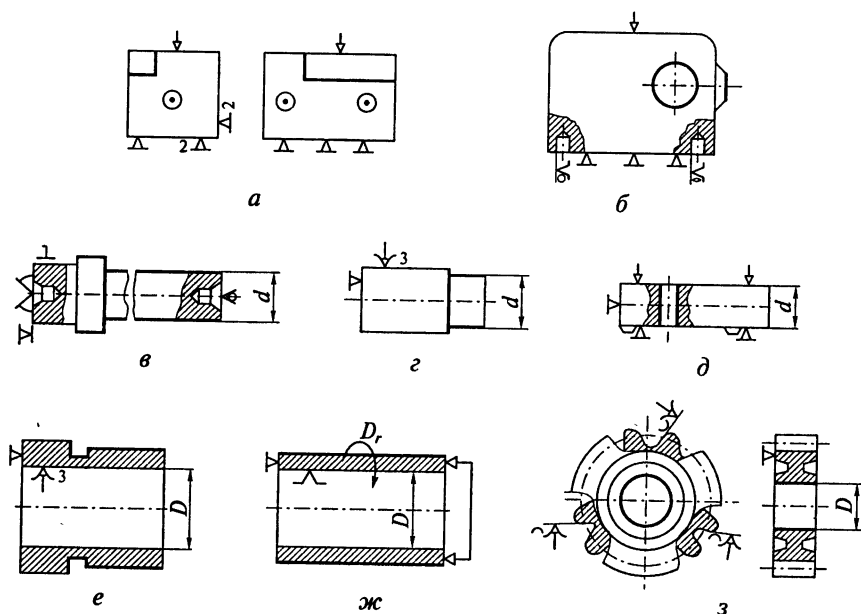


Рис. 1.4. Примеры установочных баз заготовок:

a — по трем взаимно-перпендикулярным плоскостям; *б* — по плоскости и двум перпендикулярным к ней отверстиям; *в* — по двум центровым отверстиям и торцу; *г, д* — по наружной цилиндрической поверхности и перпендикулярному к ней торцу в трехкулачковом патроне и призмах соответственно; *е, ж* — по внутренней цилиндрической поверхности и перпендикулярному к ней торцу в трехкулачковом патроне и на оправке соответственно; *з* — по зубчатой поверхности и перпендикулярному к ней торцу; *d, D* — параметры баз

мые размеры проставлять от установочных баз. Точность обработки зависит также от точности изготовления и установки приспособления на станке, причем со временем она снижается из-за износа элементов приспособления. При обработке заготовок без приспособлений точность их установки будет зависеть от точности выверки положения заготовки на станке, которая обусловлена методами и средствами контроля и квалификацией рабочего. Для обеспечения стабильного положения заготовки в процессе обработки к ней прикладывают силы, закрепляющие заготовку. Под действием сил зажима происходит деформация заготовки, которая также вносит свою погрешность в точность обработки.

Технологическая система станок—приспособление—инструмент—заготовка не является абсолютно жесткой; жесткость различных узлов станка может отличаться в 1,5—2 раза (например, жесткость шпинделя и центра задней бабки). Сама заготовка имеет различную жесткость в разных сечениях. Все это приводит к тому, что под действием сил и моментов резания элементы тех-

нологической системы изменяют свое относительное пространственное положение из-за наличия стыков и зазоров между элементами системы и их упругих деформаций. Колебания силы резания и неравномерная жесткость заготовки в разных сечениях приводят к погрешности размеров в партии деталей и погрешности формы обрабатываемой поверхности. Следовательно, для уменьшения этих погрешностей следует стабилизировать силу резания в процессе обработки, повышать жесткость технологической системы и выравнять жесткость заготовки в различных сечениях. Так, при обработке длинных нежестких валов применяют дополнительные опоры — подвижные и неподвижные люнеты.

Погрешности, вызванные неточностью изготовления режущего инструмента, определяют погрешности обработки, а его износ сказывается на ее точности, причем необходимо учитывать только тот износ инструмента, который влияет на размер обработки, — размерный износ. На рис. 1.5, *а* показано, как износ по задней грани резца влияет на увеличение настроечного размера C , что увеличивает размер d при обработке партии деталей, а при обработке длинных валов это приращение размера создает погрешность формы — конусность. Кроме того, затупление инструмента повышает силу резания, что увеличивает упругие отжатия технологической системы и тем самым еще больше снижает точность обработки. Уменьшить влияние размерного износа можно при помощи устройств активного контроля, которые измеряют заготовку в процессе обработки. По достижении верхнего предела поля допуска дается команда на подналадку режущего инструмента. Эта же цель достигается путем оснащения станка системами адаптивного управления процессом обработки.

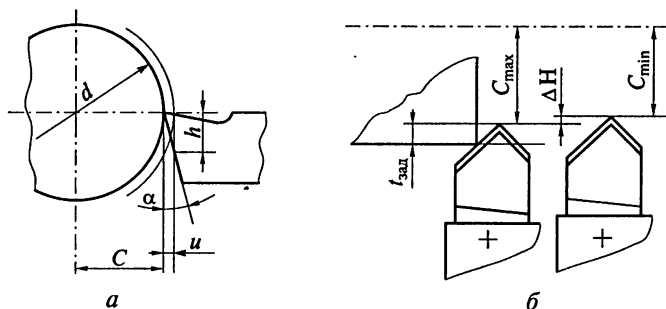


Рис. 1.5. Погрешности механической обработки заготовки:

а — от размерного износа инструмента: d — диаметр детали; C — настроечный размер инструмента; h — износ по задней грани резца; u — размерный износ резца; α — задний угол резца; *б* — от погрешности настройки режущего инструмента на заданный размер: C_{\max} , C_{\min} — максимальный и минимальный настроечные размеры; $t_{\text{зад}}$ — заданная глубина резания; ΔH — погрешность настройки резца

Погрешности, вызываемые при установке режущего инструмента на заданный размер, обусловлены тем, что при смене затупившегося инструмента новый инструмент невозможно установить в точно такое же положение (рис. 1.5, б) из-за погрешностей измерения, регулировки, изготовления эталона для настройки и т. д.

Неточность изготовления самого станка, которая регламентирована стандартом и указана в его паспорте, и износ его элементов в процессе работы вызывают погрешности формы при обработке поверхностей заготовки. Так, непараллельность осей центров (или их несоосность) направляющим токарного станка в горизонтальной плоскости приводит к конусности обрабатываемой поверхности вала, а в вертикальной плоскости — к гиперболической поверхности. Несоосность переднего и заднего центров при обработке за два установа ступенчатого вала приводит к несоосности его ступеней и т. д. Вследствие выделения большого количества теплоты при механической обработке изменяется температурный режим технологической системы, что вызывает дополнительные линейные и объемные деформации заготовки, инструмента и элементов станка. Для уменьшения тепловых деформаций погрешностей обработки применяют смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ), увеличивают скорость резания, так как при этом большая часть теплоты передается стружке, особо точные детали обрабатывают в термokonстантных отделениях и цехах и т. п. Влияние температурного фактора можно устранить, применяя средства активного контроля или системы адаптивного управления процессом обработки.

Внутренними (остаточными) напряжениями называют такие напряжения, которые существуют в детали при отсутствии внешних нагрузок и находятся в состоянии равновесия. При механической обработке, когда с поверхности заготовки удаляется часть металла, это равновесие нарушается и приводит к деформации заготовки до тех пор, пока внутренние напряжения не придут к новому равновесному состоянию.

Неуравновешенность внутренних напряжений может возникнуть: в результате неравномерного нагрева или охлаждения; при фазовых или структурных превращениях в материале заготовки; в результате пластической деформации при наклепе.

Одновременное действие всех причин вызывает такие высокие напряжения и их сложное распределение в теле заготовки, что возможно появление трещин.

Для уменьшения внутренних напряжений заготовки подвергают термической обработке: литые из серого чугуна — старению, стальные (литые, кованные, сварные) — отжигу, в процессе механической обработки — стабилизирующему отпуску, особенно после тех операций, где в процессе обработки выделяется большое количество теплоты.

Точность обработки может быть оценена расчетно-аналитическим методом с учетом возникающих погрешностей обработки либо при помощи статистических методов исследования.

Точность сборки и методы ее обеспечения. При сборке машин и механизмов основные требования сводятся, как правило, к соблюдению точности положения, вращения, линейного перемещения основных узлов и деталей относительно каких-либо базовых элементов или относительно друг друга, причем точностные характеристики не всегда задаются в явном виде, т.е. в цифрах. Например, при сборке узлов, перемещающихся по направляющим (каретки, салазки и др.), одним из требований является обеспечение их плавного движения, без люфтов и заеданий.

Точностные требования сборки обеспечиваются точностью пространственного положения собираемых деталей и узлов, допусками расположения поверхностей деталей, параллельности и перпендикулярности осей валов и плоскостей, радиального и торцевого биения валов, зубчатых колес, фланцев и др.; точностью монтажных зазоров и натягов, обеспечивающих нормальную работу подшипников, зубчатых и червячных зацеплений, винтовых и шариковых пар и др.; характером и точностью выполнения сопряжений; требуемой силой, моментом затяжки ответственных резьбовых соединений и т.п.

Многие вопросы, связанные с достижением требуемой точности сборки, решаются на основе анализа размерных цепей, где требуемая точность сопряжения определяется допуском замыкающего звена размерной цепи (рис. 1.6). Допуск замыкающего звена T_{Σ} размерной цепи (РЦ) определяют как сумму допусков T_i составляющих звеньев:

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n T_i.$$

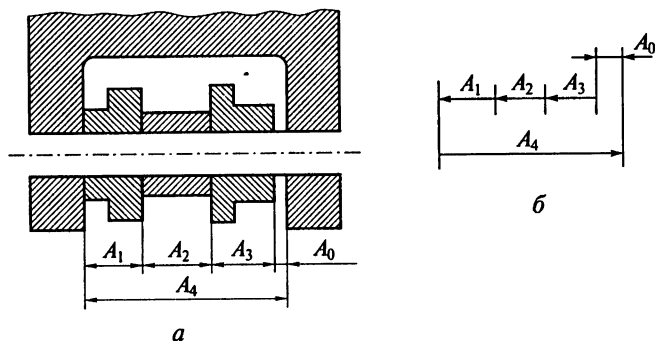


Рис. 1.6. Сборочная размерная цепь:

a — рабочий чертеж; b — схема; A_0 — A_4 — звенья размерной цепи

Достичь необходимой точности сборки — значит обеспечить размер замыкающего звена, не выходящий за пределы его допуска. Точность сборки может быть обеспечена методами полной, неполной (частичной), групповой взаимозаменяемости, регулировки и индивидуальной пригонки.

При методе полной взаимозаменяемости при соединении любых деталей точность замыкающего звена обеспечивается автоматически без регулировки и пригонки. При высокой точности замыкающего звена РЦ метод полной взаимозаменяемости целесообразен только при малозвенных РЦ: соединение вала с подшипником, вала с шестерней, подшипника с корпусом и т.п. Для

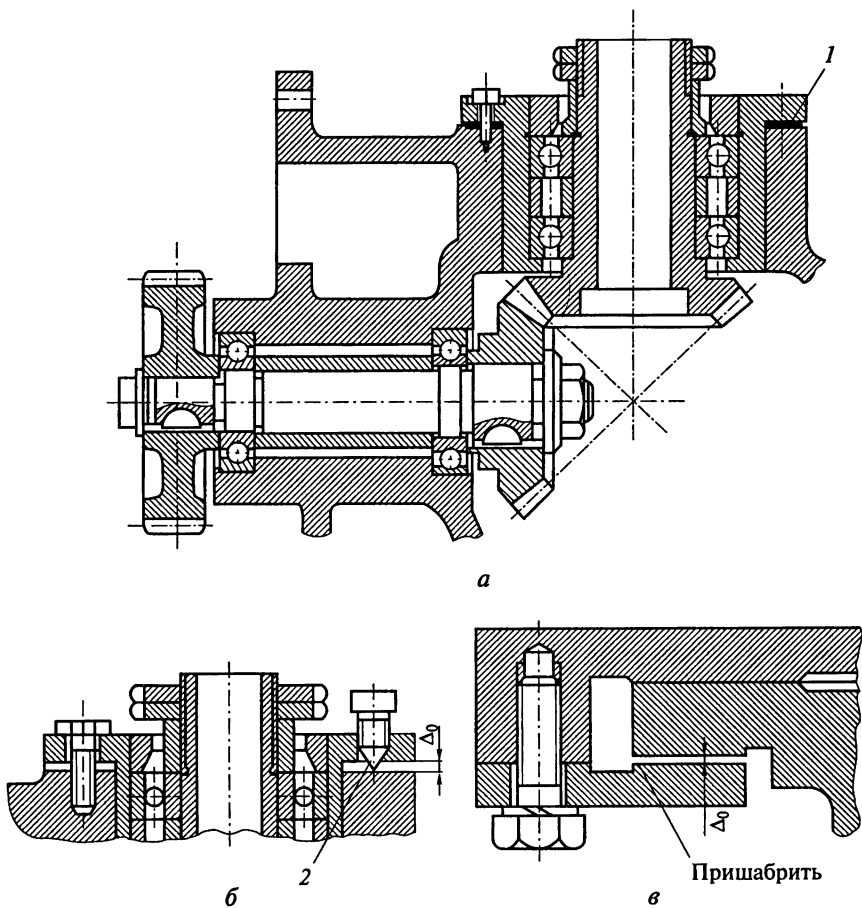


Рис. 1.7. Примеры обеспечения заданной точности сборки:

а, б — методом регулировки соответственно с жестким *1* и регулируемым *2* компенсатором; *в* — методом индивидуальной пригонки; Δ_0 — перемещение регулируемого компенсатора

многозвенных РЦ такой метод экономически невыгоден, так как приводит к необходимости назначения весьма жестких допусков на размеры деталей (составляющих звеньев).

При сборке методом неполной (частичной) взаимозаменяемости допуски на размеры деталей, составляющих РЦ, преднамеренно расширяют для снижения стоимости изготовления деталей. В основе метода — положение теории вероятностей, согласно которому большинство размеров в партии собираемых деталей близки к средним значениям размера, а максимальные и минимальные значения встречаются значительно реже, поэтому есть риск, что 0,27 % собранных узлов попадут в брак.

При сборке методом групповой взаимозаменяемости сопрягаемые поверхности деталей изготавливают с расширенными полями допусков, а перед сборкой их сортируют на размерные группы, в пределах которых обеспечивается полная взаимособираемость при сборке. Это приводит к экономии средств и труда при изготовлении деталей, но увеличивает затраты на сортировку, дополнительную тару, хранение и транспортирование при сборке, поэтому число групп должно быть оптимальным. Метод целесообразно применять для малозвенных РЦ. Методы групповой взаимозаменяемости характерны для крупносерийного и массового производства (сборка колец подшипников с шариками и роликами, шатунов с поршневыми пальцами и др.).

При сборке методом регулировки необходимая точность замыкающего звена РЦ достигается либо изменением размера заранее выбранного звена — компенсатора, либо его перемещением (рис. 1.7). В качестве жесткого компенсатора используют набор прокладок (рис. 1.7, а), а регулируемого — винты (рис. 1.7, б), клинья, эксцентрики. Метод универсален — он применим для любого типа производства, для многозвенных РЦ независимо от допуска на замыкающее звено.

При индивидуальной пригонке (рис. 1.7, в) точность замыкающего звена РЦ обеспечивается снятием слоя металла с одной детали — звена РЦ — опилкой, шабрением, притиркой, доводкой. Этот метод трудоемок, его целесообразно применять в единичном и мелкосерийном производстве.

1.3. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Качеством поверхности детали (заготовки) называют совокупность свойств, определяющих состояние ее поверхностного слоя; характеризуется шероховатостью, волнистостью и физико-механическими свойствами поверхностного слоя.

Шероховатость поверхности — совокупность неровностей с относительно малыми шагами в пределах базовой длины.

Волнистость поверхности — совокупность периодически чередующихся неровностей, шаг которых превышает базовую длину для измерения шероховатости. Волнистость занимает промежуточное положение между шероховатостью и погрешностью формы поверхности. Для шероховатости характерно отношение шага неровностей к их высоте менее 50, для волнистости — 50...1000, для погрешностей формы — свыше 1000.

Физико-механические свойства поверхностного слоя характеризуются твердостью, структурными, фазовыми превращениями и состоянием кристаллической решетки материала, величиной и знаком остаточных напряжений. Физико-механические свойства в поверхностных слоях детали и заготовки всегда отличаются от свойств в сердцевине — основной массе металла, что объясняется особенностями процессов, происходящих при их изготовлении. Например, поковки испытывают силовое воздействие штампов и молотов; условия охлаждения отливок на поверхности отличаются от условий охлаждения в глубине заготовки; воздействие режущего инструмента (силовое и тепловое) также различно на поверхности и в глубине заготовки. Толщина измененного по своим свойствам (дефектного поверхностного) слоя зависит от материала и методов получения заготовки, вида и режимов обработки и может изменяться от 1...1,5 мм (в заготовках) до 5...15 мкм (после отделочной обработки).

Параметры, характеризующие качество поверхностного слоя. Шероховатость поверхности по ГОСТ 2789—83 оценивают по шести параметрам (рис. 1.8, а): Ra , Rz , R_{max} , S , S_m и t_p .

Параметр Ra называют средним арифметическим отклонением профиля в пределах базовой длины и определяют как

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где n — число измеренных точек профиля на базовой длине; $|y_i|$ — абсолютное (без учета алгебраического знака) расстояние любой точки профиля до средней линии.

Параметр Rz — высота неровностей по десяти точкам — представляет собой разность средних расстояний пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины, измеренных от линии, параллельной средней:

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |h_i|_{\max} - \sum_{i=1}^5 |h_i|_{\min} \right).$$

Средняя линия профиля эквидистантна профилю поверхности и делит измеряемый профиль в пределах базовой длины так, что-

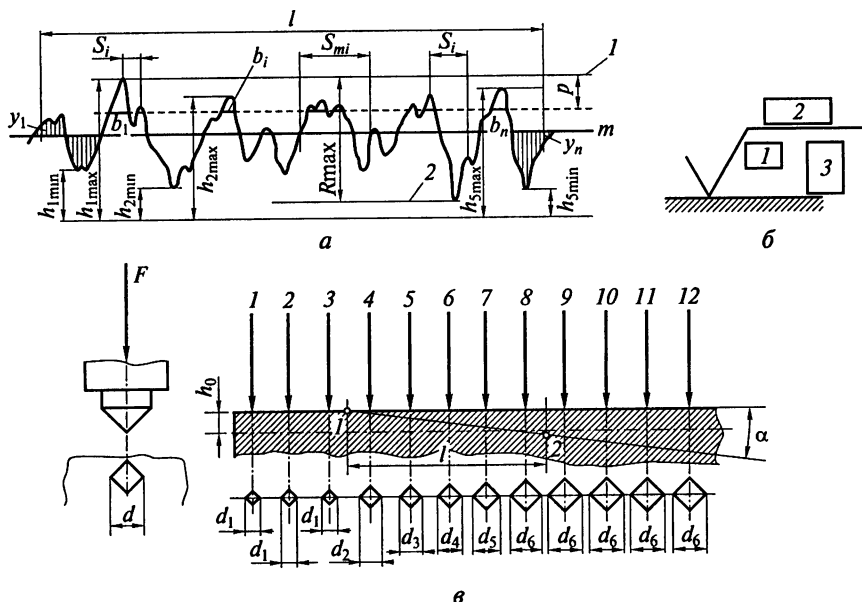


Рис. 1.8. Качество поверхностного слоя:

a — профиль шероховатости и его характеристики: 1 — линия выступов; 2 — линия впадин; y_1 — y_n — расстояние любой точки профиля до средней линии m профиля; $h_{1\max}$ — $h_{5\max}$ — высота пяти выступов; $h_{1\min}$ — $h_{5\min}$ — высота пяти впадин; S_{mi} — шаг микронеровностей по средней линии; S_i — шаг микронеровностей по вершинам выступов; R_{\max} — максимальная высота микронеровностей от линии 1 до линии 2; b_1 — b_n — длина отрезка, отсекаемого на микровыступе профиля на уровне p ; l — базовая длина; b — обозначение шероховатости поверхности; 1 — обозначение направления неровностей; 2 — способ обработки поверхности; 3 — параметры шероховатости: базовая длина, R_a или R_z , относительная опорная длина; σ — определение микротвердости поверхности: 1—2 — участок линии среза; d , d_1 — d_6 — размеры отпечатков; F — сила; h_0 — глубина слоя металла с повышенной твердостью; α — угол среза

бы сумма квадратов расстояний y_i точек профиля до линии была минимальной. К шаговым параметрам относятся: S — среднее значение шага местных выступов по базовой длине; S_m — среднее значение шага неровностей профиля по средней линии по базовой длине; t_p — относительная опорная длина профиля, выражаемая отношением опорной длины профиля η_p к базовой длине l :

$$t_p = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{l} = \frac{\eta_p}{l},$$

где b_i — длина отрезка, отсекаемого на микровыступе профиля на уровне p в пределах базовой длины; p — уровень сечения про-

филя, устанавливают в процентах от R_{\max} — максимальной высоты микронеровностей и определяют как расстояние между линией выступов и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов.

Параметр t_p достаточно полно характеризует поверхность контакта двух деталей, образующих сопряжение.

Существует корреляционная связь высотных параметров шероховатости R_a , R_z и R_{\max} .

Параметры шероховатости поверхности в соответствии с ГОСТ 2789—83 устанавливают в пределах: $R_a = 100 \dots 0,008$ мкм; $R_{\max} = 1600 \dots 0,25$ мкм; $R_z = 1600 \dots 0,25$ мкм; $S_m = 12,5 \dots 0,002$ мкм; $p = 10 \dots 90 \% R_{\max}$; l — из ряда 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25 мм. Шероховатость поверхности на чертежах указывают с помощью условных обозначений (рис. 1.8, б). На поле 1 указывают условное обозначение направлений микронеровностей, значения которых приведены в табл. 1.2. На поле 3 в определенной последовательности указывают базовую длину l , взятую из стандарта, параметры шероховатости R_a или R_z , причем при указании наибольшего значения параметра шероховатости приводят одно значение R_a или R_z , например $R_a 0,4$ или $R_z 50$. При указании наименьшего значения следует после обозначения параметра указывать min, например $R_z 50 \text{ min}$, $R_a 3,2 \text{ min}$. При указании диапазона параметров шероховатости их приводят в две строки: в верхней указывают значения параметра, соответствующие более грубой шероховатости,

например $R_a \frac{08}{04}$.


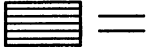










Значение базовой длины l проставляют в том случае, если оно для соответствующей шероховатости не предусмотрено стандартом, а направление штрихов обработки — если оно имеет принципиальное значение для условий эксплуатации (коэффициента трения, износостойкости и т.п.). На поле 2 в случае необходимости указывают способ обработки только тогда, когда он является единственным, позволяющим обеспечить требуемое качество поверхности.

Высокой точности обработки всегда соответствует малое значение микронеровностей поверхности — шероховатости. Такое соответствие обусловлено не только характером и условиями работы детали, но и точностью результатов измерения размеров поверхности. Высота микронеровностей не должна превышать 2... 10 % допуска на выдерживаемый размер.

Шероховатость поверхностей оценивают при контроле и приемке деталей. Методы оценки шероховатости поверхностей разделяют на прямой (количественный) и косвенный (качественный).

Прямой метод основан на измерении микронеровностей различными приборами: профилографами, профилометрами и двой-

Типы и изображение неровностей на чертежах

Направление неровностей	Схематическое изображение	Пояснения обозначения	Обозначение направления рисок
Параллельное		Параллельно линии, изображающей на чертеже поверхность	
Перпендикулярное		Перпендикулярно линии, изображающей на чертеже поверхность	
Перекрещивающееся		Перекрещивание в двух направлениях наклонно к линии, изображающей на чертеже поверхность	
Произвольное		Различные направления по отношению к линии, изображающей на чертеже поверхность	
Кругообразное		Приблизительно кругообразно по отношению к центру поверхности	
Радиальное		Приблизительно радиально по отношению к центру поверхности	

ными микроскопами. Информацию о величине микронеровностей при использовании первых двух приборов получают посредством ощупывания поверхности иглой с алмазным наконечником. Профилометры позволяют измерять шероховатость в пределах 0,02... 5 мкм, а профилографы в пределах 0,025... 80 мкм. При использовании двойных микроскопов оценку шероховатости осуществляют оптическим методом — лучом света. Микроскопом можно определять шероховатость в пределах 0,8... 80 мкм. В настоящее время все параметры шероховатости можно измерять портативными цифровыми приборами. Скорость измерения 0,5 мм/с.

Косвенный метод оценки шероховатости поверхности основан на сопоставлении обрабатываемой поверхности с поверхностью эталона. Сравнение производят визуально или при использовании

микроскопа. Максимальная шероховатость, которую можно оценить этим методом, — не более 0,8 мкм.

Анализировать физико-механические свойства поверхностного слоя очень удобно при помощи приборов для определения микротвердости (рис. 1.8, *в*). Алмазная пирамида внедряется под действием силы $F = 0,002 \dots 2$ Н в исследуемую поверхность. При этом на поверхности остается отпечаток, диагональ d которого измеряют под микроскопом. Отпечатки можно оставлять в различных зонах поверхности с учетом химического состава, фазовых превращений, различных включений в металл поверхностного слоя.

Данный метод используют и для определения глубины деформированного (наклепанного) слоя от различных технологических воздействий. Он получил название метод косых срезов. На исследуемой поверхности делают косой срез (шлиф) под небольшим углом $\alpha = 30' \dots 2^\circ$ и производят в соответствии со схемой (см. рис. 1.8, *в*) ряд отпечатков, последовательно измеряя их диагонали. Когда отпечатки располагаются на косом срезе, их диагонали возрастают до тех пор, пока твердость металла не стабилизируется — точка 2 (диагонали отпечатков 9—12 равны между собой). Следовательно, глубина деформированного (наклепанного) слоя

$$h_0 = ltg\alpha,$$

где l — длина участка 1—2; α — угол скоса.

В табл. 1.3 приведены средние значения глубины деформированного (наклепанного) слоя при различных методах обработки.

Таблица 1.3

Глубина деформированного слоя

Метод обработки	Глубина слоя, мм	Метод обработки	Глубина слоя, мм
Точение:		Сверление,	0,15
черновое	0,2 ... 0,5	зенкерование	
чистовое	0,05	Развертывание	0,05
Растачивание:		Накатывание резьбы	0,15 ... 0,2
черновое	0,2 ... 0,5	роликом	
чистовое	0,05	Шлифование:	
Фрезерование:		незакаленной стали	0,015 ... 0,02
цилиндрическое	0,12	закаленной стали	0,02 ... 0,03
торцевое черновое	0,2 ... 0,5	Дробеструйный	0,4 ... 1,0
торцевое чистовое	0,1	наклеп	
Зубофрезерование:		Обкатка роликами	0,05 ... 0,35
черновое	0,14		
чистовое	0,12		
шевингование	0,1		

Величина и знак остаточных напряжений поверхностного слоя определяются методом обработки. Растягивающие напряжения возникают при выделении большого количества теплоты при механической обработке (например, при шлифовании поверхностей). При расширении металла в месте обработки соседние слои оказываются сжатыми, а затем после его остывания — растянутыми. При нагружении детали в процессе ее эксплуатации силовые напряжения могут складываться с остаточными растягивающими напряжениями, что существенно снижает прочностные характеристики детали. Целесообразно выбирать такие режимы и условия шлифования, при которых растягивающие напряжения уменьшаются и создаются напряжения сжатия.

Влияние качества поверхности деталей на эксплуатационные свойства машин. Выполнение машины ее служебного назначения, ее надежность и долговечность во многом определяются качеством поверхности составляющих ее деталей. От качества поверхности зависят такие эксплуатационные характеристики, как износостойкость поверхностей трущихся пар, качество (прочность) неподвижных соединений с натягом, усталостная или циклическая прочность при воздействии знакопеременных нагрузок, антикоррозионная стойкость, значение коэффициента трения, гидродинамические свойства поверхности и т. д. Из-за шероховатости и волнистости сопрягаемых поверхностей фактическая площадь контакта оказывается меньше ее номинальной величины. При подвижных посадках трущиеся поверхности постепенно изнашиваются. Поскольку контакт поверхностей осуществляется по вершинам микронеровностей, срез (или смятие) вершин особенно интенсивен в начале работы сопряженной пары (приработка). При этом происходит увеличение суммарной площади контакта (несущей поверхности) и устанавливается эксплуатационная шероховатость, оптимальная для данного сопряжения. Последующее (эксплуатационное) изнашивание происходит довольно медленно, пока не возникнет разрушение трущихся поверхностей (аварийный износ).

Поскольку шероховатость поверхностей деталей влияет на величину и время первичного износа, ее назначают близкой к оптимальной, так как в противном случае первичный износ нарушает посадку соединения и нормальную работу механизма. Оптимальные параметры шероховатости поверхностей, приведенные для различных деталей в табл. 1.4, позволяют уменьшить период приработки в 2 — 2,5 раза.

Для нормальной работы трущихся поверхностей имеет значение не только величина, но и направление шероховатости. Поверхности, полученные хонингованием или суперфинишной обработкой, а также пришабранные имеют перекрещивающиеся микронеровности, что создает карманы для смазочного материала и

**Параметры шероховатости поверхностей деталей
различного служебного назначения**

Поверхности деталей	<i>Ra</i> , мкм
Поверхности шейки валов:	
под подшипники скольжения	0,4
подшипники качения	0,8
зубчатые, червячные колеса	1,6
Тяжелонагруженные поверхности валов	0,2...0,4
Поверхности основных отверстий корпусов:	
из чугуна	1,0...2,0
стали	0,8...1,6
Направляющие трения скольжения:	
прецизионных станков	0,1
тяжелых станков	1,6
Поверхности стыков герметичных соединений	0,4...0,8
Поверхности плунжерных пар топливных насосов и быстроходных приводов	0,05...0,1
Корродирующие поверхности	0,05...0,1

Примечание. Для поверхностей под напыление определен параметр *Rz* 125 мкм.

снижает силу трения. Поверхности, имеющие высокую твердость, изнашиваются менее интенсивно, для чего повышают их твердость при помощи термической обработки — закалки.

Прочность соединений с натягом сильно зависит от шероховатости сопрягаемых поверхностей. При запрессовке микронеровности, срезаясь, уменьшают величину расчетной силы запрессовки (прочность соединения) за счет уменьшения фактической площади контакта и величины натяга. При большой высоте микронеровностей и малой величине натяга в соединении вместо натяга может возникнуть зазор. Поэтому оптимальная шероховатость поверхностей деталей для соединений с натягом, получаемых запрессовкой, не более *Ra* 1,6 мкм.

С увеличением высоты микронеровностей возрастает усталостная прочность, особенно у деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок. Впадины микронеровностей по сути являются надрезами на поверхности и в значительной степени влияют на концентрацию напряжений, что может способствовать возникновению микротрещин на поверхности детали и привести к разрушению детали. Такие места концентрации напряжений, как галтели у колеччатых и других тяжелонагруженных валов, обрабатывают с шероховатостью *Ra* 0,8...1,6 мкм.

На усталостную прочность влияют также величина и знак остаточных напряжений поверхностного слоя детали. Как уже отмечалось выше, крайне нежелательны растягивающие напряжения. Сжимающие напряжения положительно влияют на усталостную прочность и износостойкость, поэтому для увеличения срока службы деталей применяют обкатывание шариками, роликами, чеканку, обработку дробью, щетками — методы обработки, создающие на поверхности детали остаточные напряжения сжатия.

Поверхности с малой шероховатостью обладают большей антикоррозионной стойкостью, так как впадины микронеровностей способствуют их образованию. С уменьшением шероховатости снижается коэффициент трения, улучшаются аэро- и гидродинамические свойства, так как уменьшается сопротивление течению газа и жидкости. Шероховатость поверхности детали оказывает влияние на герметичность стыков, теплопроводность, отражающую способность поверхности, создание стабильного разрежения (вакуума). Обеспечение требуемого качества поверхности удлинит срок службы деталей машин в 2—3 раза.

Факторы, влияющие на качество поверхности. Качество поверхностного слоя детали зависит от материала заготовки и его свойств, способа получения заготовки, метода обработки, режимов резания, геометрии и состояния режущего инструмента, вида СОЖ, жесткости технологической системы и др.

Заготовки, получаемые прокаткой, имеют на поверхности следы прокатных валков. Высота микронеровностей холоднотянутого проката доходит до 50 мкм, а горячекатаного — до 1,5 мм. На шероховатость отливок влияют шероховатость стенок литейных форм, размер зерен формовочной смеси и плотность ее набивки. Шероховатость литых заготовок в зависимости от метода ее получения колеблется от 1,5 мм (литье в земляные формы с ручной формовкой) до 10 мкм (литье под давлением). Поверхностный слой заготовок из серого чугуна имеет зону повышенной твердости (до 400 НВ), а у стальных заготовок — обезуглероженную зону, глубина которой колеблется от 50 до 1000 мкм.

При механической обработке каждый метод характеризуется диапазоном высот, направлением и формой микронеровностей, которые обусловлены траекторией движения заготовки и инструмента.

Скорость резания v при обработке вязких металлов оказывает наибольшее влияние на шероховатость. При скорости резания 20... 25 м/мин из-за периодического образования нароста металла на режущей кромке резца величина Rz достигает наибольших значений. Однако с увеличением скорости резания образование нароста практически прекращается, Rz уменьшается и скорость уже не оказывает существенного влияния на величину шероховатости. Подача S влияет на шероховатость в зависимости от конструкции

режущего инструмента, его геометрии и условий обработки. При точении стандартными резцами с углом в плане $\varphi = 45^\circ$ и малым радиусом при вершине ($r < 2$ мм) (рис. 1.9, а) подача существенно влияет на шероховатость. Изменение Rz прямо пропорционально изменению подачи. На качество поверхности влияют физико-механические свойства и химический состав металла. Наименьшая шероховатость достигается при обработке хрупких, мелкозернистых и однородных материалов (например, бронза, латунь). Добавление в состав металла серы (автоматная сталь) или свинца также способствует снижению шероховатости. При обработке заготовок из твердой высокоуглеродистой стали получают более низкую шероховатость, чем при обработке мягкой низкоуглеродистой. Использование СОЖ позволяет уменьшать шероховатость и увеличивать стойкость режущих инструментов. Так, применение мине-

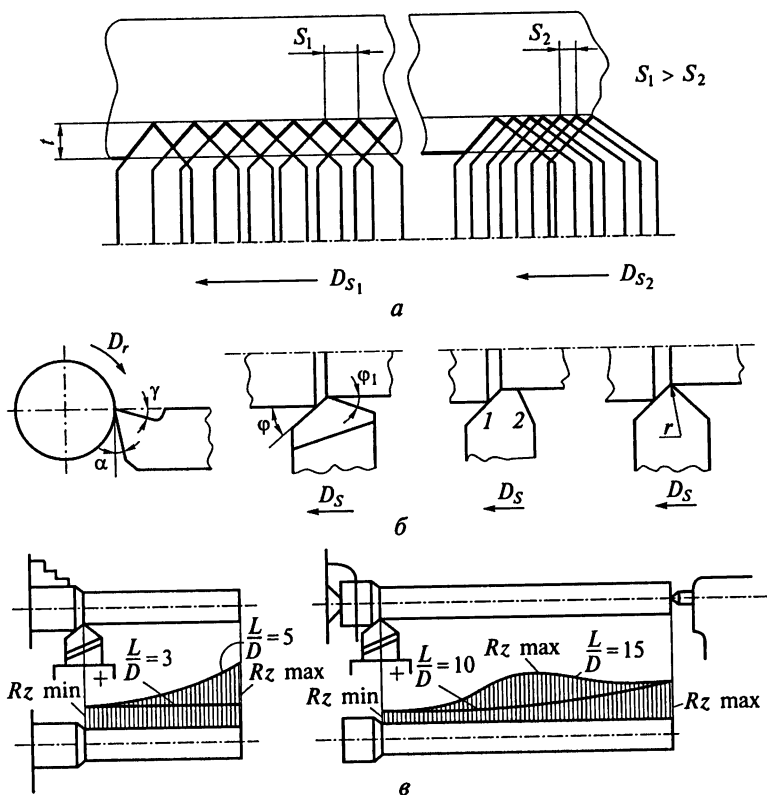


Рис. 1.9. Влияние условий обработки на шероховатость поверхности:

а — подачи; б — геометрических параметров режущего инструмента; в — жесткости технологической системы; D_r — главное движение; D_S — движение подачи; L , D — размеры обработки; S_1 , S_2 — подачи резца; Rz — высота микронеровностей; t — глубина резания; α , γ , φ , φ_1 — углы резца

ральных осерненных и растительных масел для соответствующих видов обработки снижает высоту микронеровностей на 25...45 % по сравнению с обработкой без СОЖ.

При обработке резцами на величину микронеровностей заметное влияние оказывают главный φ , вспомогательный φ_1 углы в плане и радиус r при вершине (рис. 1.9, б). С уменьшением углов φ и φ_1 и увеличением радиуса r шероховатость обрабатываемой поверхности заметно уменьшается. При обработке инструментом с широкой режущей кромкой (угол $\varphi_1 = 0$) шероховатость поверхности определяется шероховатостью режущего лезвия на участке 1—2 (см. рис. 1.9, б), поэтому для получения требуемого качества поверхности шероховатость режущих кромок резца должна быть значительно ниже: $Ra\ 0,4...0,8$ мкм.

Снижение жесткости заготовки в различных сечениях ведет к увеличению микронеровностей, которые, например при обтачивании консольно закрепленного вала, видны невооруженным глазом. Влияние жесткости технологической системы на шероховатость поверхности показано на рис. 1.9, в при консольном закреплении заготовки в патроне и закреплении в центрах токарного станка.

1.4. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ И ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ

Под *технологичностью конструкции изделия* (ТКИ) понимают совокупность его свойств, которые обеспечивают изготовление, ремонт и техническое обслуживание изделия по наиболее эффективной технологии (т.е. с минимальными затратами труда, материалов и средств) в сравнении с аналогичными конструкциями при одинаковых условиях их изготовления и эксплуатации, при одних и тех же показателях качества и объемах выпуска.

Технологичность конструкции изделия отражает его конструктивные особенности: состав и взаимное расположение его узлов, форму и расположение поверхностей деталей и их соединений, их состояние, размеры, материалы и т. д. В свою очередь конструкция изделия во многом определяет его функциональные свойства, надежность, эргономичность, эстетичность, экономичность, безопасность и экологичность. Техника, разрабатываемая человеком, находится с ним в постоянном взаимодействии, поэтому наряду с удовлетворением его потребностей она должна быть безопасной на всех стадиях жизненного цикла изделия: при изготовлении, транспортировании, хранении, монтаже, эксплуатации, ремонте и утилизации. Уровень вредных воздействий производимых изделий техники на окружающую среду зависит от принимаемых при разработке конструкции изделия инженерных ре-

шений, используемых для его изготовления материалов, способов их переработки, применения в конструкции защитных устройств и т. п. От принятых инженерных решений зависят затраты ресурсов, а следовательно, и стоимость изделия в производстве, эксплуатации, ремонте и утилизации. Поэтому обеспечение технологичности конструкции изделия является комплексной задачей, так как должно рассматриваться на всех этапах жизненного цикла изделия.

Важнейшими показателями ТКИ являются преемственность и технологическая рациональность конструкции. *Преемственность* конструкции отражает единство повторяемости и изменяемости принятых инженерных решений. При этом различают конструкторскую и технологическую преемственность конструкции изделия. Первая характеризует повторяемость составных частей в данном изделии или в различных вариантах его исполнения, вторая — повторяемость технологических методов его изготовления, поддержания и восстановления. Преемственность конструкции — один из главных принципов целесообразности технологической подготовки производства (ТПП). Ее использование позволяет рационально организовать процесс конструкторского и технологического проектирования, максимально использовать все лучшее, созданное ранее при научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических разработках, освоенное в производстве и всестороннее проверенное в условиях эксплуатации, ремонта и утилизации.

Технологическая рациональность конструкции изделия улучшает соответствие принятых конструктивных решений условиям производства, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия. Условия производства и эксплуатации изделия могут существенно изменяться в зависимости от типа производства, имеющегося парка оборудования, трудовых ресурсов у производителей и потребителей, материальных, энергетических и других видов ресурсов. Поэтому рассматривать и оценивать технологическую рациональность конструкции изделия необходимо с учетом конкретных существующих условий производства, технического обслуживания (эксплуатации), ремонта и утилизации. В связи с этим понятие технологичности конструкции изделия является относительным.

Различают производственную, эксплуатационную и ремонтную технологичность. Технология изготовления предъявляет свои требования к конструкции заготовок, деталей, сборочных единиц (узлов) и изделий.

В соответствии с ГОСТ 14.201—83 различают качественную и количественную оценку технологичности конструкции изделия и его элементов. Качественная оценка («хорошо — плохо», «допустимо — недопустимо») дается на основании анализа соответствия конструкции изделия и его элементов требованиям технологии

его изготовления, условиям эксплуатации и ремонта. При сравнении вариантов конструктивных решений одного изделия (и его элементов) качественная оценка позволяет выбрать лучший вариант исполнения, а количественная оценка — сравнивать одну или несколько конструкций изделия с конструкцией, принятой в качестве базовой. За базовую конструкцию принимают аналог, лучший в отрасли в стране или в мире. Сравнение проводят по показателям технологичности: основным и дополнительным. К основным относятся трудоемкость изготовления $T_{и}$ и себестоимость изготовления изделия $C_{и}$. Трудоемкость, материалоемкость и энергоемкость, продолжительность изготовления изделия (эксплуатации, ремонта) определяют соответствующие затраты ресурсов и соответственно себестоимость изделия при его изготовлении и эксплуатации (включая ремонт и утилизацию). Дополнительные показатели оценивают влияние на трудоемкость и себестоимость изготовления изделия таких качеств конструкции изделия, как материалоемкость, число деталей, уровень унификации и стандартизации элементов изделия, снимаемый при механической обработке объем материала, применяемость марок материала, уровень механизации и автоматизации технологического процесса его изготовления, отсутствие регулировочных и пригоночных работ при сборке, применяемость типовых технологических процессов и др.

Контрольные вопросы

1. Назовите характерные признаки основных типов производства.
2. Что является условием организации поточного производства?
3. Дайте определения технологического процесса, технологической операции, технологического перехода.
4. Перечислите параметры, характеризующие точность обработки деталей.
5. Какие погрешности обработки влияют на точность изготовления деталей?
6. Что понимают под качеством поверхностного слоя детали и заготовки?
7. Какие параметры характеризуют шероховатость поверхности?
8. Назовите методы обеспечения заданной точности при сборке изделия.
9. Как влияет качество поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин?
10. Что понимают под качественной и количественной оценкой технологичности конструкции изделия?

ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Заготовка — это предмет производства, из которого изменением формы, размеров, свойств материала и качества поверхностного слоя получают деталь. Конфигурация заготовки обусловлена конструкцией детали, ее размерами, материалом, условиями работы детали в машине с учетом ее статических, динамических и температурных нагрузок. Основными видами заготовок в зависимости от назначения детали являются отливки из черных и цветных металлов, поковки и штамповки, заготовки из проката, комбинированные заготовки (литосварные, штампосварные), заготовки из спеченных и неметаллических материалов.

На выбор способа получения заготовки влияют следующие факторы:

- характеристика материала, его свойства, определяющие возможность использования технологических методов литья, пластического деформирования, сварки, порошковой металлургии. Для материалов заготовок, получаемых различными методами литья, основной технологической характеристикой является жидкотекучесть, для деформируемых — пластичность, для заготовок, получаемых сваркой, — свариваемость материалов;

- конструктивные формы детали, ее размеры и масса. Форма детали должна быть такой, чтобы обеспечивалась возможность беспрепятственного заполнения формы или штампа металлом с последующим удобным извлечением заготовки. Размеры детали, ее масса ограничивают применение таких прогрессивных методов, как литье по выплавляемым моделям, литье под давлением, литье в кокиль, горячая объемная штамповка;

- объем выпуска. В единичном и мелкосерийном производстве в качестве заготовок применяют отливки в земляные формы, поковки и горячекатаный прокат. При этом во время механической обработки в стружку уходит до 25... 50 % (и более) металла. В крупносерийном и массовом производстве заготовку стараются приблизить по форме и размерам к детали. Для этого применяют специальные прогрессивные методы получения заготовок, что при большой программе выпуска экономически оправдывает созда-

ние дорогостоящей заготовительной оснастки: литейные формы и специальные многоручьевые штампы. При этом объем механической обработки сокращается и в стружку уходит 10... 15 % металла заготовки;

- наличие технологического заготовительного оборудования на предприятии или возможность получения заготовок от специализированных предприятий, если заготовительные цехи на производстве отсутствуют.

2.2. ЛИТЫЕ ЗАГОТОВКИ

Литьем получают заготовки из металлов, обладающих хорошей жидкотекучестью: серый и ковкий чугун, цветные металлы и их сплавы, литевая сталь (30Л, 45Л и др.). Отливки получают, заливая расплавленный металл в формы разового и многократного применения. К разовым формам относят песчано-глинистые, оболочковые и формы для литья по выплавляемым моделям; к полупостоянным — графитовые, песчано-цементные, металлокерамические; к постоянным — металлические (кокиль), формы для центробежного литья и литья под давлением. Качество отливки зависит от условий кристаллизации металла в форме, определяемых методом литья.

Важнейшим показателем качества отливки является точность ее размеров, характеризуемая допуском.

Допуски на линейные размеры отливки регламентированы ГОСТ 26645—85, который устанавливает 22 класса точности размеров и масс отливок (1, 2, 3, ..., 16т). Меньшие значения классов точности назначают на простые отливки в условиях массового производства, большие — на сложные отливки, изготавливаемые единично и мелкосерийно.

Для обеспечения технологичности конструкции отливки необходимо учитывать выбранный способ литья и те требования, которые предъявляет к конструкции технологический процесс ее изготовления. Отливки должны иметь конфигурацию, близкую к готовой детали, чтобы уменьшить объем снимаемого металла при механической обработке. Конструкция заготовки должна:

- представлять собой сочетание простых геометрических поверхностей, без резких углов, высоких ребер и выступов, с минимальным числом внутренних полостей;

- обеспечивать направленное затвердевание металла и требуемую сопротивляемость металлу усадке и термическим напряжениям;

- предусматривать технологические уклоны, обеспечивающие легкое извлечение моделей и стержней;

- иметь стенки оптимальной толщины в соответствии с условиями заливки металла.

Крупные и сложные отливки целесообразно делить на отдельные элементы, которые затем соединять сваркой.

Литье в песчаные формы. Данный метод литья применяют для всех литейных металлов и сплавов, типов производства, заготовок любых масс, конфигураций и габаритных размеров. Метод отличается технологической универсальностью и низкой стоимостью, поэтому в общем производстве отливок литьем в песчаные формы получают 80 % всех отливок и только 20 % производят специальными методами литья. Отливку получают свободной заливкой расплавленного металла в разовую разъемную толстостенную литейную форму, изготовленную из формовочной смеси по многократно используемым модельным комплектам — деревянным или металлическим. Изменяя способы формовки, материалы моделей и состав формовочной смеси, заготовки изготавливают с заданной точностью и качеством поверхности.

В условиях единичного и мелкосерийного производства применяют литье с ручной формовкой смеси по деревянным моделям; в серийном производстве — литье с машинной формовкой по деревянным моделям и механизированной выемкой моделей из полуформ; в крупносерийном и массовом производстве — литье с машинной формовкой по металлическим моделям с механизированной выемкой моделей из полуформ.

Литьем в песчаные формы при ручной формовке по деревянным моделям получают заготовки массой от 1 кг до 200 т, обеспечивая 9—16-й классы точности основного размера и шероховатость поверхности Rz 80...600 мкм. При машинной формовке по деревянным и металлическим моделям получают заготовки массой от 1 кг до 2 т, обеспечивая 9—4-й классы точности основного размера и шероховатость поверхности Rz 80...320 мкм. Форма заготовки может быть как простой, так и сложной.

Наиболее технологичные конструкции отливок, изготовленных в песчаных формах, имеют простые геометрические формы с минимальной толщиной стенок: для чугуна — 3...5 мм, для стали — 5...8 мм, для цветных металлов и сплавов — 3...8 мм. Требуемую жесткость заготовок при минимальной толщине стенок обеспечивают ребрением, применением рациональных форм профиля, выпуклых, сводчатых форм.

Конфигурация отливки должна обеспечивать простое и удобное изготовление формы, поэтому:

конструкция отливки должна иметь минимальное число разъемов модели или формы, исключать отъемные части формы и, по возможности, стержни. Возможность создания одной плоскости разъема определяют по правилу световых теней (рис. 2.1, а, б), по которому теневые участки при освещении заготовки лучами, перпендикулярными плоскости разъема, должны отсутствовать (см. рис. 2.1, а);

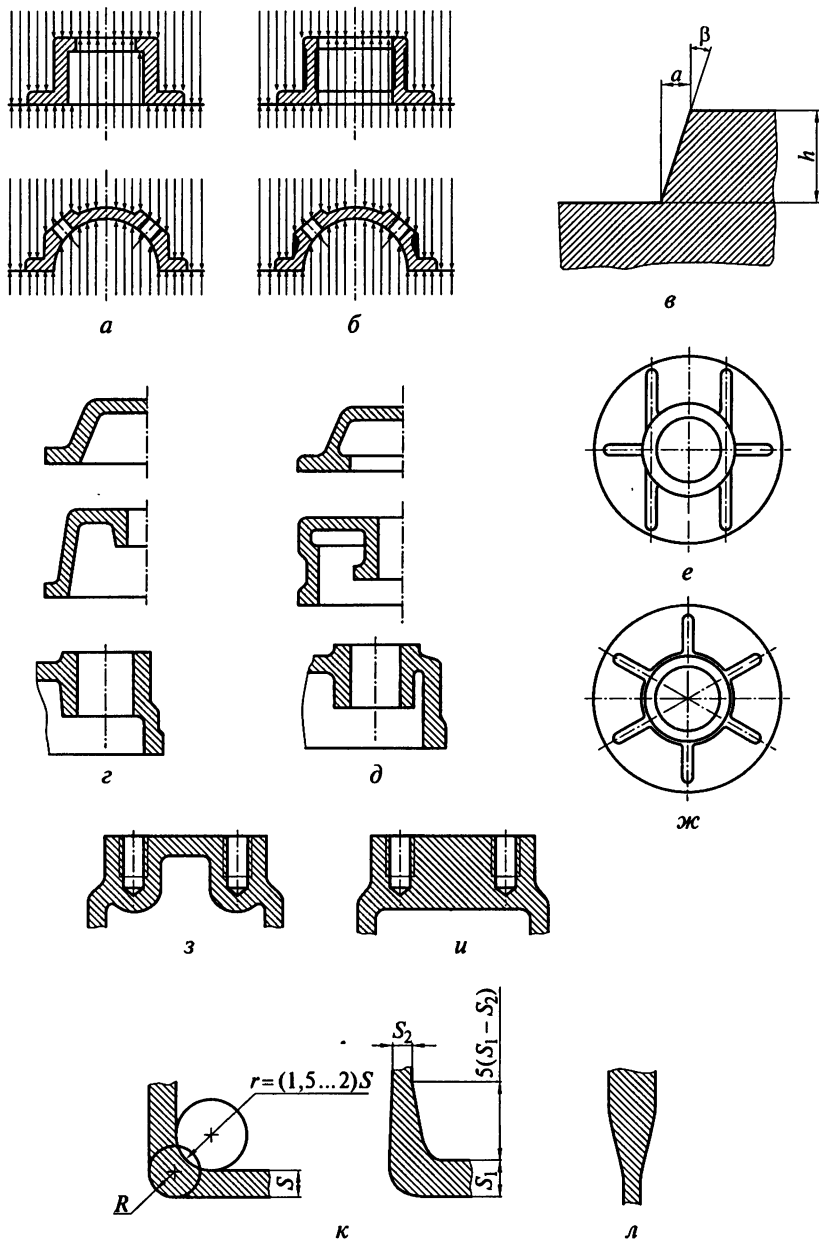


Рис. 2.1. Примеры технологичных (а, в, г, е, з) и нетехнологичных (б, д, ж, и) конструкций литых заготовок; сопряжения стенок отливок (к, л): a, h — ширина и высота уклона стенки заготовки соответственно; β — угол уклона стенки заготовки; r, R — радиусы фланцев; S, S_1, S_2 — толщина стенок заготовок

следует избегать разъема форм по наклонным и ступенчатым поверхностям;

на поверхностях, перпендикулярных плоскости разъема, необходимо предусматривать технологические литейные уклоны (рис. 2.1, *в*), для которых отношение $a:h$ может меняться от 1:5 до 1:50 в зависимости от размера h . Для $h = 25 \dots 5000$ мм угол уклона β составляет соответственно $5,5 \dots 3^\circ$;

внутренние полости отливок следует выполнять открытыми, без поперечных полостей, глубоких впадин и карманов (ср. рис. 2.1, *з, д*);

ребра жесткости следует располагать в плоскости разъема формы, перпендикулярно ей (ср. рис. 2.1, *е, ж*). При этом верхушка ребра должна иметь галтели радиусом не менее 1 мм, а основание ребер соединяют со стенкой галтелью радиусом $R = 0,5S$, где S — толщина стенки. Толщину наружных ребер принимают равной $(0,6 \dots 0,7)S$, внутренних — $(0,5 \dots 0,6)S$. Ребра необходимо располагать ниже обрабатываемых поверхностей на 3...5 мм.

Конструкция отливки должна обеспечивать благоприятные условия заполнения формы металлом и охлаждения отливки, поэтому:

в конструкциях следует избегать местных скоплений металла, утолщений, массивов (ср. рис. 2.1, *з, и*);

толщина фланцев не должна превышать $(1,5 \dots 2)S$, где S — толщина прилегающей стенки (рис. 2.1, *к*);

стенки с перепадами сечений целесообразно соединять клиновидным переходным участком длиной $l \geq 5(S_1 - S_2)$ (см. рис. 2.1, *к*) или клиновыми переходами с уклоном 1:10 (рис. 2.1, *л*);

отливать отверстия диаметром менее 20 мм экономически невыгодно;

толщина внутренних стенок не должна превышать 0,8 толщины наружных.

Конструкция отливки должна обеспечивать удобство механической обработки:

- поверхности заготовки, принятые за установочные базы при механической обработке, должны располагаться в одной опоре для исключения влияния смещений опок и стержней на их точность;

- ответственные поверхности заготовки должны занимать нижнее положение в форме, так как в верхних частях заготовки на поверхности могут возникать газовые раковины.

После удаления отливки из формы необходимо произвести обрубку прибылей, литников, выпоров и заливов по месту сопряжения полуформ. Литники чугунных отливок отбивают молотками, стальных — газовой или плазменной резкой, у отливок из цветных металлов и сплавов — на ленточных и дисковых пилах. Очистку отливок для удаления пригара, остатков формовочной и стержневой смеси осуществляют в галтовочных барабанах, гидropескоструйных и дробометных камерах, химической или электрохимической обработкой и другими способами.

Литье в оболочковые формы. Сущность литья в оболочковые формы заключается в изготовлении отливок путем заливки расплавленного металла в разовую тонкостенную разъемную литейную форму, изготовленную из песчано-смоляной смеси с термоактивной связкой по металлической нагреваемой модели. Ко времени затвердевания металла форма легко разрушается, не препятствуя усадке металла, остаточные напряжения в отливке незначительны. Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую форму отливок, что позволяет в 1,5—2 раза снизить объем снимаемого металла при обработке заготовки. Высокая прочность оболочек позволяет изготавливать формы тонкостенными, что значительно сокращает расход формовочных материалов (в 10—20 раз меньше, чем при литье в песчаные формы). Толщина стенок отливок 2...15 мм, масса 0,25...2000 кг, класс точности основного размера заготовки 5г—11, шероховатость поверхности Rz 20...160 мкм. Литьем в оболочковые формы получают такие сложные детали, как коленчатые и кулачковые валы, ребристые цилиндры, крыльчатки; при этом часть поверхностей заготовок не требует механической обработки, так как можно обеспечить низкую шероховатость поверхности, применяя мелкозернистый кварцевый песок для песчано-смоляной смеси формы. Метод пригоден для получения заготовок из черных металлов и сплавов цветных металлов.

Конфигурация заготовки должна иметь плоские или цилиндрические поверхности; нежелательны нежесткие заготовки большой длины при малой ширине или толщине, поскольку такая конструкция приводит к их короблению при охлаждении в форме. Разъем формы должен быть плоским. Толщину стенок отливок предпочтительно выполнять одинаковой, чтобы обеспечить равномерное охлаждение и рекристаллизацию металла. Литейные уклоны — не менее 1° . При малой толщине стенок отливки отверстия можно выполнять без стержней по модели. Для стальных отливок радиусы закруглений должны быть не менее 3 мм, переходный угол для различных утолщений $30...45^\circ$, минимальные размеры проливаемых отверстий 6...8 мм.

Литье по выплавляемым моделям. Сущность литья по выплавляемым моделям сводится к изготовлению отливок заливкой расплавленного металла в разовую тонкостенную неразъемную литейную форму. Формы изготавливают из керамической огнеупорной суспензии по моделям разового использования, состоящим из легкоплавких компонентов: парафина, стеарина и др. Метод применяется для изготовления сложных и точных отливок из труднодеформируемых и труднообрабатываемых сплавов с высокой температурой плавления и является самым длительным и трудоемким процессом из всех методов литья. Керамическая суспензия позволяет точно воспроизвести контуры модели.

Неразъемная литейная форма с малой шероховатостью поверхности способствует получению отливок с высокой точностью геометрических размеров и малой шероховатостью поверхности, что значительно снижает объем механической обработки заготовок. Класс точности размеров отливок 3—9, шероховатость поверхности Rz 10...20 мкм (Ra 3,2...6,3 мкм).

Часто такие заготовки вообще не обрабатывают или обрабатывают только сопрягаемые поверхности. Данный метод позволяет получать отливки массой от нескольких грамм до 0,15 т с толщиной стенки 1...5 мм. Тонкие стенки можно получать только на небольших поверхностях (не более 75×75 мм), так как в противном случае происходит коробление стенок формы. Желательно выдерживать одинаковую толщину стенок, минимальный радиус закругления стенок 1...3 мм. Отливки могут быть получены практически без литейных уклонов (уклон $0,5^\circ$ нужен только для удаления расплавленной модельной смеси из формы).

Литье в металлические формы (кокиль). Сущность кокильного литья заключается в изготовлении отливок заливкой расплавленного металла в многократно используемые металлические литейные формы — кокили. Формирование отливки происходит в условиях интенсивного теплового обмена, т.е. с большей скоростью, чем в песчаных формах. На рабочую поверхность кокиля, изготовленного из серого чугуна или стали, наносят теплозащитные покрытия для предохранения его стенок от воздействия высоких температур заливаемого металла. Хорошо отливаются в кокиль заготовки из цветных металлов и сплавов. Более сложно получать заготовки из чугуна и особенно стали, поскольку температура плавления этих сплавов и температура плавления металла кокиля одинаковы, что требует не только специальных покрытий кокиля, но и дополнительной системы охлаждения. Кокильное литье применяют в массовом и серийном производстве, весь технологический процесс механизирован и автоматизирован. Минимальная толщина стенок заготовки зависит от марки металла или сплава заготовки и площади поверхности стенки: для цветных металлов она составляет 3...6 мм, для чугуна и стали — 6...8 мм; класс точности размеров отливок 5—11, шероховатость поверхности Rz 10...40 мкм (Ra 3,2...12,5 мкм). Металл отливки имеет мелкозернистую структуру, его физико-механические свойства на 15...30 % выше, чем у отливок, полученных в песчаных формах. Метод обеспечивает выход годных заготовок до 75...95 %. Технологические уклоны в зависимости от марки металла или сплава и высоты стенок выполняют от $20'$ до $3^\circ 30'$. Толщина внутренних стенок и ребер составляет 0,6...0,7 толщины наружных стенок. У заготовок из цветных металлов и сплавов, получаемых литьем в кокиль, предельные значения диаметров отверстий $d = 8...10$ мм при глубине отверстий, равной $(1,5...3)d$.

Центробежное литье. При центробежном литье сплавы заливают во вращающиеся формы: формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок. Класс точности размеров 5—11, шероховатость наружных поверхностей Rz 20...80 мкм. Данным методом получают заготовки типа тел вращения: втулки, гильзы цилиндров, диски, трубы из чугуна, стали, твердых сплавов и цветных металлов. Для литья из титановых сплавов это один из немногих методов получения качественных заготовок. Достоинства центробежного литья:

- получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней;
- большая экономия металла за счет отсутствия литниковой системы;
- возможность получения двухслойных (биметаллических) заготовок, что достигается поочередной заливкой в форму различных металлов: сталь и чугун, бронза и чугун и т. п.

Недостаток этого метода — засорение отливок ликвидами и неметаллическими включениями, что увеличивает объем снимаемого при обработке металла на 25 % по сравнению с другими точными методами литья.

Литье под давлением. Изготовление отливок под давлением происходит в металлических формах, заполненных расплавом металла под избыточным давлением. Значительное давление на расплав (1000 МПа и более) обеспечивает высокую скорость движения расплава металла (0,5...120 м/с) и заполнение формы за десятые и сотые доли секунды, что позволяет получать отливки с толщиной стенок менее 1 мм, массой до 100 кг. Поверхностный слой отливки отличается повышенной прочностью (на 15...20 % больше, чем при литье в песчаные формы) и весьма малой шероховатостью за счет точной обработки (по 6—8-му качествам точности) и тщательного полирования рабочей полости формы. Литье под давлением применяют для получения заготовок из цветных сплавов массой до 1000 кг в условиях массового и крупносерийного производства. Класс точности основных размеров 3т—9 (ГОСТ 26645—85), шероховатость поверхности Rz 2,5...40 мкм (Ra 0,8...12,5 мкм) позволяют обходиться без механической обработки или резко сокращать ее объем, обрабатывая только посадочные места и поверхности сопряжения. В связи с высокими скоростями кристаллизации очень важно, чтобы металл затвердевал по всем сечениям одновременно; этому требованию соответствует конструкция заготовки с минимально возможной разностью толщин стенок. Рациональную плоскость разъема формы определяют, используя правило световых теней (см. рис. 2.1, а). Технологические литейные уклоны зависят от вида сплава и толщины стенки отливки и составляют 10...30' для наружных стенок и 30'...1°30' — для внутренних. Минимальный

Основные характеристики заготовок, получаемых литьем

Способ изготовления	Масса, т	Материал	Точность отливки	Шероховатость поверхности R_z , мкм	Тип производства
Литье в песчаные формы при ручной формовке	0,001...200	Чугун, сталь, сплавы цветных металлов	$\frac{14-17}{9-16}$	80...600	Единичное, мелкосерийное
Литье в песчаные формы при машинной формовке	0,001...2	То же	$\frac{14-16}{9-14}$	80...320	Серийное
Литье в оболочковые формы	До 0,2	»	$\frac{11-15}{5т-11}$	20...160	Серийное, массовое
Литье по выплавляемым моделям	До 0,15	Высоколегированная и труднообрабатываемая сталь	$\frac{10-14}{3-9}$	10...20	То же
Литье в кокиль	До 0,001...7	Сплавы цветных металлов, чугуна, сталь	$\frac{12-15}{5-11}$	10...40	»
Литье под давлением	До 0,1	Сплавы цветных металлов	$\frac{9-14}{3т-9}$	2,5...40	Крупносерийное, массовое
Центробежное литье	До 1	Чугун, сталь, сплавы цветных металлов	$\frac{12-15}{5-11}$	20...80	Серийное, массовое

Примечания: 1. В графе «Точность отливки» в числителе приведен диапазон качественной точности (ГОСТ 25347—82) основных размеров отливок, в знаменателе — соответствующий ему диапазон классов точности размеров (ГОСТ 26645—85); числовые значения характеристик точности и шероховатости соответствуют предельным возможностям данного способа.

2. На практике заготовки из стали в кокиль не отливают.

диаметр отверстий, получаемых в отливках, зависит от вида сплава и глубины отверстия и составляет 1,5... 5 мм.

Основные характеристики заготовок, получаемых литьем, приведены в табл. 2.1.

2.3. ЗАГОТОВКИ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ОБРАБОТКОЙ ДАВЛЕНИЕМ (КОВКОЙ И ШТАМПОВКОЙ)

Обработкой давлением получают заготовки из металлов, обладающих пластичностью, — стали конструкционные, легированные и др., сплавы цветных металлов.

Поковкой называют заготовку, полученную ковкой или штамповкой. Исходными заготовками для получения поковок являются слитки или сортовой прокат круглого, квадратного или прямоугольного сечения. Многообразие форм, размеров и массы поковок, марок металлов и сплавов, типов и характера производства обусловило создание различных способов изготовления поковок.

В единичном и мелкосерийном производстве простые по форме заготовки большой массы получают методом свободнойковки на прессах и молотах. Заготовки, получаемые методами горячей объемной штамповки, можно изготавливать штамповкой в открытых и закрытых штампах, выдавливанием и прошивкой, штамповкой на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ), гибкой и вальцовкой на гибочных машинах, прессах и ковочных вальцах, радиальным обжатием, высадкой, раскатыванием, накатыванием зубьев на специальном оборудовании. Методами холодной объемной штамповки получают заготовки на гидравлических прессах, специальных холодновысадочных автоматах; методами холодной листовой штамповки — на специальных штампах для листовой штамповки. Технологичность поковок обеспечивается прежде всего рациональной, простой геометрической формой, удобством их извлечения из штампов, свободным заполнением металлом полости штампа, стойкостью штампа и т. п.

Свободная ковка. Данный метод является универсальным для изготовления поковок на молотах или прессах. Ковкой получают заготовки для самых разнообразных деталей массой от 10 г до 250 т, с точностью размеров по 15—16-му качествам (допуски составляют 3... 30 мм), шероховатостью поверхности до Rz 80 мкм. Поскольку форма заготовки лишь приблизительно напоминает форму готовой детали, такие поковки требуют большого объема механической обработки — до 50... 70 % металла может уходить в стружку.

При ковке заготовок партиями 30—50 шт. применение колец и подкладных штампов (рис. 2.2) позволяет получать заготовки более сложной формы, массой до 150 кг (главным образом, мелкие — до 5 кг) и сократить расход металла на 15... 20 % за счет отсут-

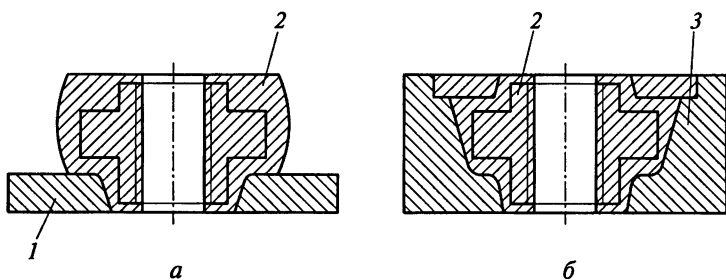


Рис. 2.2. Схемыковки:

a — с подкладным кольцом; *б* — с подкладным штампом; 1 — кольцо; 2 — заготовка; 3 — подкладной штамп

ствия напусков. Точность изготовления поковок из углеродистых и легированных сталей при ковке на молотах устанавливают по ГОСТ 7829—82, а при ковке на прессах — по ГОСТ 7062—90.

Точность размеров поковки при свободной ковке в подкладных штампах обеспечивают в пределах 15-го качества, допуски основного размера составляют 1...2,5 мм, шероховатость поверхности до $Rz\ 80$ мкм. В процессековки улучшаются физико-механические свойства металлов и сплавов, особенно ударная вязкость, поэтому ответственные детали машин (диски турбин, роторы, валки прокатных станов, коленчатые валы судовых двигателей) производят из поковок. Основными операциямиковки являются осадка, протяжка, прошивка, рубка, гибка, закручивание и др.

В конструкциях поковок, полученных свободной ковкой, следует избегать:

конических и клиновых (рис. 2.3, *б*) форм;

участков пересечений цилиндрических поверхностей между собой (рис. 2.3, *з*) и с призматическими поверхностями (рис. 2.3, *е*);

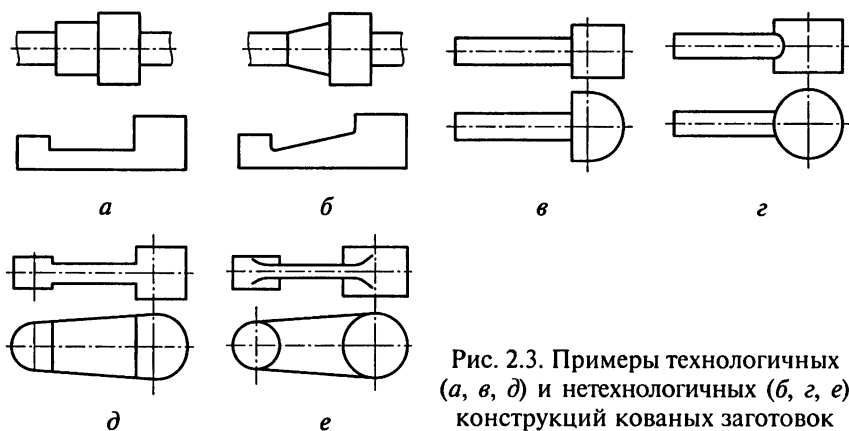


Рис. 2.3. Примеры технологичных (*a*, *в*, *д*) и нетехнологичных (*б*, *з*, *е*) конструкцийкованыхзаготовок

ребристых сечений, бобышек, выступов, поскольку такие элементы трудно изготовить ковкой.

В местах сложной конфигурации приходится прибегать к напускам для упрощения формы, что увеличивает объем механической обработки.

Горячая объемная штамповка. Данным способом получают заготовки для ответственных деталей массой 0,5... 50 кг. Поковки массой 100... 150 кг для объемной штамповки считаются крупными. В зависимости от типа применяемого штампа различают штамповку в открытых или закрытых штампах, а также в штампах для выдавливания.

При *штамповке в открытых штампах* (рис. 2.4, а) исходными заготовками являются прокат или поковки. Для проката применяют многоручьевые штампы с заготовительным (для придания заготовке переходных форм) и окончательным ручьями; для поковок штамп имеет только окончательный ручей.

При *штамповке в закрытых штампах* формообразование металла происходит в закрытом пространстве (рис. 2.4, б), так как замок штампа обеспечивает смыкание его половин. Зазор в замке составляет 0,1... 0,15 мм. Существенное достоинство этого способа — уменьшение расхода металла, поскольку нет отхода в облой. Энергия молота или усилие пресса почти целиком идут на деформирование поковки, в то время как при штамповке в открытых штампах значительная часть энергии расходуется на деформирование облоя (заусенца). Качество макроструктуры поковок, полученных в закрытых штампах, очень высокое: отсутствует расслоение металла в местах образования заусенца, как это имеет место при штамповке в открытых штампах. Для полного заполнения полости закрытого штампа используют штучную заготовку, равную по объему готовой поковке с учетом отхода металла на угар при нагреве.

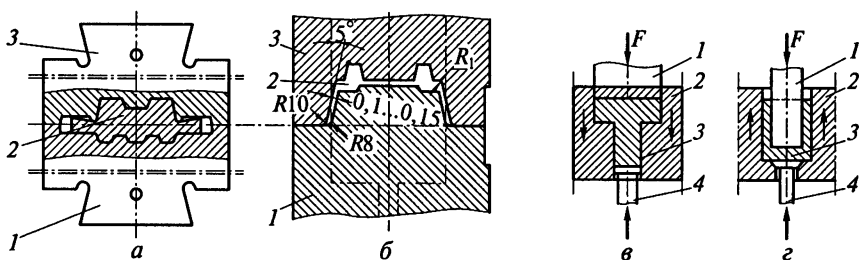


Рис. 2.4. Схемы штамповки:

а, б — в открытом и закрытом штампе соответственно: 1 — нижняя часть штампа; 2 — заготовка; 3 — верхняя часть штампа; в, з — прямого и обратного выдавливания соответственно: 1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — поковка; 4 — выталкиватель; F — сила выдавливания

Хотя закрытые штампы очень дороги в изготовлении и обладают низкой стойкостью, которая объясняется тяжелыми условиями их работы (часть энергии расходуется на соударение половин штампа и жесткое замыкание технологической системы), горячая объемная штамповка обеспечивает получение заготовок более высокой точности: до 14-го качества точности (допуск основного размера $0,7 \dots 11$ мм), шероховатость поверхности $Rz 20 \dots 80$ мкм. Если в дальнейшем проводят калибровку поковки, точность ее размеров повышается до 8—12-го качества, а шероховатость поверхности снижается до $Ra 2,5$ мкм. Методы горячей объемной штамповки применяются в условиях серийного, крупносерийного и массового производства.

К штампуемым поковкам предъявляют следующие требования:

- рациональным является одностороннее расположение ребер, бобышек и других выступающих элементов (рис. 2.5, а), что позволяет повысить точность заготовки, упростить последующую обработку. Нежелательно, чтобы заготовка имела переменную по длине толщину ребер;

- для нормального остывания металла в штампе необходимо избегать резких переходов по сечению заготовки: площадь поперечного сечения по длине заготовки не должна меняться более чем в 3 раза (рис. 2.5, в);

- для удобства выемки заготовки из штампов следует предусматривать штамповочные уклоны на плоскостях, перпендикулярных плоскости разъема штампа, в которой должно располагаться максимальное по площади сечение поковки. Величина штамповочных уклонов зависит от способа штамповки;

- при штамповке (высадке) утолщений на концах стержней диаметр высаженной части D не должен превышать $4d$, где d — диаметр исходной заготовки, а высота утолщения h не должна быть более $(0,02 \dots 0,125)D$ (рис. 2.5, д);

- вместо цельноштампованных заготовок сложной формы целесообразно использовать комбинированные сварно-штампованные заготовки. При этом заготовку расчленяют на отдельные штампуемые элементы простой формы, свариваемые затем между собой (рис. 2.5, ж);

- желательно, чтобы поверхностью разъема была плоскость, однако в некоторых случаях ломаная поверхность разъема позволяет избежать напусков, необходимых для свободного извлечения поковки, что уменьшает объем механической обработки и расход металла. Угол наклона α ломаной поверхности разъема (рис. 2.5, и) не должен быть более 60° , так как в противном случае увеличивается износ штампа;

- желательно, чтобы форма штампуемой заготовки была симметрична относительно поверхности разъема, при этом улучша-

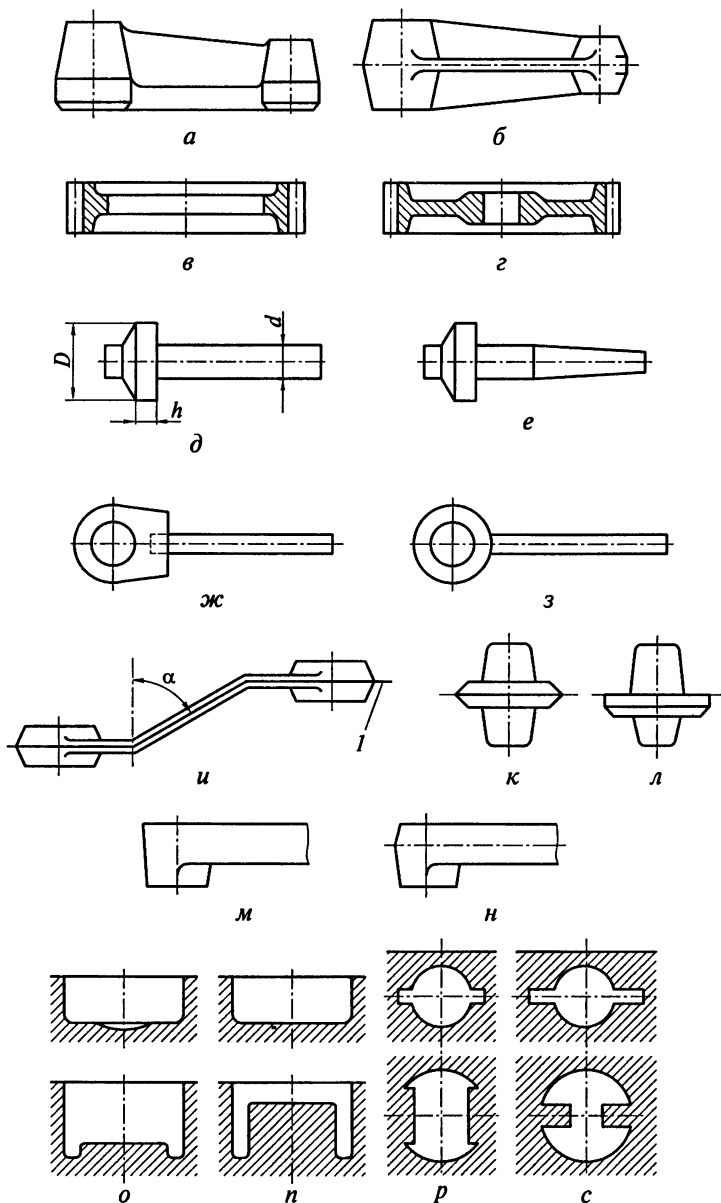


Рис. 2.5. Примеры технологичных (*а, в, д, ж, к, м, о, р*) и нетехнологичных (*б, г, е, з, л, н, п, с*) конструкций заготовок, получаемых штамповкой; *и* — ломаная поверхность разреза:

l — линия разреза; *d* — диаметр исходной заготовки; *D* — диаметр высаженной части; *h* — высота утолщения; α — угол наклона ломаной поверхности разреза

ется заполнение штампа металлом, уменьшается его износ и повышается производительность (рис. 2.5, *к*);

- рациональным является расположение штампуемой заготовки в одной половине штампа (рис. 2.5, *м*), что значительно снижает его стоимость и повышает точность заготовки.

К штамповке в закрытых штампах можно отнести *штамповку выдавливанием* (см. рис. 2.4, *в, г*) и *прошивкой* — штампы в этих случаях выполняют по типу закрытого и отхода в заусенец (облой) не предусматривается. Для реализации этого способа получения поковок используют кривошипные горячештамповочные и гидравлические прессы, горизонтально-ковочные машины. Получают поковки массой до 75 кг, круглые, конические или ступенчатые, фасонного сечения, типа стаканов (втулок), с глубокой глухой или сквозной полостью и односторонним фланцем, типа стержней с массивной головкой различной формы. Штамповка выдавливанием и прошивкой обеспечивает снижение расхода металла до 30 %, плотную микроструктуру металла, точность размеров, соответствующую 12-му качеству точности (допуски основного размера 0,2... 0,5 мм), высокое качество поверхностного слоя и низкую шероховатость R_z 20... 80 мкм.

При выдавливании полостей следует избегать излишних ступеней, кромок, пазов; глубокие полости должны иметь уклоны боковых поверхностей. Острые кромки должны быть притуплены скруглениями радиусом не менее 0,3... 0,5 мм. Форма поверхности должна быть выпуклой, чтобы уменьшить усилие деформирования (рис. 2.5, *о, р*).

Штамповкой на ГКМ можно получать заготовки массой до 30 кг типа тел вращения: в виде стержней с головками или утолщениями, полые со сквозными или глухими отверстиями, с фланцами и выступами. Штамп ГКМ состоит из трех частей (неподвижной, подвижной матриц и пуансона), размыкающихся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, что позволяет выполнять такие операции, как высадка, прошивка и пробивка. На ГКМ можно получать не только стальные поковки, но и поковки из пластичных сплавов цветных металлов.

При штамповке на ГКМ заготовка должна иметь одностороннее утолщение или фланец, причем объем этого утолщения не должен быть более $10\pi d^2/4$, где d — диаметр исходной заготовки. Толщина стенок заготовок с отверстиями должна быть не менее 0,15 наружного диаметра заготовки. Сужения в продольном сечении заготовки затрудняют течение металла при штамповке, поэтому их следует избегать, так же как и хвостовиков конической формы. Качество поковок, получаемых на ГКМ, определяется ГОСТ 7505—89: точность размеров соответствует 14-му качеству (допуск основного размера составляет 0,7... 3,4 мм), шероховатость поверхности R_z 20... 80 мкм. Способ применяется в серийном, крупносерийном и массовом производстве.

У заготовок, полученных в открытых штампах, необходимо обрезать облой (заусенцы) и пробить пленку в отверстиях, что выполняют в штампах на кривошипных прессах как в холодном, так и горячем состоянии. После термической обработки (отжига) для снятия внутренних ковочных напряжений заготовку правят для устранения искривления осей и искажения профиля поперечных сечений, возникающих при ее затрудненном извлечении из штампа. Очистку поковок от окалины осуществляют в галтовочных барабанах, дробью и травлением в водных растворах кислот, нагретых до температуры 40...60 °С.

Для повышения точности размеров всей поковки или ее отдельных участков выполняют *калибровку*, после чего механическая обработка устраняется полностью или ограничивается только шлифованием. Как правило, калибровку проводят в холодном состоянии. Плоскостная калибровка служит для получения точных вертикальных размеров. Обычно точность после калибровки составляет $\pm(0,1 \dots 0,25)$ мм, а при калибровке с повышенной точностью допуск на размер в 2 раза меньше. Плоскостную калибровку выполняют на кривошипно-объемных прессах. Объемной калибровкой повышают точность размеров поковки в разных направлениях и улучшают качество ее поверхности, обеспечивают точность размеров в пределах 0,05...0,1 мм, шероховатость поверхности Ra 3,2...12,5 мкм. Калибруют в штампах с ручьями, соответствующими конфигурации поковки, или чеканочных прессах.

Гибкой получают изогнутые в одной или нескольких плоскостях поковки, полученные из проката различного профиля (стандартного и специального). Нежелательны на заготовке участки с малым радиусом гибки, поскольку на них возникают искажения профиля.

Вальцовкой получают поковки переменного сечения массой до 5 кг, длиной до 50...60 мм, предпочтительно несложной конфигурации типа слесарного инструмента (гаечных ключей), шатунов, кулачков, звеньев цепей и т. п. Кроме того, на вальцах фасонируют заготовки для последующей штамповки.

Схема действия ковочных вальцов, на двух валках которых закрепляют секторные штампы, показана на рис. 2.6, а. Профилируют и штампуют поковку в одном или нескольких ручьях, при этом исходное сечение заготовки принимают равным максимальному сечению поковки, так как при вальцовке происходит главным образом протягивание заготовки. Допуск по длине заготовки 1...5 мм, по высоте и ширине 0,5...0,8 мм, что соответствует 14—15-му квалитетам точности, шероховатость поверхности Rz 20...80 мкм. Способ применяется в массовом производстве.

Специальные методы горячей объемной штамповки. К специальным методам горячей объемной штамповки относят радиальное обжатие, электровысадку и накатывание зубьев.

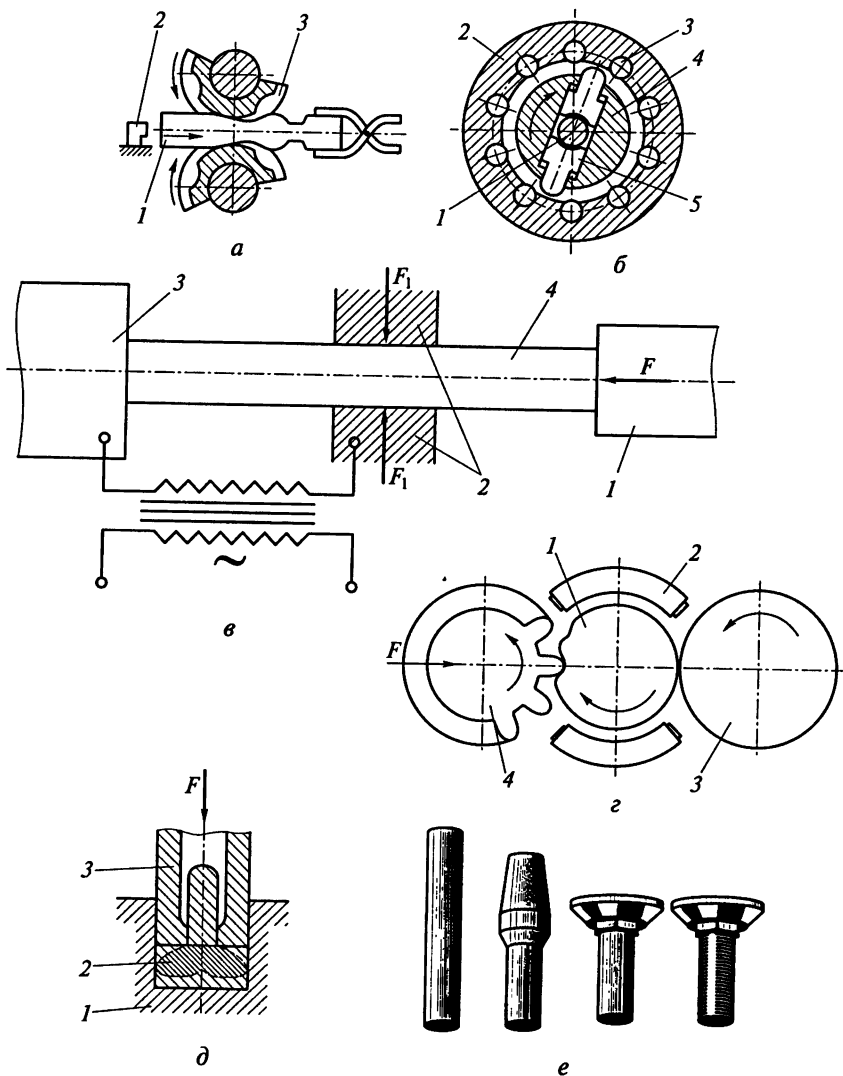


Рис. 2.6. Схемы горячей (а—з) и холодной (д—е) штамповки:

а — в ковочных вальцах: 1 — заготовка; 2 — упор; 3 — секторные штампы; б — в ротационно-ковочной машине: 1 — заготовка; 2 — обойма; 3 — шарики в обойме; 4 — шпиндель; 5 — бойки; в — электровысадкой: 1 — толкатель; 2 — радиальные контакты; 3 — торцевой контакт; 4 — заготовка; F — сила высадки; F_1 — усилия радиальных контактов; з — накатыванием зубьев колеса: 1 — заготовка; 2 — индуктор; 3 — ролик; 4 — зубчатый валок; д — прямым выдавливанием: 1 — матрица; 2 — заготовка; 3 — пуансон; F — сила выдавливания; е — высадкой винта из прутка

Радиальное обжатие происходит при вращении инструмента или заготовки. При обкатывании заготовки инструментом очаг деформации имеет локальный характер и постоянно перемещается по заготовке, вследствие чего сила, действующая на инструмент, меньше, чем при штамповке. Это позволяет получать поковки большей массы (например, заготовки вагонных осей) высокой точности из-за уменьшения деформаций при меньших силах. Радиальное обжатие заготовок в виде прутка или трубы выполняют на ротационно-ковочных машинах (схема действия показана на рис. 2.6, б). В машинах такого типа получают поковки — тела вращения под ударом бойков 5, на которые при вращении шпинделя 4 воздействуют шарики 3, закрепленные в обойме 2. Радиальным обжатием получают, например, ступенчатые цилиндрические или конические валы, трубы с коническими хвостовиками с точностью размеров по 11—13-му квалитетам, шероховатостью поверхности Ra 0,8...2,5 мкм. Максимальные размеры заготовок: прутки диаметром 4...110 мм, трубы диаметром 10...200 мм; материал — обычные углеродистые, жаропрочные стали и малопластичные сплавы. Метод экономичен в условиях серийного производства.

Электровысадка заготовок — тел вращения диаметром 50...60 мм производится на горизонтальных или вертикальных электровысодочных машинах с одновременным местным контактным электронагревом до 900...1000 °С токами низкого напряжения в течение 2...4 с. Получают поковки в виде стержней с массивными утолщениями на конце или определенной части заготовки: клапаны, валы с фланцами и т. п. Принципиальная схема электровысадки показана на рис. 2.6, в. Этот метод штамповки не дает окалины. Точность размеров заготовки по 9—10-му квалитетам, шероховатость поверхности Ra до 3,2 мкм. Метод применяется в условиях серийного производства.

Накатывание зубьев проводится при обкатке нагретой штучной или прутковой заготовки в зубчатых валках — на вертикальных и горизонтальных зубопрокатных станках. Принципиальная схема горячего накатывания показана на рис. 2.6, г, где заготовка 1 нагревается токами высокой частоты с помощью индуктора 2, а зубчатый валок 4 под действием силы F формирует на ней зубья, вдавливаясь в заготовку. Накатывание зубьев в горячем состоянии проводят при модуле $m > 2,5$ мм (при $m \leq 2,5$ мм проводят холодное накатывание). Получают зубья с модулем до 10 мм цилиндрических, конических и шевронных зубчатых колес диаметром до 600 мм. При горячем накатывании получают зубья 8-й степени точности с шероховатостью поверхности Ra 1,6...6,3 мкм. Изготовление зубчатых колес методом горячего накатывания повышает износостойкость и усталостную прочность зубьев на 20...30 %, что объясняется благоприятной макроструктурой металла, при которой волокна расположены по профилю сечения зубьев (обте-

Основные характеристики заготовок, получаемых ковкой и горячей объемной штамповкой

Метод получения	Масса, т, или размеры	Материал	Квалитет точности размеров	Шероховатость поверхности, мкм	Тип производства
Свободная ковка	До 250	Углеродистая и легированная сталь	15—16	До Rz 80	Единое, мелкосерийное
Ковка в подкладных штампах	До 0,15	То же	15	До Rz 80	Мелкосерийное
Штамповка: в открытых штампах	0,15 ... 0,4	»	14—15	Rz 40 ... 80	Серийное, крупносерийное, массовое То же » »
в закрытых штампах с калибровкой выдавливание	0,05 ... 0,1 — До 0,075	» » »	14 8—12 12	Rz 20 ... 80 До Ra 2,5 Rz 20 ... 80	
на ГКМ	До 0,03	Углеродистая и легированная сталь, сплавы цветных металлов	14	Rz 20 ... 80	
с объемной калибровкой	2,5 ... 80*	То же	8—12	Ra 2,5	
Вальцовка	До 0,05	Углеродистая и легированная сталь	14—15	Rz 20 ... 80	Массовое
Специальные методы: радиальное обжатие	До 0,5	Углеродистая и жаропрочная сталь, малопластичные сплавы	11—13	Ra 0,8 ... 2,5	Серийное »
электровысадка накатывание зубьев	Диаметр 50 ... 60 мм Модуль 2,5 < m < 10, мм, диаметр до 600 мм	Углеродистая и легированная сталь	8-я степень точности зубьев	До Ra 3,2 Ra 1,6 ... 6,3	Крупносерийное, массовое

* Указана площадь калибруемой поверхности, см².

кают его контуры). Расход металла на 18...40 % меньше, чем при получении зубьев на зубонарезных станках, а производительность в несколько раз выше, чем производительность черногого зубофрезерования.

Основные характеристики качества поковок представлены в табл. 2.2.

Холодная объемная штамповка. Под холодной штамповкой понимают штамповку без предварительного нагрева заготовки. Такой процесс соответствует условиям холодного деформирования. При холодной штамповке отсутствует окисленный слой на поверхности заготовки (окалина), что обеспечивает хорошее качество поверхности и достаточно высокую точность размеров с уменьшением объема обработки резанием. Точность размеров соответствует 8—15-му квалитетам, шероховатость Ra 3,2... 12 мкм и ниже. Основные разновидности холодной объемной штамповки — это выдавливание, высадка и штамповка в открытом штампе. Холодное течение металла обеспечивает лучшую микро- и макроструктуру металла, поэтому этими способами получают заготовки деталей, работающих в тяжелых условиях абразивного изнашивания, при ударных и знакопеременных нагрузках, тепловых и других вредных факторах, например шаровые пальцы рулевой тяги, поршневые пальцы, седла клапанов, корпуса свечей и др. Холодной штамповкой можно получать заготовки из черных и цветных металлов и сплавов.

При *выдавливании* заготовку помещают в полость, из которой металл выдавливают в отверстия, имеющиеся в рабочем инструменте. Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание. На рис. 2.6, *д* показана схема прямого выдавливания заготовки. Выдавливание обычно выполняют на кривошипных или гидравлических прессах. При выдавливании можно получать без разрушения заготовки весьма больших степеней деформации, которые характеризуются показателем $K = S_0/S$, где S_0 и S — соответственно площадь поперечного сечения исходной заготовки и ее выдавленной части.

Для весьма мягких пластичных материалов (алюминиевые трубы диаметром 20...40 мм с толщиной стенки 0,1...0,2 мм) $K \geq 100$.

Холодную высадку выполняют на специальных холодновысадочных автоматах. Можно получать заготовки диаметром 0,5...40 мм (в том числе с местными утолщениями), сплошные и с отверстиями (заклепки, болты, винты, гвозди, шарики, ролики, гайки, звездочки и т. п.). Исходным материалом являются прутки или проволока. На рис. 2.6, *е* показаны последовательные переходы изготовления винта из прутка.

Штамповкой на холодновысадочных автоматах обеспечивается достаточно высокая точность размеров и хорошее качество поверхности, вследствие чего некоторые детали не требуют дальнейшей

Основные характеристики заготовок, получаемых холодной объемной штамповкой

Способ получения	Размер или поверхность	Квалитет точности размеров	Шероховатость поверхности Ra , мкм
Выдавливание цветных сплавов	Внутренняя поверхность	8—10	До 0,04
	Наружная поверхность	12—15	До 0,16
	Длина	12—15	—
Выдавливание черных сплавов	Внутренняя поверхность	8—10	До 0,16
	Наружная поверхность	12—15	До 10
	Длина	12—15	—
Высадка	Поперечный размер	8—9	—
	Длина	11—12	0,8...2,5

механической обработки. Так, в частности, получают метизные изделия (болты, винты, шпильки), причем резьбу выполняют накатыванием.

Основные характеристики заготовок, получаемых выдавливанием и высадкой, приведены в табл. 2.3.

Штамповка на холодновысадочных машинах — очень производительный метод (200—400 дет./мин), применяется в массовом производстве. Этот способ характеризуется высоким коэффициентом использования материала — только 5% металла идет в отход.

Холодная штамповка в открытых штампах происходит по схеме, аналогичной горячей штамповке (см. рис. 2.4, а). Холодной штамповкой можно изготавливать пространственные детали достаточно сложных форм, сплошные и с отверстиями. Холодная штамповка требует больших усилий из-за высокого сопротивления металла деформированию и упрочнения металла в процессе деформирования. Упрочнение сопровождается уменьшением пластичности металла. Чтобы уменьшить вредное влияние упрочнения металла, процесс штамповки расчленяют на переходы, между которыми заготовку подвергают рекристаллизационному отжигу, вследствие чего повышается пластичность металла и уменьшается опасность разрушения заготовки при ее деформировании. Точность размеров заготовки и качество ее поверхности выше, чем у заготовок, полученных горячей штамповкой в открытых штампах. Однако из-за высокой стоимости штампов для холодной штамповки ее следует применять лишь при достаточно большой программе выпуска — в крупносерийном и массовом производстве. Требования технологичности к конструкции заготовок, полученных хо-

лодной штамповкой, аналогичны рассмотренным ранее требованиям к заготовкам, полученным горячей штамповкой, но допустимые углы наклона и радиусы скруглений обычно меньше.

Хотя методы холодной объемной штамповки очень энергоемки, но за счет снижения удельных сил и применения более стойких инструментальных сталей для пуансонов и матриц они обеспечивают более высокое качество заготовок и большую производительность процесса.

Холодная листовая штамповка. Холодной листовой штамповке подвергают металлические и неметаллические материалы, поставляемые в виде листов, полос и лент. Толщина заготовки при листовой штамповке обычно не более 10 мм. Для штамповки металлических листов толщиной более 20 мм требуется нагрев до ковочных температур.

При листовой штамповке чаще всего используют пластичные легированные и низкоуглеродистую стали, медь, латунь, содержащую более 60 % меди, алюминий и его сплавы, магниевые и титановые сплавы. Данным методом получают детали из листовых неметаллических материалов: кожа, целлулоид, органическое стекло, фетр, текстолит, гетинакс и др.

Листовую штамповку широко применяют в различных отраслях промышленности, особенно в авто-, тракторо-, самолето-, ракето- и приборостроении, электротехнической промышленности, для изготовления разнообразных плоских и пространственных деталей массой от долей грамма и размерами, исчисляемыми долями миллиметра (например, секундная стрелка ручных часов), до десятков килограмм и размерами, составляющими несколько метров (облицовка автомобиля, самолета, ракеты).

К достоинствам листовой штамповки относятся возможность получения деталей минимальной массы при заданных прочности и жесткости; достаточно высокая точность размеров и качество поверхности, позволяющие до минимума сократить отделочные операции обработки резанием; сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающих высокую производительность (30 000—40 000 дет. в смену с одной машины); хорошая приспособляемость к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически целесообразной и в массовом, и в мелкосерийном производстве.

Основными операциями листовой штамповки являются отрезка, вырубка и пробивка, гибка и вытяжка.

Отрезка — это операция по отделению части заготовки по незамкнутому контуру на специальных машинах — дисковых или гильотинных ножницах и в штампах. Схемы действия ножниц показаны на рис. 2.7, а, б. Основные типы ножниц: с поступательным движением режущих кромок (см. рис. 2.7, а) и с вращательным (см.

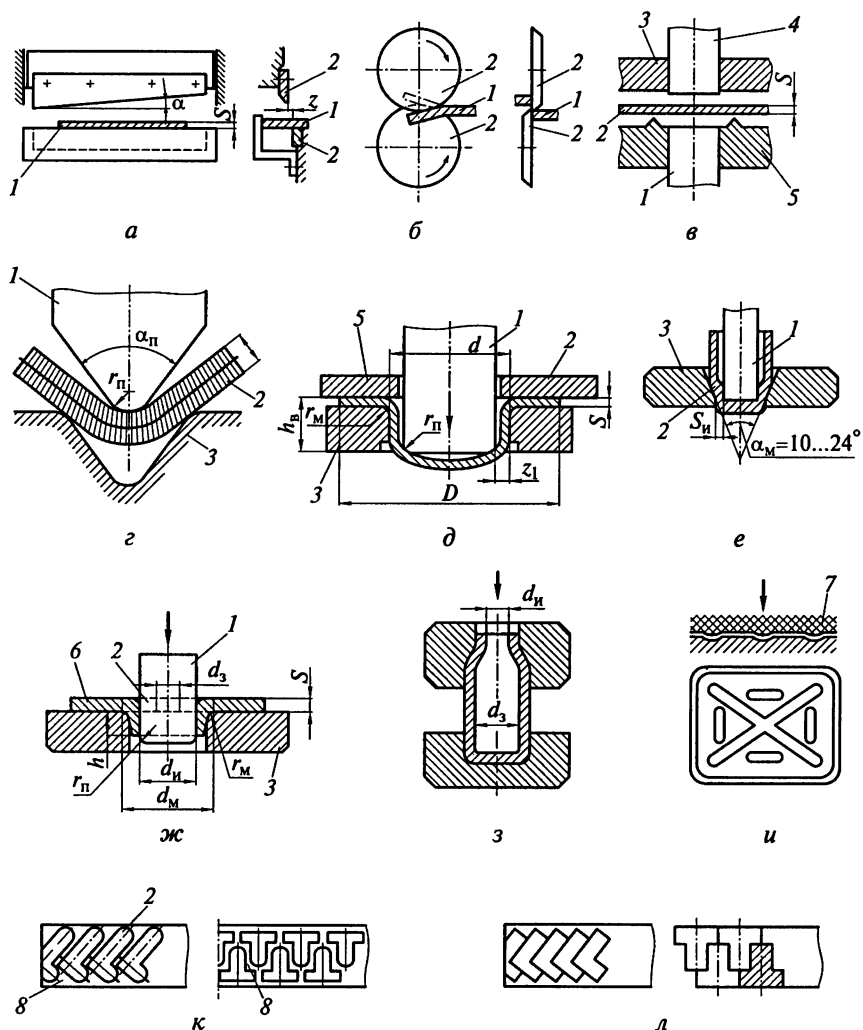


Рис. 2.7. Схемы листовой штамповки:

a, б — действие ножниц при отрезке листа: *1* — заготовка; *2* — ножницы; *z* — зазор между режущими кромками; α — угол наклона ножниц друг к другу; *в* — вырубка со сжатием на специальном прессе; *г* — гибка; *д* — вытяжка без утонения; *е* — вытяжка с утонением; *ж* — отбортовка; *з* — обжим; *и* — формовка ребер жесткости; *к, л* — раскрой листа соответственно с перемычкой и без; *1* — пуансон; *2* — заготовка; *3* — матрица; *4* — контрпуансон; *5* — прижим; *6* — деталь; *7* — резиновый пуансон (подушка); *8* — перемычка листа (отходы после штамповки); *d, D* — размеры заготовки; d_3, d_n, d_m — диаметр отверстия заготовки, изделия и матрицы соответственно; *h* — высота отбортовки; h_b — глубина вытяжки; r_m, r_n — радиус матрицы и пуансона соответственно; *S* — толщина листа; S_n — получаемая толщина изделия; z_1 — зазор, равный $(1,1 \dots 1,3)S$; α_n — угол пуансона; α_m — угол матрицы

рис. 2.7, б). Качество поверхности среза зависит от остроты режущих кромок ножниц и величины зазора z между режущими кромками:

$$z = (0,03 \dots 0,05)S,$$

где S — толщина листа.

Отрезку чаще всего применяют как заготовительную операцию для разделения листа на полосы заданной ширины.

При *вырубке* и *пробивке* характер деформирования заготовки одинаков, эти операции отличаются только назначением: вырубкой оформляют наружный контур детали, а пробивкой — внутренний контур (отверстия различной формы). Более качественную поверхность среза получают вырубкой со сжатием (рис. 2.7, в), когда заготовка со значительной силой прижимается к торцу контрпуансона 4 и рабочей плоскости матрицы 3. Увеличение сжимающих напряжений в зоне вырубki повышает пластичность металла и уменьшает возможность образования трещин у режущих кромок, дающих шероховатую поверхность среза.

Гибка — операция, изменяющая кривизну заготовки практически без изменения ее линейных размеров (рис. 2.7, г). В процессе гибки пластическая деформация сосредоточивается на узком участке, контактирующем с пуансоном, в то время как участки, образующие полки детали, деформируются упруго. В зоне пластических деформаций наружные слои растягиваются, а внутренние (обращенные к пуансону) сжимаются. У середины заготовки (по толщине) находятся слои, деформация которых равна нулю. Поэтому размеры исходной заготовки для заготовок, получаемых гибкой, можно определить с достаточной степенью точности по условию равенства длин исходной и получаемой заготовок по средней линии. Чтобы исключить возможность разрушения заготовки, минимальные радиусы гибки выбирают в зависимости от пластичности материала:

$$r_{\min} = (0,1 \dots 2)S,$$

где S — толщина листа.

Вытяжка без утонения стенки превращает плоскую заготовку в полую пространственную при уменьшении периметра вытягиваемой заготовки (рис. 2.7, д). Без разрушения можно вытягивать заготовки с ограниченной шириной фланца. Формоизменение при вытяжке оценивают коэффициентом вытяжки $K = D/d$, равным $1,6 \dots 2,1$ в зависимости от механических свойств материала.

Вытяжка с утонением стенки увеличивает длину полой заготовки в основном за счет уменьшения толщины стенок исходной заготовки (рис. 2.7, е). Вытяжку с утонением стенки применяют для получения заготовок с толщиной доньшка, большей толщины стенок, заготовок со стенкой, толщина которой уменьшается к краю (в этом случае пуансон 1 выполняют коническим); тонко-

Основные характеристики заготовок, получаемых холодной листовой штамповкой

Способ холодной листовой штамповки	Размер заготовки	Квалитет точности размеров	Шероховатость поверхности Ra , мкм
Отрезка листов при толщине: до 3 мм 3,5 мм более 5 мм	Линейный	12—13 14 14—17	В зоне среза 3,2...25; в зоне скола 12,5...25
Вырубка при толщине: 1,5...20 мм менее 1,5 мм	Диаметр	6—9 6—7	1,6...3,2 (сталь); 0,4...0,8 (цветные металлы и сплавы)
Гибка	Линейный, угловой	12—14 $\pm 15'$	Больше исходной
Вытяжка: обычная с утонением	Диаметр Диаметр Толщина	11—12 7—9 7—11	Больше исходной Наружная поверхность 0,1...0,4

стенных заготовок, получение которых вытяжкой без утонения стенки затруднительно из-за опасности складкообразования. При вытяжке с утонением толщина стенки может быть уменьшена на 30 % за один переход. Для алюминиевых, магниевых и титановых сплавов используют вытяжку с подогревом, при этом глубина вытяжки может быть увеличена вдвое. Для восстановления пластических свойств металла после штамповки вытяжкой применяют отжиг.

Основные характеристики качества заготовок, получаемых холодной листовой штамповкой, приведены в табл. 2.4.

Помимо вышеперечисленных способов холодной листовой штамповки существуют:

- отбортовка (рис. 2.7, ж) — получение бортов путем вдавливания части заготовки с предварительно пробитым отверстием в матрицу. Допустимое (без образования продольных трещин) увеличение диаметра заготовки $d_n/d_3 = 1,2...1,8$ в зависимости от механических свойств материала и ее относительной толщины S/d_3 ;
- обжим (рис. 2.7, з) — уменьшение диаметра краевой части заготовки за счет сужающейся формы матрицы. Обычно за один переход можно получить $d_n = (0,8...0,9)d_3$;
- формовка (рис. 2.7, и) — изменение формы заготовки в результате растяжения отдельных ее участков, на которых толщина стенок уменьшается. Формовкой получают местные выступы на заготовке, ребра жесткости и т. п.

Часто вместо металлических пуансонов применяют резиновый пуансон (подушку) 7.

Операции листовой штамповки используют не только для придания заготовке исходной формы, но и для соединения отштампованных деталей между собой — гибкой или отбортовкой.

При холодной листовой штамповке предъявляются следующие требования к технологичности конструкции заготовок:

- конфигурация деталей должна обеспечивать минимальный расход металла при раскрое. Между смежными контурами заготовок оставляют перемычки δ (рис. 2.7, *к*) шириной, примерно равной толщине заготовки; если конфигурация одной стороны заготовки является копией другой ее стороны, смежные заготовки можно вырубать без перемычек (рис. 2.7, *л*). При этом существенно экономится металл, но ухудшается качество среза и происходит снижение стойкости инструмента;

- из условий прочности инструмента при вырубке размеры деталей не могут быть меньше двух толщин стального листа и 1,2 толщины алюминиевого или медного листа;

- минимальные размеры пробиваемых отверстий в зависимости от их формы (круглое, квадратное, прямоугольное, овальное) составляют для заготовок из мягкой стали $(0,7 \dots 1,2)S$, твердой стали — $(0,9 \dots 1,5)S$, титановых сплавов — $(1,75 \dots 2)S$, латуни и меди — $(0,6 \dots 0,9)S$, цинка — $(0,5 \dots 0,8)S$, бакелита и текстолита — $(0,4 \dots 0,7)S$, картона — $(0,3 \dots 0,6)S$, где S — толщина листа;

- расстояние между отверстием и краем заготовки и соседними отверстиями для заготовок из мягких сталей принимают равным $(0,7 \dots 1,5)S$;

- при гибке высота прямой части отгибаемых стенок должна быть больше удвоенной толщины листа; меньшая высота может быть получена при наличии выдавленной канавки у отгибаемой стенки;

- во всех формоизменяющих операциях технологические требования определяются предельными величинами показателей деформации — минимальным относительным радиусом гибки и предельными коэффициентами вытяжки, отбортовки, обжима. Так, при гибке под углом 90° минимальный радиус изгиба $r = KS$, где S — толщина листа. Для углеродистой стали $K = 0,5 \dots 2$, коррозионно-стойкой стали $K = 1$, титановых сплавов $K = 2 \dots 3,5$, латуни $K = 0,3 \dots 0,5$, алюминия $K = 0,35$.

2.4. ЗАГОТОВКИ ИЗ ПРОКАТА

Заготовки из проката используют при непосредственном изготовлении деталей на металлорежущих станках и для получения поковок. Весь сортамент машиностроительных прокатных профилей разделен на четыре основные группы: сортовые профили, листовой материал, трубы и периодические профили, примеры которых

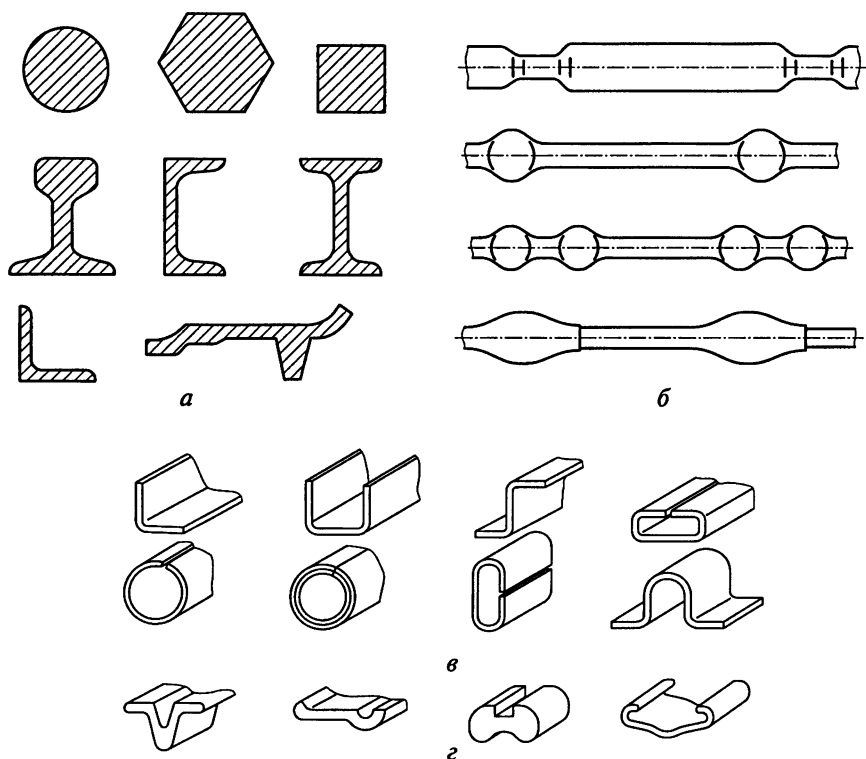


Рис. 2.8. Типы заготовок из проката:

a — сортовой прокат; *б* — периодический прокат; *в* — гнутые профили; *z* — специальный прокат

представлены на рис. 2.8 *a, б*. Прокатке подвергают до 90% всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов.

Горячекатаный прокат получают на прокатных станах методами продольной, поперечной и поперечно-винтовой прокатки, его точность соответствует 12—14-му качеству. Холоднотянутый прокат получают волочением металла в условиях холодной деформации на волочильных станах, при этом обеспечивается точность в пределах 9—12-го качества точности (стальная проволока диаметром 1...1,6 мм имеет допуск 0,02 мм), низкая шероховатость поверхности и получение фасонных тонкостенных профилей. Детали из проката изготавливают после его резки на заготовки из прутка, полосы, листа. Для изготовления деталей соответствующей конфигурации применяют круглый, квадратный, шестигранный, полосовой прокат и бесшовные трубы.

Заготовки, имеющие фасонный профиль и полученные горячей прокаткой, имеют большие технологические напуски (внут-

ренные радиусы скругления, уклоны), увеличивающие их массу. Фасонные тонкостенные профили можно получать профилированием (прокаткой) листового материала в холодном состоянии на профилегибочных станах. Заготовкой для гнутых профилей может быть лента или полоса толщиной 0,3... 10 мм из стали или цветных металлов. Гнутые профили (открытые, закрытые, многослойные) (рис. 2.8, в), легкие и достаточно жесткие, могут быть приближены к форме отдельных элементов конструкции. Таким же образом могут быть получены шовные трубы: после гибки ленты или листа, ширина которых соответствует длине окружности трубы, их кромки сваривают. Можно получать заготовки полых валов, при этом экономия материала достигает 60... 70 %, время обработки резанием сокращается на 20... 40 %. В крупносерийном и массовом производстве применяют специальный прокат (рис. 2.8, г), почти полностью исключаящий обработку резани-

Таблица 2.5

Способы правки и точность заготовок

Способ правки или оборудование	Точность правки, мм на 2 м длины	Область применения
На правильных валках	$\pm(1...2)$	Листовой и угловой прокат
На гибочных и правильных прессах	$\pm(1...0,15)$	Балки и швеллеры, угловой прокат, прутки
На правильно-растяжных машинах	$\pm(0,5...1)$	Листы толщиной до 0,6 мм, проволока, прутки
На правильно-отрезных станках	$\pm(0,5...0,7)$	Круглый, шестигранный, квадратный прокат до 16 мм, материал в мотках и бухтах
На правильно-калибровочных станках	Без обработки $\pm(0,5...1)$; предварительно обточенный $\pm(0,05...0,2)$	Круглый прокат диаметром до 100 мм
На накатных станках гладкими плашками	$\pm(0,05...0,1)$	Короткий, круглый прокат
Ручная: на плитах в зажимных приспособлениях	2...3 0,1...0,25	Плоский и круглый прокат небольшого размера
Ацетиленодуговая	До 0,5	Листы, сортовой фасонный прокат

ем, на долю которой остаются в основном отрезка, сверление отверстий и зачистка.

Правка проката предшествует его резке на мерные заготовки. Чаще применяют правку проката в холодном состоянии, правка в горячем состоянии целесообразна только при большом отклонении от точности пространственного положения или формы (кривизна). Способы правки и получаемая при этом точность заготовок представлены в табл. 2.5.

В результате холодной правки в материале заготовки возникают остаточные напряжения, поэтому ее не применяют при изготовлении особо ответственных деталей машин. Резку проката выполняют газовой резкой (ацетиленокислородная, кислородная, плазменно-дуговая и др.), резкой на ножницах (пресс-ножницы, гильотинные, дисковые, вибрационные, профильные), на пилах и ножовках (дисковых, ленточных), на станках (фрезерно-отрезных, горизонтально-фрезерных, абразивно-отрезных), на специальных станках (анодно-механических, ультразвуковых, электроэрозионных и др.) для заготовок из труднообрабатываемых сталей, из твердосплавных и хрупких материалов. На этом оборудовании можно осуществлять фигурную вырезку заготовки.

2.5. СВАРНЫЕ И КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗАГОТОВКИ

Сварные заготовки состоят из отдельных частей, как правило, полученных из проката различного типа, из разных марок стали и сплавов с помощью сварки. Таким образом получают различные оболочковые конструкции (емкости, резервуары), корпусные (корпуса судов, вагонов, кузова автомобилей) из прямых и гнутых листов, детали машин и приборов (диапазон свариваемых толщин металла от десятых долей миллиметра до сотен миллиметров). На рис. 2.9, *а, б* показаны примеры сварных конструкций. Используя сварку, можно получить безотходный раскрой листа без вырезки заготовки (рис. 2.9, *в*). Материалы составных элементов сварных конструкций должны обладать свариваемостью — способностью к образованию сварного соединения, равнопрочного с основным металлом, без трещин и снижения пластичности в околошовной зоне.

Большинство неразъемных соединений получают сваркой плавлением с использованием мощного теплового источника — электрической дуги. При этом основной металл и электрод плавятся (температура плавления железа 1539 °С), образуя жидкую сварочную ванну. После кратковременного нагрева следует достаточно быстрое охлаждение, т.е. возникает своеобразный термический цикл, который определяет строение сварного шва и околошовной зоны. Шов имеет структуру литого металла, которая образу-

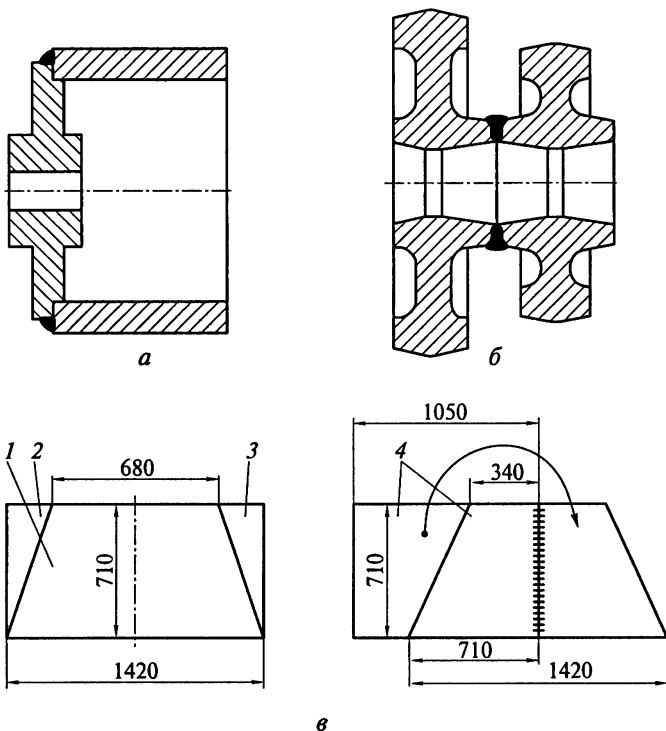


Рис. 2.9. Сварные конструкции заготовок:

а — сварная; *б* — штампованная; *в* — сварная из листа с вырубкой и без: 1 — лист; 2, 3 — вырубаемые части; 4 — части раскроя без вырубки

ется в процессе первичной кристаллизации. Зоны термического влияния имеют разные участки: зоны перегрева, закалки, полной и неполной перекристаллизации, низкого отпуска. Ширина характерных участков зоны термического влияния зависит от режима сварки и толщины свариваемого металла. Свариваемость стали тем выше, чем меньше в ней углерода и легирующих элементов. Влияние углерода является определяющим. С увеличением его концентрации усиливаются склонность к образованию горячих и холодных трещин. Горячие трещины образуются непосредственно в сварном шве в процессе кристаллизации. Причины их возникновения — кристаллизационные усадочные напряжения, а также влияние примесей (серы, фосфора, кислорода), ослабляющих связи между зернами металла. Холодные трещины возникают при охлаждении металла сварного шва ниже $200 \dots 300 \text{ }^\circ\text{C}$; это наиболее распространенный дефект при сварке легированных сталей. Холодные трещины нередко встречаются при сварке низколегированных сталей, особенно с аустенитной структурой. Причина

их возникновения — внутренние напряжения при структурных превращениях (переход аустенита в мартенсит) в результате местной подкалки. Увеличение объема металла при мартенситном превращении вызывает холодные трещины.

Высокой свариваемостью обладают стали, у которых содержание углерода не превышает 0,25 %; в эту группу входят углеродистая сталь 1—4, 05, 08, 10, 15, 20, 25, низколегированная сталь 09Г2, 14Г2, 15ГФ и др., применяемые для различных металлоконструкций (трубопроводов, мостов, вагонов, судов), а также сталь с карбонитридным упрочнением 15Г2СФ, 16Г2АФ и др. Сварка заготовок из этих сталей при толщине металла до 15 мм не вызывает затруднений. Сварка заготовок с большей толщиной и в термически упроченном состоянии требует подогрева и термической обработки. При сварке заготовок из углеродистой и низколегированной стали с содержанием углерода более 0,3 % возникают затруднения из-за возможной закалки и охрупчивания околошовной зоны. Сварка заготовок из высокохромистой и хромоникелевой стали в связи с неизбежными фазовыми превращениями сплавов требует специальных технологических приемов — снижение скорости охлаждения, применение защитных газов и последующая термическая обработка.

Таблица 2.6

Свариваемость металлов

Металл	Свариваемость	Особенности технологии сварки
Низкоуглеродистые, легированные стали: 3, 10, 20, 25, 15НМ, 12Х18Н9Т	Хорошая	Традиционная технология
Углеродистые стали с содержанием углерода менее 0,5 % и легированные стали: 40, 45, 50, 30ХГСА, 5ХНМ	Ограниченная	Термическая обработка и подогрев перед сваркой, термическая обработка после сварки
Углеродистые и легированные стали с содержанием углерода более 0,3 %: 38Х2В8Ф, 50ХГА, У8А, У10А, 60Г	Плохая	Термическая обработка и подогрев перед сваркой (иногда во время сварки), термическая обработка после сварки
Медь, медные сплавы: латунь, оловянные бронзы; алюминиевые сплавы: АМц и АМг	Хорошая	Традиционная технология
Дуралюмины: АЛ9, АЛ16	Плохая	Специальная технология

В табл. 2.6 приведены характеристики металлов, используемых в сварных заготовках.

Конструкция и размеры сварных швов зависят от свариваемого материала, конструкции заготовки и метода сварки. Для снятия остаточных напряжений стальные сварные заготовки подвергают термической обработке — отжигу.

Комбинированные заготовки, в отличие от просто сварных, получены сваркой из элементов, изготовленных по самостоятельному технологическому процессу: литьем, ковкой, штамповкой; поэтому среди комбинированных заготовок выделяют сварно-литые, штампосварные, сварно-ковано-литые и др. Таким образом получают заготовки рам стационарных двигателей внутреннего сгорания, станин тяжелых станков, фундаментальные кольца гидротурбин и т. п.

Иногда предварительно обработанные резанием заготовки устанавливают в форму и заливают расплавом металла, получая заготовки средних размеров; таким методом изготавливают диафрагмы паровых турбин с залитыми лопатками. При значительном упрощении технологии изготовления элементов сварной конструкции комбинированная заготовка получается более легкой: расход металла сокращается до 30 %. При использовании сварных и комбинированных заготовок можно сократить расход дорогостоящих легированных сталей, выполняя из них не всю заготовку, а только наиболее нагруженные и ответственные элементы. Объем механической обработки при использовании таких заготовок сокращается на 20...40 %. Точность размеров комбинированных заготовок с использованием сварки методами плавления соответствует 14—17-му квалитетам. При соединении элементов, полученных точными заготовительными методами (литье в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением, штамповка в многоручьевых штампах с последующей калибровкой, выдавливанием и т. д.) или даже предварительно обработанных, с использованием сварки трением, диффузионной, электронно-лучевой и др. обеспечивают точность размеров в пределах 12—14-го квалитетов.

2.6. ЗАГОТОВКИ, ПОЛУЧАЕМЫЕ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Методом порошковой металлургии получают заготовки из различных материалов (металлов, сплавов, неметаллов). Технология получения заготовки включает в себя:

- получение и подготовку порошков;
- смешивание порошков в необходимых дозах;
- прессование заготовок в специальных пресс-формах;

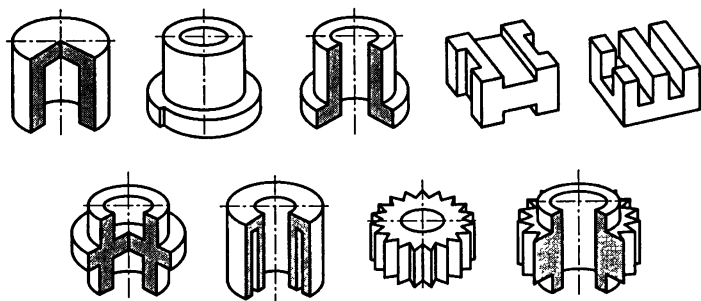


Рис. 2.10. Типы заготовок, получаемых методом порошковой металлургии

термическую обработку (спекание) спрессованных заготовок, обеспечивающую их окончательные физико-механические свойства.

Из порошковых заготовок изготавливают шестерни, кулачки, звездочки, гайки, втулки, храповики, инструментальные пластинки и др. Достоинством порошковой металлургии является возможность получения заготовок из различных марок чугуна, конструкционной и легированной стали, тугоплавких материалов, пористых материалов, цветных металлов и сплавов. Типы заготовок, получаемых методом порошковой металлургии, показаны на рис. 2.10. Наиболее целесообразно методом порошковой металлургии получать заготовки из цветных металлов и сплавов 1—7-й групп сложности, стальные и чугунные заготовки 1—5-й групп сложности в крупносерийном и массовом производстве.

К конструкции заготовок предъявляют следующие требования:

- отношение толщины стенок в направлении прессования к максимальному поперечному размеру не должно превышать единицы. Минимальная толщина стенки заготовки цилиндрической формы равна 1,0... 1,2 мм, для заготовок иной формы — 1,5 мм. Толщина стенок, имеющих глухие отверстия, не менее 2... 3 мм;
- радиусы закруглений внутренних углов сопрягаемых поверхностей — не менее 0,3 мм, наружных — не менее 2,5 мм;
- для обеспечения выталкивания заготовки из пресс-формы стенки заготовки, перпендикулярные плоскости разъема пресс-формы, должны быть выполнены с уклоном 5... 10°;
- утолщения, приливы и фланцы необходимо располагать в плоскости, перпендикулярной направлению прессования, возможно ближе к верхней границе матрицы. Канавки, углубления и выемки следует располагать только в направлении прессования, в противном случае на них делают напуски. Заготовки с узкими пазами и уступами сложно изготовить, так как формообразующие их пуансоны толщиной менее 3... 4 мм трудны в изготовлении и имеют низкую стойкость.

Метод порошковой металлургии позволяет получать заготовки, требующие только отделочной механической обработки, поэтому количество металла, уходящего в стружку, не превышает 5... 10 %. Точность диаметральных размеров заготовки может достигать 6—8-го квалитетов, с шероховатостью поверхности Ra 0,2... 6,3 мкм. Так, зубчатое колесо сателлита редуктора автомобиля, полученное методом порошковой металлургии, обеспечивает зубчатое зацепление по 7-й степени точности, а посадочный внутренний диаметр — по 7-му квалитету точности.

Метод порошковой металлургии экономично применять при объеме выпуска 10 000 шт. заготовок для черных металлов и сплавов и 2000—3000 шт. — для цветных сплавов.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные критерии выбора метода получения заготовки.
2. Какие основные требования к конструкции литых заготовок предъявляет технологический процесс их изготовления?
3. Что представляют собой комбинированные заготовки? В каких случаях целесообразно их применение?
4. В чем преимущество заготовок, полученных методом порошковой металлургии, по сравнению с другими заготовками?
5. Перечислите виды проката, используемого для получения заготовок.
6. На каком оборудовании можно получать штамповки методом выдавливания?
7. Назовите основные требования, предъявляемые к конструкции поковок, полученных горячей объемной штамповкой.
8. Назовите методы получения заготовок, обеспечивающие малоотходную технологию при механической обработке. В каких типах производства они находят применение?
9. Назовите операции листовой штамповки и области их применения.
10. В чем особенность штамповки заготовок в закрытых штампах?
11. Из каких металлов можно получать заготовки при литье в кокиль и литье под давлением?
12. Для чего производится калибровка поковок? Назовите методы калибровки.
13. Какие специальные методы получения заготовок литьем вы знаете? В чем сущность каждого метода?
14. Назовите специальные методы получения заготовок горячей объемной штамповкой. Где они применяются?
15. В чем преимущество методов получения заготовок холодной объемной штамповкой?

ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

3.1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ И ПРИМЕНЯЕМОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Заданную точность размеров, формы и пространственного положения поверхностей деталей, качество поверхности (волнистость, шероховатость) достигают в основном обработкой резанием на металлорежущих станках. В связи с этим особое значение приобретает обрабатываемость материала резанием, которая в основном обусловлена химическим составом материала. Количественно обрабатываемость материала оценивают коэффициентом обрабатываемости, представляющим собой отношение скорости резания, допускаемой при резании определенного материала, к скорости резания, допускаемой материалом, принятым за эталонный. Обычно за эталон принимают сталь 45, для которой коэффициент обрабатываемости принят за единицу. Коэффициенты обрабатываемости ряда металлов приведены в табл. 3.1.

Одним из эффективных способов повышения стойкости режущих инструментов, обеспечивающих уменьшение его износа и сил резания, является применение смазочно-охлаждающих технических средств (СОТС). Они обеспечивают интенсивный отвод теплоты от нагретых участков зоны резания и инструментов, их смазывающее действие положительно влияет на условия контактирования поверхностей инструмента и обрабатываемого материала заготовки.

В зависимости от метода обработки, физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов и режимов обработки применяют жидкие, газообразные и твердые СОТС.

К жидким СОТС относят водные растворы минеральных элементов, эмульсии минералов, растительных и животных масел, растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ) в керосине, масла и эмульсии с добавлением твердых смазочных веществ (графит, парафин); к газообразным — воздух, азот, диоксид углерода, кислород, пары ПАВ; к твердым — неорганические материалы (графит, дисульфид молибдена, тальк, бура) и органические (мыло, воск, парафин).

Поскольку применяемые в процессе резания СОТС должны обеспечивать одновременно охлаждающее, смазывающее, защит-

Механические свойства и коэффициенты обрабатываемости сталей и сплавов

Марка	Предел прочности σ_p , МПа	Твердость, НВ	Коэффициент обрабатываемости K_p
Конструкционные стали: 10, 15, 20, 25, 30, 40, 45, 50, 20Л	590...690 690...750	169...200 200...223	1,1 1
Стали повышенной и высокой обрабатываемости резанием: А12, А15, А15Г, А20, А30	492...590 590...690	138...169 169...200	1,68 1,3
Конструкционные качественные и инструментальные стали с содержанием углерода более 0,6%: 65, 70, У7, У8, У10, У10Г, У12	590...690 690...750	169...200 200...223	0,8 0,67
Легированные стали: 15Х, 20Х, 40Х, ШХ15 и др. 20ХГС, 30ХГСА, 45ХГСЛ, 18ХГТ, 20ХГ и др. 38ХМА, 38ХМЮА, 38Х2МЮА, 40ХН2МА, 18Х2Н4МА, 25ХНВА и др.	590...690 690...787 590...690 690...784 590...690 690...784	174...203 203...230 174...203 203...230 174...203 203...230	0,85 0,67 0,7 0,58 0,8 0,61
Высоколегированные стали: 30Х2ГСН2ВМ, 38Х3СНМВФА и др.	Не менее 600	Более 450	0,44...0,22
Жаропрочные литейные сплавы на никелевой основе: ВЖЛ-1, ВЖЛ-2, ВЖЛ-8, ЖС3-ДК, ЖС6, ЖС-К и др.	666...784 882...930	212...229 262...269	0,12 0,1
Сплавы на титановой основе: ВТ1, ВТ2, ВТ4, ВТ5, жаропрочные: ВТ3-1, ВТ8, ВТ9, ВТ18	588...1029 950...1200	167...302 269...341	0,8 0,4

ное действие и хорошую вымывающую способность, на практике наибольшее распространение получили жидкие СОТС — смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ).

Эффективность применения СОЖ во многом зависит от способа ее подвода в зону резания. Наиболее распространенный способ — полив свободной струей, однако несмотря на простоту имеет ряд недостатков: большой расход жидкости, ее разбрызгивание, недостаточное смазывание. Более эффективный способ подачи СОЖ под давлением — высоконапорное охлаждение, при котором жидкость подается через сопло диаметром 0,4...0,5 мм под давлением 1,5...2,0 МПа в зону резания со стороны задней поверхности инструмента. При этом способе значительно повышается стойкость инструментов, например стойкость резцов из быстрорежущей стали при обработке заготовок из жаропрочной стали увеличивается в 5—7 раз по сравнению с охлаждением поливом. В труднодоступных местах используют подачу жидкости под давлением 2...2,5 МПа по каналу в инструменте непосредственно к месту отделения стружки. Таким образом обеспечивают эффективное охлаждение и вымывание стружки при глубоком сверлении, растачивании и др. К недостаткам этого способа следует отнести необходимость применения насосов высокого давления, специальных защитных устройств от разбрызгивания и тщательной очистки жидкости. Применяют также охлаждение распыленной жидкостью, которая подается в зону резания со стороны задней поверхности инструмента. При выходе из сопла воздушно-жидкостная смесь расширяется, что обеспечивает понижение ее температуры на 10...12 °С. Попадая на нагретые поверхности инструмента и заготовки, частицы жидкости быстро испаряются, благодаря чему отводится большое количество теплоты из зоны резания. Применение охлаждения распыленной жидкостью позволяет повысить стойкость как быстрорежущего, так и твердосплавного инструмента в 1,5—3 раза по сравнению с охлаждением поливом. Недостатком данного метода является необходимость использования установки для отсасывания тумана.

Правильный выбор и применение СОТС позволяют повысить производительность обработки резанием в 3—5 раз.

При обработке резанием заготовок из стали повышенной прочности, жаропрочной, коррозионно-стойкой и др., отличающихся низкой теплопроводностью, приходится снижать скорость резания, что вызывает увеличение трудоемкости обработки (например, при обработке заготовок из коррозионно-стойкой стали скорость резания снижается в 1,5—2 раза, из жаропрочной стали — в 3—12 раз), при этом, как правило, применяют твердосплавный режущий инструмент. Для улучшения условий резания в зону резания вводят дополнительную энергию (плазменный разряд, ультразвук и т. п.) и упрочняют режущий инструмент нанесением износостойких покрытий.

Метод обработки определяется типом обрабатываемой поверхности, ее точностью, шероховатостью и используемым режущим инструментом.

Плоские поверхности обрабатывают фрезерованием, строганием, протягиванием и шлифованием; наружные цилиндрические поверхности — точением, шлифованием, суперфинишной обработкой, полированием; внутренние цилиндрические поверхности (отверстия) — сверлением, зенкерованием, развертыванием, протягиванием, растачиванием, шлифованием, хонингованием и т. д. Обработку резанием разделяют на обдирочную, черновую, получистовую, чистовую и тонкую (отделочную).

Обдирке подвергают крупные поковки и отливки в песчаные формы, при этом уменьшают пространственные отклонения и погрешности формы исходной заготовки. При обдирке обеспечивают 15—17-й качества точности размеров, шероховатость поверхности R_z 160...320 мкм.

Черновой обработке подвергают заготовки из проката, полученные литьем в песчаные формы, штамповкой; она обеспечивает 12—14-й качества точности размеров, шероховатость поверхности R_z 40...160 мкм.

Получистовую обработку применяют, когда при черновой обработке не может быть удален весь припуск или когда к точности размеров и геометрической формы обрабатываемой заготовки предъявляют повышенные требования. В ряде случаев получистовой (однократной) обработке подвергают заготовки, полученные точными методами литья (в кокиль, по выплавляемым моделям) и штамповки (в многоручьевых штампах, ротационной ковкой). Получистовой обработкой получают 11—13-й качества точности размеров и шероховатость поверхности R_a 12,5...25 мкм.

Чистовую обработку применяют как окончательную или промежуточную под последующую отделочную, получают 9—10-й качества точности размеров и шероховатость поверхности R_a 3,2...6,3 мкм.

Отделочную обработку выполняют различными видами обработки (тонкими точением, растачиванием, фрезерованием, шлифованием, хонингованием и т. п.) и обеспечивают точность размеров от 8-го качества и выше, шероховатость поверхности $R_a \leq 1,6$ мкм.

В зависимости от характера обработки, вида режущего инструмента и типа обрабатываемых поверхностей выбирают металлорежущий станок. Классификация металлорежущих станков определяется технологическим методом обработки: станки токарные, сверлильные, фрезерные, шлифовальные и др. Все станки разделены на группы, каждая группа — на типы, тип — на 10 типоразмеров. Тип станка характеризует его назначение (например, круглошлифовальный, внутришлифовальный, плоскошлифовальный

и др.), степень его универсальности, число главных рабочих органов, конструктивные особенности. Внутри типа станки различают по техническим характеристикам: мощность, диапазон скоростей, подач, высота центров, размеры стола, точность и т. п. Различают станки универсальные, широкого применения, специализированные и специальные. На универсальных станках выполняют различные технологические переходы, обрабатывая заготовки определенного типа (токарно-винторезные, горизонтально-фрезерные станки и др.). Станки широкого применения — многоцелевые, предназначены для различной обработки ряда заготовок многих наименований (например, сверлильно-фрезерно-расточные станки). Специализированные станки предназначены для обработки деталей одного наименования, но разных размеров, например станки для обработки коленчатых валов. Специальные станки выполняют обработку одной определенной заготовки.

По степени автоматизации различают станки с ручным управлением, полуавтоматы, автоматы, станки с числовым программным управлением. По числу главных рабочих органов станки делят на одно- и многошпиндельные, одно- и многосуппортные. В классификации по точности установлено пять классов станков: Н — нормальной, П — повышенной, В — высокой, А — особо высокой точности и С — особо точные станки. В соответствии с этой классификацией каждому станку присваивают определенный шифр. Первая цифра шифра определяет группу станка, вторая — тип, третья (иногда третья и четвертая) указывает на техническую характеристику станка. Буква на втором или третьем месте позволяет различать станки одного типоразмера, но с разными техническими характеристиками. Буква в конце шифра указывает на различные модификации станков одной базовой модели. Буква Ф в шифре указывает на то, что станок имеет числовое программное управление, а цифры и буквы за ней — какая система ЧПУ применена в станке. Например, обозначение модели станка 16К20Ф3С32 расшифровывается так: 1 — станок токарной группы; 6 — винторезный; К — модернизированный; 20 — высота центров над направляющими станины (200 мм); Ф — с числовым программным управлением; 3 — управление тремя координатными движениями; С32 — система ЧПУ.

К основным механизмам станка относятся:

базовые детали (станины, плиты, коробчатые детали, суппорты, салазки, столы), создающие требуемое пространственное размещение узлов, в которых расположены инструменты и обрабатываемые заготовки, и обеспечивающие точность их взаимного расположения под нагрузкой;

приводы, обеспечивающие рабочие, вспомогательные и установочные перемещения инструментов и заготовок. Их делят на приводы главного движения (скорости резания), приводы подачи

(координатных перемещений) и приводы вспомогательных перемещений;

шпиндельные узлы, предназначенные для крепления инструмента или заготовки, передачи требуемых режимов обработки, обеспечения заданной точности вращения инструмента или заготовки; манипуляторы, автоматически выполняющие вспомогательные операции замены заготовки и инструмента при организации технологических процессов в автоматизированном гибком производстве.

Станины предназначены для размещения и монтажа основных узлов станка. К ним предъявляют высокие требования по жесткости, виброустойчивости, длительному сохранению точности. Станины изготавливают литьем из серого чугуна марок СЧ20, СЧ30, СЧ40 (для высокоточных станков применяют легированные чугуны), так как чугун обладает способностью гасить колебания, возникающие при обработке заготовки. Для обеспечения жесткости станины выполняют коробчатой формы с перегородками (ребрами), соединяющими ее стенки. Чтобы снизить массу станины, достигающую 30 % массы станка, применяют сварные станины. Они могут быть изготовлены в более короткие сроки, поддаются модернизации, допускают использование качественных материалов для направляющих. Станины тяжелых уникальных станков иногда делают железобетонными. Для особо точных станков станины изготавливают из природного или искусственного гранита (синтегранита), обладающего высокими виброгасящими свойствами и имеющего меньшие температурные колебания по сравнению с металлами.

Наиболее ответственными элементами станин являются направляющие, служащие для перемещения сборочных единиц станка и находящихся на них инструментов и заготовок. В станках применяют направляющие скольжения и качения для прямолинейного и кругового перемещений. Конструктивно направляющие могут быть изготовлены как единое целое со станией или в виде отдельных планок, прикрепленных к станине (накладные направляющие). Для уменьшения трения плоские направляющие могут быть покрыты фторопластом, тефлоном, эпоксидной смолой с наполнителем. По виду смазки направляющие скольжения бывают с полужидкой смазкой, гидродинамические, гидростатические и аэродинамические (на воздушной подушке).

Направляющие качения обеспечивают низкий коэффициент трения, равномерность и плавность движения при малых скоростях, точность перемещений, доступны для смазывания, однако они трудоемки и дороги в изготовлении.

Приводы станков — это узлы, приводящие в движение исполнительные органы станка. Для регулирования их скоростей приводы станков выполняют бесступенчатыми или ступенчатыми.

К *бесступенчатым* относят приводы с механическими вариаторами, электродвигателями постоянного тока, асинхронные регулируемые электродвигатели и др. В станках с ЧПУ применяют, как правило, бесступенчатые двигатели на базе электродвигателей постоянного тока.

К *ступенчатым* относят приводы с многоскоростными асинхронными электродвигателями, шестеренными коробками скоростей и ступенчатыми шкивами. Их достоинство — компактность, удобство в управлении, надежность в работе, широкий диапазон регулирования, недостатки — дискретность значений скоростей, подач и низкий КПД (коэффициент полезного действия).

Шпиндельные узлы передают вращательное движение и крутящий момент от приводов коробки скоростей к инструменту или заготовке, закрепленным в шпинделе. Шпиндель — один из основных узлов станка; работоспособность и длительность сохранения точности шпиндельного узла в значительной мере определяют технический уровень станка. К шпиндельным узлам предъявляют следующие требования: точность вращения, определяемая радиальным и осевым биением посадочного конца шпинделя; виброустойчивость, особенно у скоростных станков; износостойкость трущихся поверхностей; длительное сохранение точности обработки; высокая жесткость шпинделя и т. п.

Шпиндельный узел состоит из корпуса шпинделя (обычно гильза) и подшипниковых опор. Шпиндели изготавливают из стали 45 с закалкой, из стали 20ХС с цементацией и закалкой, а также из азотируемой стали 38ХМЮА и др. Рабочие поверхности и подшипниковые шейки должны иметь твердость 60 HRC и более и высокую износостойкость. В качестве опор шпиндельных узлов применяют подшипники качения или скольжения высокого класса точности. Выбор класса точности подшипника обусловлен допуском на биение переднего конца шпинделя. В подшипниках скольжения (обычно с регулированием радиального и осевого зазоров) вкладыши изготавливают из баббитов, свинцовистых или оловянистых бронз (ответственные подшипники). Жидкостное трение осуществляется созданием слоя масла, находящегося под определенным давлением.

3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

Припуском называют слой материала заготовки, удаляемый в процессе ее механической обработки для достижения заданных точности и качества обрабатываемой поверхности. Различают припуски промежуточные и общие. *Промежуточным* припуском называют слой материала, снимаемый при выполнении одного тех-

нологического перехода. Его определяют как разность размеров заготовки, полученных на предшествующем и выполняемым технологических переходах. *Общим* припуском называют сумму всех промежуточных припусков по всему технологическому маршруту механической обработки поверхности заготовки. Общий припуск определяют как разность размеров поверхности заготовки и готовой детали.

Выбор оптимальных припусков на обработку поверхностей заготовки является важнейшей технико-экономической задачей. Увеличенные припуски вызывают:

- перерасход материала;
- увеличение трудоемкости процессов обработки, расход режущего инструмента, энергии;
- повышение себестоимости изготовления детали.

Уменьшенные припуски не обеспечивают удаление дефектных поверхностных слоев и получение требуемой точности и шероховатости обработанных поверхностей, что приводит к браку и повышает себестоимость выпускаемой продукции. Определение оптимальных припусков на обработку тесно связано с определением промежуточных и исходных размеров заготовки, которые необходимы для конструирования штампов, пресс-форм, моделей, стержневых ящиков, станочных приспособлений, специальных режущих и измерительных инструментов, а также для настройки металлорежущих станков. На основе оптимальных припусков можно обоснованно определить массу заготовки, режимы резания и нормы времени на выполнение технологических операций механической обработки. В машиностроении широко применяют опытно-статистический метод определения припусков на обработку, при этом общие и промежуточные припуски берут по таблицам, которые составляют на основе обобщения и систематизации производственных данных передовых заводов. Недостаток данного метода заключается в том, что припуски назначают без учета конкретных условий выполнения технологического процесса обработки заготовки. Часто это приводит к завышению припусков, так как при составлении таблиц учитывают наихудшие условия обработки во избежание брака.

Расчетно-аналитический метод определения припусков основан на учете конкретных условий выполнения технологического процесса обработки заготовок. Согласно этому методу минимальный промежуточный припуск должен быть таким, чтобы при выполнении перехода устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующих технологических переходах, а также погрешности установки заготовки, возникающие на переходе.

К погрешностям, полученным на предшествующих переходах, относятся:

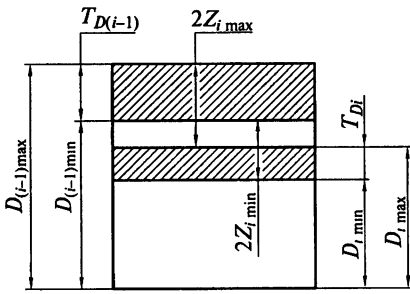


Рис. 3.1. Схема расчета минимального припуска $Z_{i,min}$

де), у заготовок из стали — это обезуглероженная зона, которая должна быть полностью удалена;

пространственные отклонения расположения обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей заготовки: несоосность цилиндрических поверхностей, искривление осей, непараллельность и неперпендикулярность плоскостей.

Погрешность установки заготовки вызывает смещение обрабатываемой поверхности из-за деформации заготовки при закреплении, неточности изготовления приспособлений, погрешности выверки при индивидуальной установке заготовки.

Все перечисленные погрешности определяют величину минимального промежуточного припуска $Z_{i,min}$ выполняемого перехода. Погрешности формы обрабатываемой поверхности не учитываются в минимальном припуске; это объясняется тем, что минимальные припуски при обработке наружных поверхностей отсчитывают от наименьшего предельного размера заготовки, а при обработке внутренних поверхностей — от ее наибольшего предельного размера.

На основе расчета промежуточных припусков определяют промежуточные размеры заготовки по всем переходам. Так как из-за упругих отжати технологической системы под действием сил резания при обработке происходит копирование размеров заготовки (т. е. из большей заготовки получают бóльшую деталь, из меньшей — меньшую), при обработке наружной поверхности заготовки с наименьшим предельным размером $D_{(i-1)min}$ получают деталь с наименьшим размером $D_{i,min}$ (рис. 3.1):

$$D_{(i-1)min} - D_{i,min} = 2Z_{i,min};$$

$$D_{(i-1)max} - D_{i,max} = 2Z_{i,max};$$

$$D_{(i-1)max} = D_{(i-1)min} + 2T_{D(i-1)};$$

$$D_{i,max} = D_{i,min} + 2T_{D_i};$$

шероховатость поверхности — высота микронеровностей Rz , зависящая от метода, режимов и условий предшествующей обработки;

состояние и глубина поверхностного слоя, отличного от основного металла. У заготовок из серого чугуна поверхностный слой — это перлитная корка повышенной твердости, наружная зона которой часто имеет следы формовочного песка (ее необходимо удалить на первом переходе);

где $D_{(i-1)\min}$, $D_{(i-1)\max}$ — наименьший и наибольший предельные размеры заготовки; $D_{i\min}$, $D_{i\max}$ — наименьший и наибольший размеры детали; $Z_{i\min}$, $Z_{i\max}$ — наименьший и наибольший припуски на сторону; $T_{D(i-1)}$, T_{D_i} — допуск на размер $D_{(i-1)}$ и D_i соответственно.

Аналогично для внутренних поверхностей:

$$D_{i\max} - D_{(i-1)\max} = 2Z_{i\min};$$

$$D_{i\min} - D_{(i-1)\min} = 2Z_{i\max};$$

$$D_{(i-1)\min} = D_{(i-1)\max} - 2T_{D(i-1)}.$$

Допуски на выполнение технологических переходов, необходимые для расчета промежуточных размеров заготовки, выбирают из нормативов.

3.3. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Технологичной следует считать такую деталь, в которой учтены возможности минимального расхода металла и использования наиболее экономичных и производительных методов ее изготовления для конкретных условий производства.

Для решения этих задач необходимо соблюдать ряд общих требований, одинаково важных для любых методов обработки и условий производства:

- во всех случаях целесообразна унификация элементов конструкции детали — диаметральных размеров наружных поверхностей и отверстий, размеров резьбы, фасок, канавок, галтелей, шпоночных пазов, шлицов и т. п. Унификация поверхностей деталей позволяет использовать стандартные унифицированные режущие и измерительные инструменты, применять одинаковые методы обработки заготовок;

- требования точности обработки и шероховатости поверхностей детали должны соответствовать условиям ее эксплуатации, так как завышение этих требований ведет к усложнению технологического процесса и повышению трудоемкости обработки. Резкое повышение трудоемкости обработки детали происходит при обработке наружных поверхностей точнее 5-го качества и значении шероховатости $Ra < 0,8$ мкм, а отверстий — точнее 6-го качества и $Ra < 1,6$ мкм;

- конструктивные формы и размерные соотношения должны обеспечивать достаточную жесткость детали и возможность применения жесткого инструмента;

- необходимо обеспечивать удобные базирующие поверхности, предусматривать совмещение установочных, измерительных и кон-

структорских баз и по возможности соблюдать принцип постоянства баз по всему технологическому процессу обработки;

- следует обеспечить свободный подход и выход режущего инструмента. Если обработка напроход не предусмотрена, необходимо размеры обрабатываемой поверхности увязать с размерами инструмента;

- сокращение объема механической обработки;

- необходимо четко разделять поверхности, обрабатываемые на различных технологических переходах;

- следует предусмотреть возможность одновременной обработки нескольких заготовок на станке.

Одним из важнейших показателей технологичности, учитывающим объем снимаемого металла механической обработкой резанием, а следовательно, и ее трудоемкость, является коэффициент использования металла — отношение массы детали к массе заготовки.

3.4. ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Обработка наружных поверхностей тел вращения (цилиндрических, конических, сферических, фасонных, их торцев) проводится на станках токарной группы: токарно-винторезных, токарно-револьверных, в том числе с ЧПУ, токарных многолезцовых и гидрокопировальных полуавтоматах, многопозиционных полуавтоматах и др. Токарно-винторезные станки, применяемые в мелкосерийном и серийном производстве, предназначены для выполнения токарных операций, включая нарезание резьбы резцами. Общий вид токарно-винторезного станка показан на рис. 3.2, а. Главными узлами станка являются основание 1, передняя (шпиндельная) бабка 3, коробка подач 2, суппорт 6 с резцедержателем, фартук 9 и задняя бабка 7.

Задняя бабка 7 служит для поддержания обрабатываемой заготовки от прогиба при работе в центрах, а также для закрепления инструмента при обработке отверстий (сверл, зенкеров, разверток) и нарезания резьбы (метчиков и плашек). Инструмент устанавливают в резцедержатель на поперечных салазках, по которым осуществляют поперечную подачу инструмента. Фартук 9 преобразует вращательное движение ходового вала и ходового винта в прямолинейное движение суппорта 6, при помощи которого осуществляют продольную подачу инструмента.

Токарно-револьверные станки отличаются от токарно-винторезных тем, что не имеют задней бабки и ходового винта. На суппорте устанавливают револьверную головку, в которой располагают разнообразный инструмент. Заготовки зажимают патронами

(штучные заготовки) или цангами (прутковые заготовки). В токарных станках главным движением является вращение заготовки, движением подачи — продольное и поперечное движение суппортов.

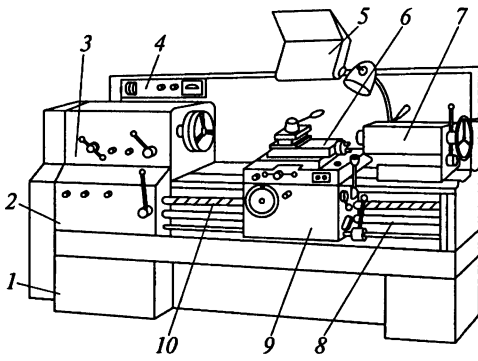
В последнее десятилетие в связи с развитием микропроцессорных систем получили распространение токарные и токарно-револьверные станки с ЧПУ, в которых траекторию движения инструмента, смену инструмента, режимы обработки задает программа ЭВМ.

Для обработки деталей больших диаметров и небольшой длины (например, дисков турбин и компрессоров) в мелкосерийном и единичном производстве применяют токарно-карусельные и токарно-лобовые станки. Токарно-карусельный станок имеет горизонтальную планшайбу, что облегчает установку и выверку заготовок. На токарно-лобовых станках планшайбу устанавливают вертикально на переднюю бабку, задней бабки станок не имеет.

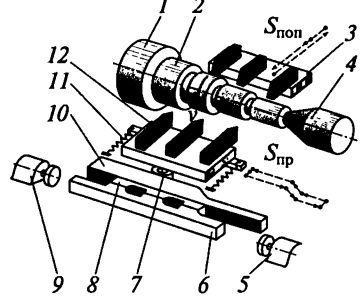
Одношпиндельные токарные горизонтальные полуавтоматы, используемые в серийном и крупносерийном производстве, делят на многорезцовые, копировальные и многорезцово-копировальные.

Обработка заготовок на многорезцовых полуавтоматах ведется большим количеством резцов, работающих по своим траекториям, так как они установлены на двух суппортах: продольном и поперечном. Схема работы станка представлена на рис. 3.2, б. Станок работает в полуавтоматическом режиме: вручную рабочий меняет заготовку и включает станок, дальнейшая работа станка происходит автоматически. Продольный суппорт перемещается с планками 6 и 8 относительно неподвижной линейки 10 и постоянно поджат к ней пружиной. При этом происходит обработка заготовки. В конце рабочего хода планка 6 наезжает на левый упор 9 и смещается относительно планки 8. При этом происходит «отскок» линейки 10 вместе с суппортом от заготовки на глубину впадины планки 8. В результате при отходе назад резцы не касаются обрабатываемой поверхности. После возвращения резцов в исходное положение планка 6 нажимает на правый упор, и линейка 10 с суппортом приходит в исходное положение. Поперечный суппорт имеет возвратно-поступательное перемещение.

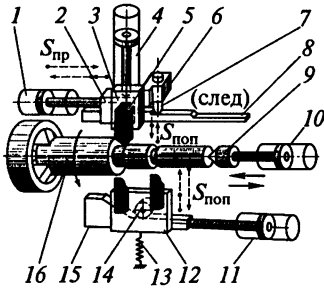
На копировальных полуавтоматах в отличие от многорезцовых основной профиль заготовки обрабатывается одним резцом. Схема работы копировального полуавтомата приведена на рис. 3.2, в. Резец устанавливают на копировальном суппорте, привод которого в продольном и поперечном направлениях осуществляется гидравлической следящей системой, управляемой по специальному копиру или эталону детали, повторяющим профиль и размеры обрабатываемой. Переходы (прорезка канавок, снятие фасок и т. п.), которые не могут быть выполнены с копировального суппорта, выполняют с поперечного суппорта.



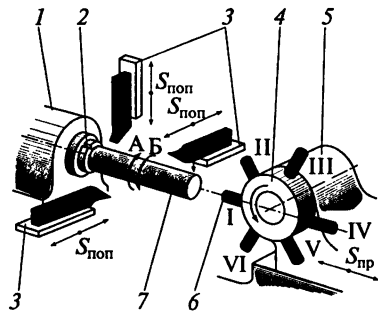
a



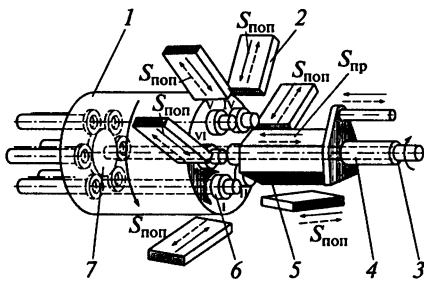
b



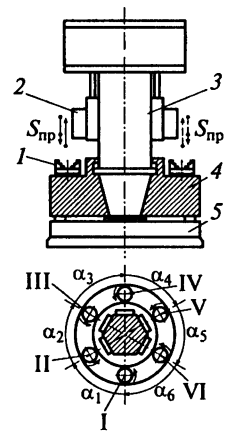
в



г



д



e

Рис. 3.2. Станки токарной группы:

a — общий вид токарно-винторезного станка: 1 — основание; 2 — коробка подач; 3 — передняя бабка; 4 — электропульт; 5 — шиток с экраном; 6 — суппорт; 7 — задняя бабка; 8 — ходовой вал; 9 — фартук; 10 — ходовой винт; *b* — схема работы многорезцового полуавтомата: 1 — патрон передней бабки; 2 — заготовка; 3 — поперечный суппорт; 4 — центр задней бабки; 5 — правый упор; 6, 8 — планки; 7 — ролик; 9 — левый упор; 10 — неподвижная линейка; 11 — пружина; 12 — продольный суппорт; *в* — схема работы копировального полуавтомата: 1 — гидроцилиндр продольной подачи; 2 — продольная каретка; 3 — копировальная головка; 4, 10, 11 — гидроцилиндры; 5 — резец; 6 — золотник копировальной головки; 7 — наконечник щупа; 8 — копир; 9 — пиноль; 12 — поперечный суппорт; 13 — пружина; 14 — ролик; 15 — ползун; 16 — заготовка; *г* — схема работы токарно-револьверного полуавтомата: 1 — шпindelная бабка; 2 — шпindel; 3 — поперечные суппорты; 4 — револьверная головка; 5 — продольный револьверный суппорт; 6 — упор для подачи прутка; 7 — пруток; *д* — схема работы многошпindelного пруткового автомата: 1 — шпindelный блок; 2 — поперечные суппорты; 3 — приводной вал; 4 — центральная гильза; 5 — продольный суппорт; 6 — привод вращения шпindelей; 7 — центральное зубчатое колесо; *e* — схема шестипозиционного вертикального полуавтомата: 1 — патрон для установки и закрепления заготовки; 2 — инструментальный суппорт; 3 — колонна; 4 — поворотный стол; 5 — основание; α_1 — α_6 — углы поворота стола; I — загрузочная позиция; II—VI — рабочие позиции; А, Б — направления движения соответственно по часовой стрелке и против часовой стрелки; $S_{пр}$, $S_{поп}$ — направление продольной и поперечной подачи соответственно

В крупносерийном и массовом производстве применяют одно- и многошпindelные автоматы, многошпindelные вертикальные полуавтоматы. На одношпindelных прутковых автоматах из прутков обрабатывают детали достаточно сложной формы резцами, установленными в поперечных суппортах и револьверной головке. Схема токарно-револьверного полуавтомата показана на рис. 3.2, *г*. В отличие от автоматов продольного действия, имеющих только поперечные суппорты, они имеют и продольный суппорт с револьверной головкой для размещения различных инструментов, обрабатывающих заготовки с продольной подачей. Шпindel 2 имеет два вращения: Б (против часовой стрелки) — для свинчивания резьбонарезного инструмента и А (по часовой стрелке) — для точения и нарезания резьбы невращающимся инструментом.

Многошпindelные прутковые автоматы (рис. 3.2, *д*) применяют в условиях массового производства. В шпindelном блоке 1 прутки материала расположены по окружности. Вокруг блока размещены поперечные суппорты 2, управляемые от индивидуальных кулачков, с резцами, работающими с поперечными подачами. В центральной гильзе расположен общий для всех инструментов суппорт 5, на гранях которого установлены инструменты, работающие с продольной подачей. Шпindelы автомата имеют одинаковую частоту вращения, так как у них общий привод 6. Обработка заготовок происходит при их последовательном прохожде-

нии через позиции, завершается отрезкой обработанной детали и подачей прутка для обработки следующей заготовки. Во время обработки шпиндельный блок I неподвижен.

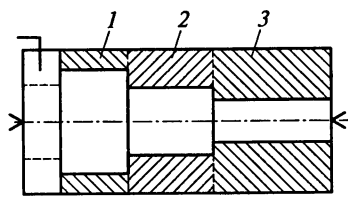
Детали из штучных заготовок обрабатывают на многошпиндельных вертикальных полуавтоматах — шести- или восьмипозиционных (рис. 3.2, *e*). Заготовки, закрепленные в патронах на загрузочной позиции I , последовательно обходят обрабатывающие позиции путем поворота стола на угол $\alpha = 360^\circ/z$, где z — число позиций. На рабочих позициях во время остановки стола производится обработка заготовок несколькими группами режущих инструментов. За один оборот стола происходит полная обработка заготовки, а при повороте на угол α снимается готовая деталь.

Обработку поверхностей ведут проходными, упорными (для цилиндрических, конических и торцевых поверхностей), канавочными и фасонными (для обработки сферических поверхностей) резцами. Рабочую часть резцов изготавливают из быстрорежущей стали, твердых сплавов, минералокерамики, специальных сплавов (например, эльбор) и др. Так, для обработки стальных заготовок применяют резцы с пластинами из твердых сплавов марки ТК, при обработке заготовок из серого чугуна с неравномерным припуском и большими силами резания используют резцы с пластинами из твердых сплавов марки ВК, при обработке заготовок из жаропрочной стали используют резцы из сверхтвердых материалов. Геометрия режущего инструмента и размеры режущей части (задний и передний углы, углы в плане) зависят от обрабатываемого материала, требуемого качества поверхности, легкости отделения стружки.

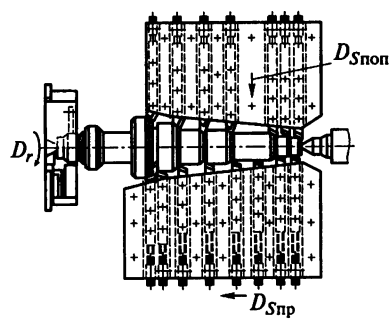
Стойкость резцов определяется интенсивностью его износа. За критерий затупления инструмента принимают допустимую высоту h по его задней грани (см. рис. 1.5, *a*). При черновой обработке конструкционных сталей высота h у резцов, оснащенных твердосплавными пластинами, составляет $0,8 \dots 1$ мм. При черновой обработке жаропрочных сплавов $h = 0,8 \dots 1$ мм, при грубой обработке $h = 1,5 \dots 2$ мм. При чистовой обработке устанавливают технологический критерий затупления, при котором инструмент считается изношенным, когда не обеспечивается требуемая шероховатость

Рис. 3.3. Снятие припуска при обработке ступенчатых поверхностей вращения:

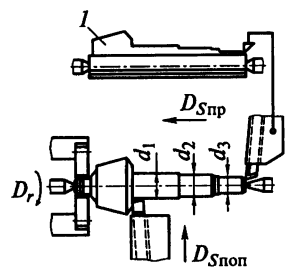
a — с делением по длине: $1-3$ — снимаемые припуски; *b* — эскиз обработки на токарном многорезцовом полуавтомате; *в* — эскиз обработки на гидрокопировальном полуавтомате: 1 — копир; d_1-d_3 — диаметры обработанных шеек вала; *г* — с делением припуска по глубине: $1-3$ — снимаемые припуски; *д* — эскиз обработки на токарном станке с ЧПУ: X_0, Z_0 — координаты точки O_1 начального положения резца; W_x, W_z — координаты вершин резца (точка O); D_r — главное движение; $D_{\text{Спр}}, D_{\text{Сноп}}$ — движение продольной и поперечной подачи соответственно



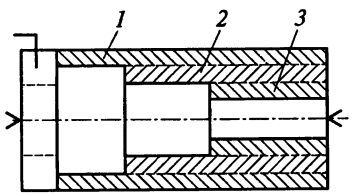
a



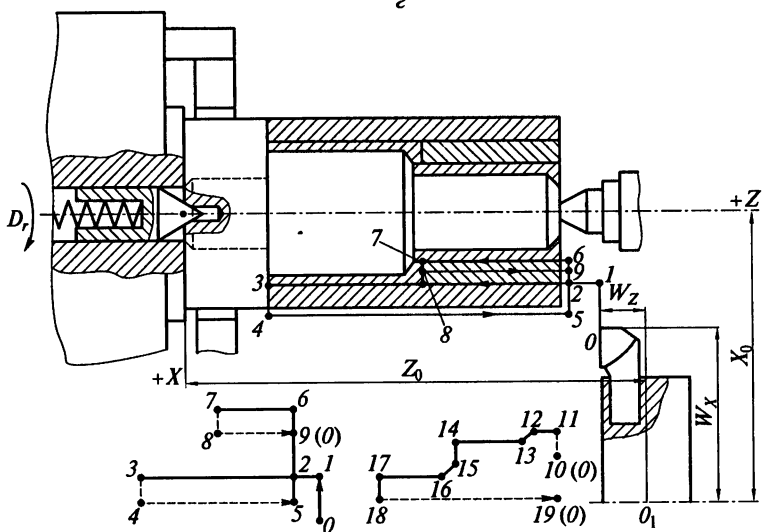
b



в



z



d

поверхности, и точность размеров не соответствует техническим условиям.

Обработку поверхностей ведут двумя методами:

- продольной подачей инструмента — производится обтачивание цилиндрических и конических поверхностей (рис. 3.3);
- поперечной подачей инструмента — производится проточка канавок, сферических поверхностей, снятие фасок, подрезка торцев.

Режимы обработки следующие: t , мм, — глубина резания на сторону заготовки; S , мм/об, — подача резца на один оборот заготовки; v , м/мин, — скорость вращения заготовки; n , мин⁻¹, — частота вращения заготовки.

Глубина резания определяется максимальным припуском на выполнение перехода. В случае, когда приходится снимать очень большой слой металла (при наличии напусков у заготовки), его снимают за несколько проходов, разделяя на слои, как правило не более 5...6 мм, в зависимости от стойкости резца и мощности станка. Величину подачи и скорости резания определяют исходя из вида обработки, материалов заготовки и режущего инструмента, его геометрии, стойкости, глубины резания и требуемой точности и качества поверхности детали.

Черновую обработку цилиндрических поверхностей ведут с глубиной резания до 3...6 мм, подачей 0,6...1,2 мм/об и скоростью 60...90 м/мин. При чистовой обработке глубина резания составляет 0,3...0,5 мм, величина подачи 0,2...0,3 мм/об, скорость резания 90...200 м/мин и более. Тонкое отделочное точение выполняют, как правило, на токарных станках высокой точности или на специальных станках алмазного точения. Тонкое точение выполняют с глубиной резания 0,05...0,15 мм, подачей 0,05...0,15 мм/об и скоростью резания более 200 м/мин.

При черновой обработке обеспечиваются 12—14-й качества точности размеров и шероховатость Ra 12,5...25 мкм, при чистовой — 8—10-й качества точности размеров и шероховатость Ra 3,2...6,3 мкм, при тонкой — 6—8-й качества точности размеров и шероховатость Ra 0,4...1,6 мкм. Необходимо отметить, что у заготовок из труднообрабатываемых сталей (коррозионно-стойкие, жаропрочные стали, титановые сплавы) для обеспечения нормальных условий резания приходится скорость и глубину резания уменьшать в 1,5—2 раза (что сказывается на производительности) или применять специальное плазменное точение. Чтобы обеспечить нормальный сход стружки, на резце устанавливают специальные стружколоматели, экраны для размельчения сливной горячей стружки, поскольку такая стружка небезопасна и может нанести травму рабочему и вызвать поломку станка.

При черновой обработке ступенчатых валов существует различная последовательность снятия припуска:

- припуск разделяют по длине, если размеры и форма заготовки приближены к форме и размерам детали (рис. 3.3, *а*). Так, например, ведут черновую обработку шеек валов на многорезцовых (рис. 3.3, *б*) и гидрокопировальных (рис. 3.3, *в*) токарных полуавтоматах или их чистовую обработку на всех станках токарной группы;

- припуск разделяют по глубине при черновой обработке шеек валов (рис. 3.3, *г*), если заготовка изготовлена с большими напусками (например, горячекатаный пруток). В этом случае за каждый переход обрабатывается сразу несколько ступеней с небольшой глубиной резания, что особенно актуально для заготовок с пониженной жесткостью (рис. 3.3, *д*).

Заготовку (пруток, штамповка или отливка) устанавливают в центрах передней и задней бабки (или на центровой оправке) либо консольно в патроне (трех-, четырехулачковом, цанговом и др.) передней бабки или приспособления. При установке в центрах (см. рис. 3.3, *б*, *в*, *д*) вращение заготовке передается при помощи хомутика или поводкового патрона, при закреплении в патронах вращение заготовке передает сам патрон. В связи с тем, что часть заготовки бывает закрыта для обработки, ее проводят обычно за два установа.

Как правило, в серийном и массовом производстве рекомендуют черновую и чистовую обработку разделять во времени и производить на разных станках; это объясняется тем, что при черновой обработке силы резания велики, и они вызывают большие упругие отжатия технологической системы станок — заготовка — приспособление — инструмент, вследствие чего происходит снижение точности обработки. Однако на станках с повышенной жесткостью (токарные станки с ЧПУ) успешно выполняют черновое и чистовое обтачивание заготовки за один установ (см. рис. 3.3, *д*). Резец по программе из исходной нулевой точки выполняет последователь-

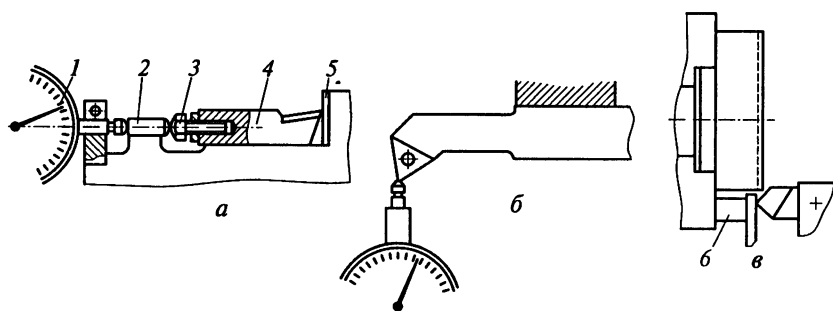


Рис. 3.4. Настройка резцов на заданный размер:

а, б — в приспособлении вне токарного станка; *в* — по высоте; 1 — индикатор; 2 — вставка; 3 — винт; 4 — резец; 5 — пластина; б — высотка

но черновые переходы 2—3 и 6—7 с делением снимаемого припуска по глубине, а затем с другими подачей и скоростью резания выполняет чистовые переходы 11—12—13—14—15—16—17—18 с делением снимаемого припуска по длине.

На универсальных токарных станках настройку резца на заданный размер по касанию вращающейся заготовки (нулевая точка лимба) и подаче резца по лимбу на заданную глубину резания проводят для каждой индивидуальной заготовки. Длина обработки ступеней определяется по лимбу продольной подачи. Если обработка заготовок проводится партией, резцы настраивают на заданный размер и производят обработку всей партии. Существуют два метода настройки инструментов.

В первом случае обрабатывают пробную партию деталей, измеряют их размер и по результатам замеров находят настроечный размер.

Во втором случае резцы настраивают по эталону, который устанавливают вместо заготовки на станок, или по высоте (рис. 3.4, в). Между поверхностью эталона и резцом размещают шуп.

Изменяя размеры шупа, можно пользоваться одними и теми же эталонами при настройке резца на разные установочные размеры. В условиях многоинструментной обработки используют эталоны по форме обработанной детали, при этом каждый инструмент может быть установлен как в радиальном, так и в осевом направлении, т.е. по двум координатам. Определение момента касания режущей кромки инструмента эталона или шупа требует навыка наладчика. Момент касания можно установить с помощью полоски тонкой бумаги. Подводя инструмент к эталону, наладчик перемещает полоску по поверхности эталона. Затруднение в перемещении или его прекращение означает момент касания. Настройку резцов проводят также по жестким упорам или упорам, снабженным индикаторными устройствами в приспособлении вне станка (рис. 3.4, а, б), причем упоры устанавливают как в продольном, так и в поперечном направлении перемещений резца.

Погрешность установки по шупу или полоскам бумаги составляет 20... 50 мкм; по жесткому упору для обычных условий — 20... 25 мкм, квалифицированный рабочий может снизить ее до 10 мкм; по индикаторным упорам — 10... 20 мкм.

При черновом обтачивании вершину резца устанавливают на высоте центров или несколько выше, при чистовом обтачивании ниже. При $R > 50$ мм, где R — радиус обрабатываемой заготовки, смещение составляет не более $0,01R$. При чистовой обработке такая установка предохраняет от возможного брака вследствие деформации резца. Положение вершины резца проверяют по риску, нанесенной на пиноли задней бабки, по центру или с помощью специальных шаблонов.

В серийном и массовом производстве ступенчатые валы часто обрабатывают по копиру на гидрокопировальных станках (см. рис. 3.3, *в*). Ступенчатую заготовку устанавливают в центрах и приводят во вращение поводковым патроном. Обтачивание цилиндрических поверхностей, конусов и фасок проводят упорно-проходным резцом, установленным на заднем суппорте, перемещающимся гидроследящим устройством совместно с щупом по копиру, повторяющим поверхность детали. Копир выполняют плоским или цилиндрическим. В связи с тем, что все цилиндрические ступени обрабатывают последовательно одним резцом, можно обеспечить требуемую точность обработки (допуск диаметральных размеров в пределах 0,015 мкм) у заготовок с пониженной жесткостью. Резцами, установленными на переднем суппорте, с поперечной подачей обрабатывают торцы и канавки заготовки.

Для повышения точности обработки линейных размеров заготовки передний центр выполняют подпружиненным — «плавающим» (см. рис. 3.3, *д*). При этом настроечные размеры в продольном направлении резцов и копира измеряют от торца планшайбы, к которому задним центром поджимается заготовка. Таким образом, на точность обработки линейных размеров уже не влияет погрешность изготовления диаметра центрального отверстия заготовки, из-за которой положение заготовки при установке на жестких центрах неопределенно. Достоинства такой обработки очевидны, поэтому даже в мелкосерийном производстве токарные универсальные станки оснащают копировальным устройством с гидроследящей системой или механическим приводом. Подпружиненный передний центр также применяют при обработке на токарных многорезцовых полуавтоматах (см. рис. 3.3, *б*), где положение резцов в продольном направлении измеряют от торца планшайбы, и на токарных станках с ЧПУ, где исходное положение резца (координата Z_0 нулевой точки, см. рис. 3.3, *д*) измеряют также от торца планшайбы.

Помимо общих требований, предъявляемых к конструкции деталей при механической обработке, рассмотренной в подразд. 3.2, обработка наружных поверхностей тел вращения на токарных станках различного типа накладывает свои специфические требования:

- при обработке на токарных гидрокопировальных полуавтоматах все диаметры шеек ступенчатых валов должны располагаться «в елочку» по восходящей (см. рис. 3.3, *в*), т. е. $d_1 > d_2 > \dots > d_n$; это объясняется тем, что гидроследящая система устойчиво работает только при подъеме щупа и суппорта с резцом;

- при обработке на токарных многорезцовых полуавтоматах все длины цилиндрических шеек ступенчатых валов должны быть равны или кратны минимальной длине шейки, при этом обеспечивается условие одновременного начала и конца работы всех резцов (см. рис. 3.3, *б*);

- при обработке на станках с ЧПУ следует стремиться к упрощению геометрических форм детали, чтобы производить ее обработку с минимальным числом установов;

- симметричные участки детали желательно выполнять одинаковыми по форме и размерам, что позволяет использовать при их обработке одни и те же программы для станков с ЧПУ, копиры для гидрокопировальных станков и одну наладку для токарных многорезцовых полуавтоматов.

3.5. ОБРАБОТКА ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЗАНИЕМ

Все многообразие внутренних цилиндрических поверхностей можно разделить на три большие группы:

- точные отверстия 6—7-го квалитетов точности с шероховатостью $Ra\ 0,8 \dots 1,6$ мкм в шестернях, втулках (подшипниках скольжения), основные отверстия в корпусных деталях (под опорные подшипники валов) и т. п.;

- крепежные отверстия — гладкие, под резьбу, точные (7-й квалитет точности, $Ra\ 1,6$ мкм) под штифты;

- отверстия для смазывания, охлаждения и т. п.

Обработку точных отверстий по 6—7-му квалитетам точности с шероховатостью поверхности $Ra\ 0,8 \dots 1,6$ мкм осуществляют различными методами, выполнение которых в определенной последовательности обеспечивает заданные требования:

- сверление (или зенкерование, если отверстие в заготовке пролито или прошито), зенкерование (или растачивание), черновое, чистовое и тонкое развертывание. Вместо чернового и чистового развертывания можно выполнять черновое и чистовое растачивание и тонкое развертывание (или тонкое растачивание);

- сверление (или зенкерование, если отверстие в заготовке уже выполнено), предварительное и окончательное (чистовое) протягивание.

Сверление отверстий производят сверлами различных типов. *Спиральными сверлами* сверлят отверстия диаметром до 80 мм в сплошной заготовке. При диаметре отверстия более 30 мм вначале сверлят отверстия меньшего диаметра (одна треть заданного), затем производят его рассверливание. Сверление спиральными сверлами ведут при отношении длины l обрабатываемого отверстия к его диаметру d менее 10. При соотношении $l/d > 10$ отверстия обрабатывают сверлами для глубокого сверления на горизонтально-сверлильных станках. Спиральные сверла изготавливают из быстрорежущих сталей Р9К10, Р9М4К8Ф и др. с твердостью рабочей части 63...68 НРС. Применяют также сверла из твердых сплавов ВК10М, ВК15М и др., стойкость которых при определенных условиях в 20 раз выше

по сравнению с быстрорежущими. Для сверления отверстий в труднообрабатываемых материалах применяют сверла с внутренним подводом СОЖ. Такие сверла в каждом пере имеют отверстия, соединяющиеся в хвостовике, и закрепляются в специальных патронах, обеспечивающих подвод СОЖ под давлением до 12 МПа непосредственно к режущим кромкам сверла.

Для обработки отверстий малых (0,2... 1 мм) и больших (свыше 80 мм) диаметров применяют *перовые сверла*, которые представляют собой заостренную пластину.

При сверлении отверстий длиной более 10 диаметров применяют *шнековые сверла*, имеющие увеличенный угол наклона винтовых канавок $\omega = 50 \dots 60^\circ$. Основное преимущество шнековых сверл по сравнению со спиральными заключается в том, что при сверлении глубоких отверстий не требуется периодический вывод сверла.

Для сверления сквозных отверстий диаметром 80... 200 мм применяют *кольцевые сверла*; ими вырезается только кольцевая полость, а стержень, остающийся в центре, может быть использован в качестве заготовки для других деталей. Такие сверла снабжены пластинами (ножницами) из быстрорежущей стали, твердого сплава или синтетического алмаза.

Сверление и рассверливание обеспечивают 11—12-й качества точности размера (диаметр отверстия) и шероховатость поверхности Ra 12,5... 25 мкм. При сверлении в стальных заготовках отверстий длиной не более трех диаметров (от 10 до 30 мм) величину подачи выбирают в пределах 0,15... 0,5 мм/об в зависимости от диаметра заготовки для сверл из быстрорежущей стали и 0,12... 0,35 мм/об для сверл из твердого сплава. Скорость резания для сверл из быстрорежущей стали выбирают 20 м/мин, для сверл из твердого сплава — 30 м/мин. Если глубина сверления превышает значение, равное трем диаметрам, то значение подачи соответственно уменьшают, умножая на поправочные коэффициенты: 0,9 (при глубине до пяти диаметров), 0,8 и 0,75 (при глубине до семи и десяти диаметров соответственно). При рассверливании подачу увеличивают в 1,5—2 раза. Сверление отверстий можно выполнять на станках токарной группы, устанавливая сверло в пиноль задней бабки, на станках сверлильно-расточной группы (вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные, горизонтально-расточные, многоцелевые сверлильно-фрезерно-расточные и др.). Наиболее распространенными в этой группе являются вертикально-сверлильные станки (рис. 3.5, а). Шпиндельная бабка 3 перемещается по направляющим колонны 1. Рабочая подача при сверлении обеспечивается выдвиганием шпинделя 6 от привода или вручную. Стол 8 станка может перемещаться вручную в вертикальном направлении. Такие станки применяют в условиях мелкосерийного и единичного производства, в ремонтно-механических и сборочных цехах. Радиально-сверлильные станки

(рис. 3.5, б) применяют для обработки крупногабаритных и тяжелых заготовок, которые трудно перемещать для совмещения оси инструмента с осью обрабатываемых отверстий, поэтому при работе на таких станках заготовка остается неподвижной на столе 7 или фундаментной плите 1, а шпиндель с инструментом перемещается в нужное положение.

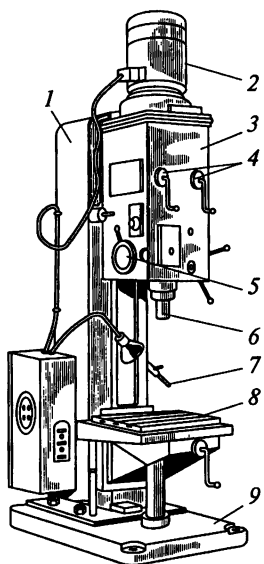
Шпиндель 6 вместе со шпиндельной головкой 5 перемещается по траверсе 4, вместе с ней может поворачиваться вокруг неподвижной колонны 2 и подниматься по ней с помощью винта 3. Поворот и перемещение шпинделя 6 обеспечивают установку сверла по координатам.

На горизонтально-расточных станках выполняют растачивание отверстий, обтачивание наружных цилиндрических поверхностей, подрезание торцов отверстий, сверление, зенкерование отверстий, фрезерование плоскостей, растачивание канавок, карманов и др. Схема горизонтально-расточного станка представлена на рис. 3.5, в. На станине 5 располагается передняя стойка 4, по направляющим которой перемещается шпиндельная бабка 3, в которой размещен шпиндель 2. В задней стойке 9 размещается втулка 8, которая служит дополнительной опорой для расточной оправки. Стол станка, на который устанавливают заготовку, состоит из трех частей: нижняя 7 перемещается по направляющим станины, средняя 6 — по направляющим нижнего стола, верхняя 1 поворачивается в горизонтальной плоскости по круговым направляющим среднего стола. Большое разнообразие видов обработки и перемещений стола и шпинделя позволяет в ряде случаев производить полную обработку корпусной заготовки без ее переустановки.

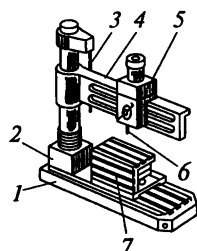
Координатно-расточные станки — это станки высокой точности (прецизионные), их применяют для окончательной обработки отверстий, когда требуется высокая точность их взаимного расположения. В условиях нормальной эксплуатации координатно-

Рис. 3.5. Обработка отверстий на сверлильно-расточных станках:

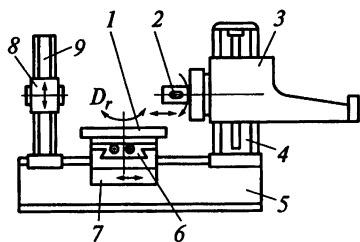
a — общий вид вертикально-сверлильного станка: 1 — колонна; 2 — электродвигатель; 3 — шпиндельная бабка; 4 — рукоятки управления подачами; 5 — лимб; 6 — шпиндель; 7 — сопло охлаждения; 8 — стол; 9 — плита; *б* — общий вид радиально-сверлильного станка: 1 — фундаментная плита; 2 — неподвижная колонна; 3 — винт подъема траверсы; 4 — траверса; 5 — шпиндельная головка; 6 — шпиндель; 7 — стол; *в* — схема горизонтально-расточного станка: 1 — верхний поворотный стол; 2 — шпиндель; 3 — шпиндельная бабка; 4 — передняя стойка; 5 — станина; 6 — средний стол; 7 — нижний стол; 8 — опорная втулка; 9 — задняя стойка; *г* — общий вид многоцелевого станка; *д, е, ж* — схемы обработки отверстий сверлом, зенкером и разверткой соответственно; *з, и, к* — соответственно постоянная, быстросменная и сменная кондукторные втулки: 1 — кондукторная втулка; 2 — кондуктор; 3 — промежуточная втулка; *д* — диаметр направляющего отверстия; *Д, Н* — диаметр и высота втулки соответственно



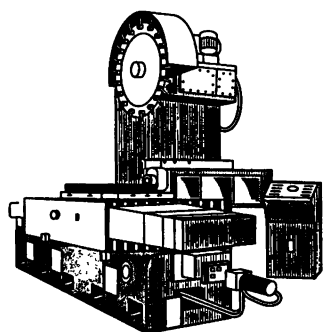
a



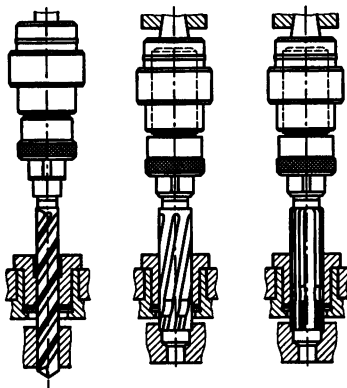
б



в



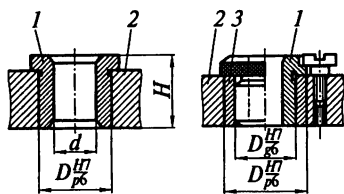
2



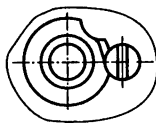
д

е

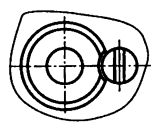
ж



3



и



к

расточный станок обеспечивает точность межосевых расстояний до 0,004 мм в линейных координатах и до 5" в полярных координатах при помощи специальных оптических устройств.

Многоцелевые станки (сверлильно-фрезерно-расточные) (рис. 3.5, *г*) обладают широкими технологическими возможностями, это обеспечивается наличием инструментального магазина с устройством автоматической смены инструмента в шпинделе и системой ЧПУ работой станка. Стол станка может периодически или непрерывно поворачиваться, что позволяет обрабатывать заготовку с нескольких сторон без переустановки. Станки могут иметь дополнительные устройства для автоматической смены заготовок, предварительно закрепленных на приспособлениях-спутниках.

Чтобы обеспечить нормальные условия для начала процесса резания, перед сверлением торец заготовки подвергают обязательной обработке: подрезке, цекованию, фрезерованию — в зависимости от типа станка, на котором обрабатывают отверстие.

Сверло, зенкер, развертка — мерные инструменты, т. е. их диаметральные размеры определяют диаметры обрабатываемых отверстий. Однако при обработке этими инструментами (рис. 3.5, *д—ж*) диаметр отверстия всегда бывает немного больше, чем диаметр инструмента. Такое явление называют разбивкой. Она вызвана упругими отжатиями технологической системы из-за неуравновешенности сил резания на режущих кромках лезвий инструмента, неперпендикулярностью оси шпинделя торцу обрабатываемого отверстия, несоосностью режущей части инструмента и его хвостовика, жесткостью инструмента (с увеличением его вылета — длины консоли жесткость уменьшается), выделением большого количества теплоты при обработке и релаксацией (выравниванием) остаточных напряжений в металле заготовки. Чтобы повысить точность обработки при сверлении отверстий на сверлильных и расточных станках, применяют кондукторные втулки (рис. 3.5, *з—к*), устанавливаемые в приспособлениях, называемых кондукторами. Втулка выполняет функцию дополнительной опоры для сверла, поэтому должна быть максимально приближена к торцу обрабатываемой заготовки: расстояние между торцами втулки и заготовки устанавливают равным $(0,5 \dots 1)d$, где d — диаметр сверления, для стальных заготовок и $0,3d$ — для чугунных, благодаря чему стружка удаляется беспрепятственно. Поскольку стойкость кондукторной втулки составляет 10—15 тыс. сверлений, в крупносерийном и массовом производстве ее делают сменной (см. рис. 3.5, *к*); в тех операциях, где отверстие обрабатывают сверлом, зенкером и разверткой, необходимо вместе с инструментом менять кондукторную втулку. Чтобы сократить вспомогательное время на их смену, конструкции патронов и кондукторных втулок делают быстросменными (см. рис. 3.5, *и*). Применение кондукторных втулок уменьшает разбивку в 1,5—2 раза.

Второе назначение кондукторной втулки — автоматическое определение положения оси отверстия на поверхности заготовки. Благодаря использованию кондукторных втулок можно обеспечить точность межосевых расстояний отверстий $\pm 0,015$ мм. При обработке отверстий без кондукторных втулок положение оси отверстия обеспечивают разметкой. Размеченные на слесарной операции оси отверстий накернивают. Для уменьшения увода оси сверла желательно перед сверлением отверстия в сплошном металле провести зацентровку поверхности. При обработке на многоцелевых станках, где не применяют кондукторные втулки, а положение оси отверстия задают программой, операция зацентровки является обязательной. Зацентровку проводят обычными спиральными сверлами с углом заточки конуса, равным 90° .

Более технологичными являются конструкции деталей, имеющие сквозные отверстия, что обеспечивает удобный вход и выход инструмента. Для уменьшения увода оси сверла ось отверстия должна быть перпендикулярна поверхности входа и выхода сверла (рис. 3.6, б, в). При обработке на многоцелевых станках с ЧПУ координаты осей отверстий необходимо проставлять от нулевой точки заготовки, относительно которой определяется исходное положение инструмента.

Сверление отверстий в заготовках из труднообрабатываемых сталей (коррозионно-стойкая, жаропрочная и др.) вызывает сложности. Значительное количество теплоты, выделяемое при сверлении и фактически целиком передающееся заготовке (сверло и стружка находятся в заготовке), и низкая теплопроводность металлов затрудняют процесс резания. Процесс резания можно облегчить, если сверлу сообщить продольные ультразвуковые колебания частотой 22...44 кГц. В момент импульса режущая кромка сверла отрывается от обрабатываемого материала, и в зазор попадает СОЖ, снижающая температуру заготовки и сверла и отводящая теплоту. Для этого сверлильные станки оснащают ультразвуковыми головками или применяют специальные станки.

Зенкерование отверстий разделяют на черновое (при обработке литых или прошитых отверстий) и чистовое (при обработке предварительно просверленных отверстий). Зенкеруют отверстия диаметром до 120 мм. Черновое зенкерование обеспечивает 12—13-й качества точности диаметрального размера и шероховатость поверхности Ra 12,5...25 мкм; однократное скоростное зенкерование

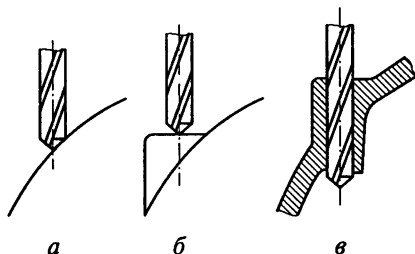


Рис. 3.6. Нетехнологичная (а) и технологичные (б, в) конструкции отверстий

литых отверстий в заготовках из серого чугуна обеспечивает 11-й квалитет точности и шероховатость Ra 3,2... 12,5 мкм, а чистовое зенкерование после сверления — 11-й квалитет точности и шероховатость Ra 6,3... 12,5 мкм. Зенкерование отверстий выполняют на станках тех же групп, что и сверление.

Диаметр и прямолинейность оси отверстия, обработанного зенкером (см. рис. 3.5, *е*), снимающим небольшой припуск и направляемым тремя или четырьмя ленточками, выдерживается точнее, чем при сверлении. Зенкер прочнее сверла, поэтому подачи при зенкеровании могут быть больше, чем при сверлении. В то же время зенкер имеет большее число режущих кромок, следовательно, уменьшается толщина стружки, благодаря чему высота микронеровностей обрабатываемой поверхности меньше, чем при сверлении. Для повышения точности при зенкеровании также применяют кондукторные втулки.

Зенкеры бывают *цельными* или *насадными*, применяемыми для обработки отверстий диаметром более 32 мм. Насадные зенкеры имеют четыре винтовые канавки и, следовательно, четыре режущие кромки. Такие зенкеры крепят на станке при помощи оправки. Период стойкости зенкеров 15... 80 мин в зависимости от его диаметра.

Развертывание отверстий применяют как метод окончательной обработки или как метод, предшествующий хонингованию, тонкому растачиванию, притирке. В зависимости от требований, предъявляемых к точности отверстия, применяют предварительное, чистовое и тонкое развертывание. Предварительное развертывание обеспечивает 9—10-й квалитеты точности и шероховатость поверхности Ra 3,2... 6,3 мкм, чистовое — 7—8-й квалитеты точности и шероховатость поверхности Ra 1,6... 3,2 мкм, тонкое — 5—6-й квалитеты точности и шероховатость поверхности Ra 0,4... 0,8 мкм.

Развертывание отверстий можно проводить на станках, на которых выполняют сверление и зенкерование, и на координатно-расточных станках. Поскольку развертывание не уменьшает смещение оси (увод оси) отверстия, ему должно предшествовать зенкерование или растачивание отверстия. Отверстия диаметром до 10 мм (под штифты или точные болты) развертывают после сверления.

Чтобы развертка (см. рис. 3.5, *ж*) работала одновременно при врезании всеми лезвиями, с торца отверстия необходимо снять фаску. Для лучшего отвода стружки, что особенно важно при обработке вязких, труднообрабатываемых материалов, развертки выполняют с наклонными (винтовыми) лезвиями. Угол наклона равен 10... 45° (большие значения применяются для металлов с большей вязкостью). Развертки с винтовыми канавками применяют также при обработке отверстий, имеющих продольные канавки (напри-

мер, шпоночные пазы), так как каждый раз, когда прямое лезвие попадает напротив канавки (выходит из работы), развертка под действием сил резания смещается в сторону канавки, увеличивая тем самым диаметр обрабатываемого отверстия (его разбивку). При винтовом расположении лезвия перекрывают канавку по диагонали, и резких изменений нагрузки на развертку не происходит. Применяют также нечетное число лезвий с неравномерным угловым шагом. При правом вращении шпинделя станка направление лезвий должно быть левым, чтобы развертка не втягивалась в отверстие давлением стружки.

Отверстия с параметром шероховатости Ra 6,3 мкм развертывают после сверления с припуском по диаметру 0,3...0,5 мм; с Ra 3,2 мм — после зенкерования с припуском 0,25...0,4 мм; с Ra 1,6 мкм — после чернового развертывания с припуском по диаметру 0,1...0,25 мм (меньшие значения для диаметров $d \leq 10$ мм, бóльшие — для $d > 30$ мм). Режимы обработки зависят от вида развертки, длины его заборной части, материалов инструмента и заготовки и т.д. При обработке заготовок из конструкционной стали развертками из быстрорежущей стали величина подачи 2...7 мм/об, скорость резания 5...20 м/мин, соответственно при обработке развертками с твердосплавными пластинами 0,8...2 мм/об и 10...50 м/мин.

При обработке сверлами, зенкерами и развертками в качестве СОЖ для стальных заготовок применяют эмульсию, сульфорезол; для чугунных заготовок и заготовок из цветных металлов и сплавов обработку можно вести с охлаждением эмульсией или керосином или без охлаждения.

В крупносерийном и массовом производстве часто применяют комбинированные инструменты: сверло-зенкер, двухступенчатое сверло, сверло-развертка, позволяющие сократить время выполнения операции совмещением нескольких переходов.

Растачивание отверстий широко применяют при обработке точных отверстий на токарных, горизонтальных и координатно-расточных станках; это объясняется тем, что при обработке резцами удается получить наименьшее отклонение оси отверстия в пространстве (исправить увод-оси в пролитых и прошитых отверстиях в заготовках, а также после сверления). Режимы резания при растачивании отверстий определяют исходя из характера обработки, материалов инструмента и заготовки, требуемой точности и качества поверхности детали.

Черновое растачивание выполняют с глубиной резания 3...6 мм, подачей 0,5...1,2 мм/об, скоростью резания 60...90 м/мин (резцы из быстрорежущей стали) и 100...150 м/мин (твердосплавные резцы). Чистовое растачивание выполняют с глубиной резания 0,3...0,8 мм, подачей 0,2...0,3 мм/об, скоростью резания 100...180 м/мин (резцы из быстрорежущей стали) и 150...250 м/мин (твердосплавные резцы).

Тонкое отделочное точение выполняют на координатно-расточных станках или алмазно-расточных станках с глубиной резания $0,05 \dots 0,1$ мм, подачей $0,05 \dots 0,12$ мм/об и скоростью резания более 180 м/мин. Точность отверстий при растачивании зависит от режимов обработки: черновое растачивание обеспечивает 11—13-й квалитеты точности и шероховатость поверхности $Ra 6,3 \dots 25$ мкм; чистовое растачивание — 8—10-й квалитеты точности и шероховатость поверхности $Ra 1 \dots 6,3$ мкм; тонкое растачивание — 5—7-й квалитеты точности, шероховатость поверхности $Ra 0,4 \dots 1,6$ мкм.

При растачивании отверстий применяют расточные резцы различной конструкции, изготавливаемые из быстрорежущей стали или с пластинами из твердого сплава.

Отверстия диаметром d до 70 мм и длиной l до 150 мм при соотношении $l/d < 5$ обрабатывают резцами, установленными в суппорте (рис. 3.7, а). Одновременно при обработке глухих отверстий подрезают внутренние уступы с поперечной (рис. 3.7, б) или продольной подачей (рис. 3.7, в). При диаметре отверстия более 70 мм и длиной свыше 150 мм при соотношении $l/d < 5$ растачивание выполняют резцами, закрепленными в расточных оправках. При растачивании сквозных отверстий резец устанавливают перпендикулярно оси оправки (рис. 3.7, г), глухих — под углом $45 \dots 60^\circ$ (рис. 3.7, д). При соотношении $l/d > 5$ обрабатываемого отверстия применяют расточные головки с направляющими колодками. Закрытые отверстия, например камеры валков, обрабатывают специальными расточными головками: после ввода инструмента в отверстие вершина резца выдвигается на нужный размер рычажным или другим механизмом.

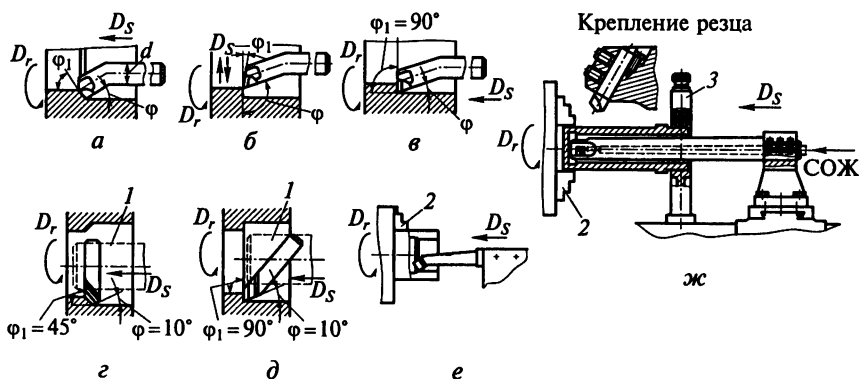


Рис. 3.7. Схемы растачивания:

а, г — сквозных отверстий; б, в — глухих отверстий; д — на токарном станке; е — в трехкулачковом патроне; ж — с лионетной стойкой; 1 — державка; 2 — патрон; 3 — лионетная стойка; D_r — главное движение; D_s — движение подачи; φ , φ_1 — углы резца в плане

При обработке отверстий на станках токарной группы заготовки устанавливают в патронах (трех-, четырехкулачковых, цанговых и др.) (рис. 3.7, *е*). При обработке длинных нежестких заготовок для повышения точности применяют неподвижные люнеты (рис. 3.7, *ж*), закрепляемые на направляющих станка.

Обработку отверстий в корпусных деталях на горизонтальных расточных станках проводят расточными головками, резцами, установленными в оправках консольного типа или в расточных оправках (борштангах). Оправку применяют для обработки коротких отверстий, расположенных вблизи шпинделя. Ее жестко соединяют со шпинделем с помощью конуса. Для обработки длинных отверстий ($l/d > 5$) или отверстий, расположенных в двух стенках заготовки, применяют борштанги, направляемые втулкой люнетной стойки. Борштангу соединяют со шпинделем станка шарнирно. Поскольку в корпусных деталях в стенках располагаются несколько отверстий, одной из важнейших задач является совмещение оси первого отверстия с осью шпинделя. Совмещение производят по накерненным разметочным рискам по линейке или специальным центроискателем (накернивают оси симметрии отверстия и границы обработки на торцах стенок), иногда используют координатные шаблоны. Совмещение оси шпинделя с осями последующих отверстий осуществляют перемещением стола и шпинделя. При растачивании отверстий борштангой задача усложняется необходимостью совмещения оси шпинделя с осью опоры задней стойки 9 (см. рис. 3.5, *в*).

Заданные межосевые расстояния обеспечивают перемещением стола или шпиндельной бабки; допуск на межосевое расстояние: при отсчете по линейке с нониусом — 0,3 мм, по линейке с оптическим устройством — 0,1 мм, по индикатору и штихмасу — 0,05 мм, по упорам и фиксаторам — 0,2 мм.

На станках с ЧПУ точный отсчет заданного перемещения инструмента (шпинделя) или стола осуществляют по программе, при этом заготовку ориентируют на столе станка, совмещая точки отсчета размеров с началом координат станка. Точность межосевых расстояний обеспечивают в пределах $\pm 0,015$ мм. На станках с ЧПУ (многоцелевые станки) применяется только жесткий консольный инструмент — резцовые оправки или головки, что отвечает условиям частой автоматической смены инструментов в ходе операции.

При растачивании отверстий с направлением режущего инструмента применяют кондукторные втулки. Для оправок кондукторные втулки располагают до или после растачиваемого отверстия, для борштанг используют две кондукторные втулки (рис. 3.8, *б*, *в*). Втулки, неподвижные и вращающиеся, размещают в кондукторных приспособлениях, в которых устанавливают обрабатываемую заготовку. Для удобства перемещения оправок и борштанг в кон-

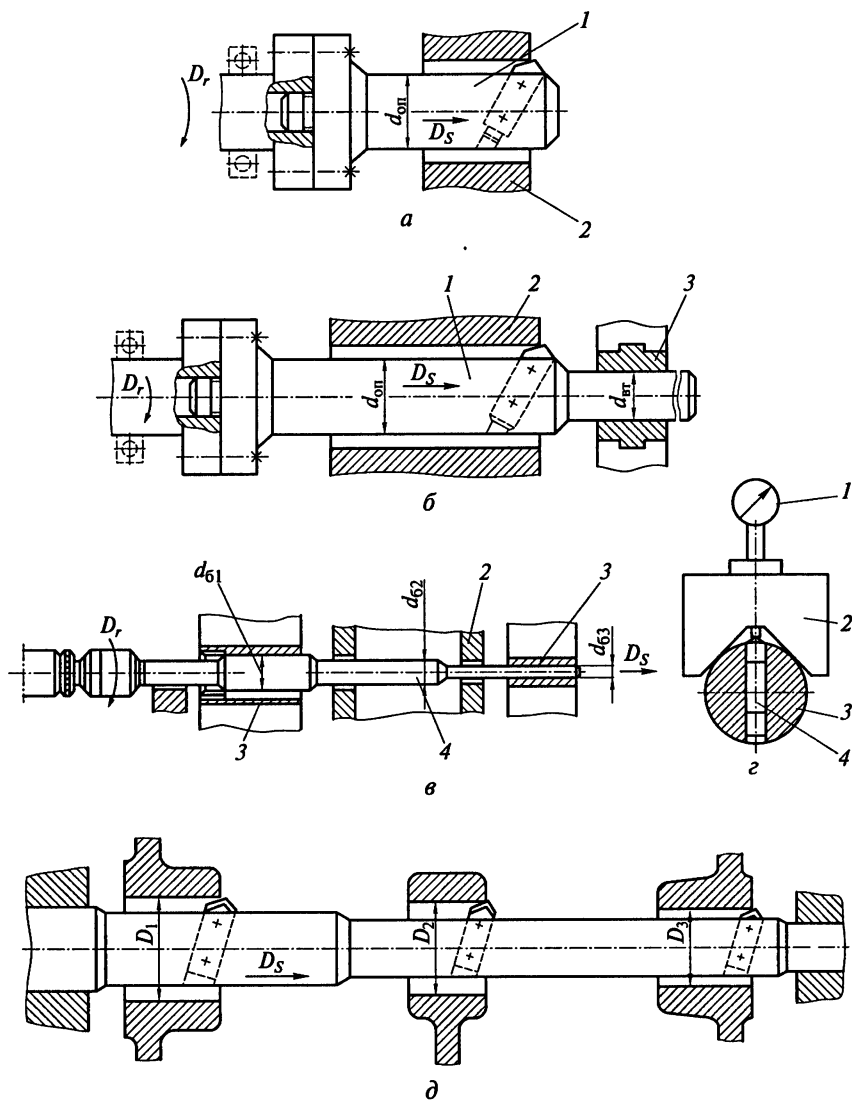


Рис. 3.8. Растачивание отверстий на горизонтально-расточном станке:

a — консольной оправкой; *б* — консольной оправкой с опорной втулкой; *в* — двухопорной борштангой; 1 — оправка; 2 — заготовка; 3 — кондукторная втулка; 4 — борштанга; $d_{оп}$, $d_{бр}$ — диаметр оправки и оправки под направляющую втулку соответственно; $d_{б1}$, $d_{б2}$, $d_{б3}$ — диаметры борштанги; D_r — главное движение; D_s — движение подачи; *г* — схема настройки реза: 1 — индикатор; 2 — призма; 3 — оправка; 4 — резец; *д* — расположение соосных отверстий с перепадом диаметров «в елочку»: D_1 , D_2 , D_3 — диаметры соосных поверхностей

дукторных втулках предусматривают канавки для свободного прохождения выступающего резца или оправки, и борштанги делают ступенчатыми (см. рис. 3.8, *a, в*) с перепадом диаметров $d_{61} - d_{62} > 2h$, где h — вылет резца.

От диаметра оправки или борштанги и вылета резца h зависит величина настроечного размера и, следовательно, размер обрабатываемого отверстия. В связи с этим диаметр оправок и борштанг обрабатывается по 6—7-му квалитетам точности с шероховатостью $Ra\ 0,8 \dots 1,6$ мкм, вылет резца измеряют специальным устройством, установленным на оправку (рис. 3.8, *з*).

При обработке корпусных деталей к технологичности конструкции деталей помимо общих предъявляют следующие требования:

- при обработке ступенчатых соосных поверхностей, расположенных в разных стенках, их диаметры должны располагаться «в елочку», т. е. самый большой диаметр должен быть со стороны подвода инструмента $D_1 > D_2 > D_3$ (рис. 3.8, *д*);

- следует предусматривать параллельное расположение осей обрабатываемых отверстий, избегая пересечения отверстий.

Протягивание сокращает маршрут обработки отверстия, так как протяжка заменяет комплект инструментов (например, зенкер или расточный резец и развертку). Протягиванием обрабатывают сквозные отверстия, причем протягивать можно не только цилиндрические отверстия, но квадратные, многогранные, шлицевые, отверстия с пазами и др. Диапазон диаметров протягиваемых отверстий 5...400 мм, длина до 10 м. Чаще всего протягивают отверстия диаметром 10...75 мм и длиной, не превышающей 2,5—3 диаметра. Протягиванием обрабатывают все виды металлов и пластических масс, допускающих обработку резанием. Производительность протягивания в 3—12 раз выше производительности других методов обработки (развертывание, шлифование и др.). Скорость протягивания лимитируется условиями получения требуемого качества обрабатываемой поверхности, обычно принимают 1...5 м/мин. Движение подачи при протягивании как самостоятельное движение инструмента или заготовки отсутствует. За величину подачи S_z принимают толщину срезаемого слоя отдельным зубом (разность размеров по высоте двух соседних зубьев протяжки), таким образом, S_z является одновременно и глубиной резания. Величина подачи в основном зависит от обрабатываемого материала, конструкции протяжки и жесткости заготовки и составляет 0,01...0,2 мм/зуб.

Черновое протягивание пролитых или прошитых отверстий заготовок обеспечивает точность диаметральных размеров отверстия по 10—11-му квалитетам точности, шероховатость поверхности $Ra\ 3,2 \dots 12,5$ мкм, чистовое (после сверления или зенкерования) — 6—9-й квалитеты точности диаметральных размеров и

шероховатость поверхности $Ra 0,4...3,2$ мкм. Протягивание отверстий осуществляют на протяжных станках, которые по характеру работы подразделяют на станки внутреннего и наружного протягивания, а по расположению инструмента — на горизонтальные и вертикальные.

Общий вид горизонтально-протяжного станка представлен на рис. 3.9, а. В полой части станины 1 коробчатой формы смонтированы основные агрегаты гидравлического привода, силовой гидроцилиндр 2 которого расположен слева. Шток цилиндра связан с рабочими салазками, которые перемещаются вдоль оси станка. На конце штока расположена втулка 4 с патроном. Приспособление для установки детали и сама деталь упираются в неподвижный кронштейн 3 станины.

При полном цикле прямого хода осуществляется подвод протяжки, замедленный рабочий ход, рабочий ход для обрабатываемых зубьев и замедленный ход для калибрующих зубьев. При обратном ходе выполняют замедленный ход и отвод протяжки. Вертикально-протяжный станок для внутреннего протягивания (рис. 3.9, б) состоит из основания 1, тумбы 2, на которой смонтирован стол 3. На столе в приспособлении 4 устанавливают и закрепляют заготовку. Протяжки крепят инструментальными плитами к каретке 5, перемещающейся по вертикальным направляющим стойки 6. При ходе протяжки вниз выполняют рабочий ход, при ходе вверх — холостой. Обычно станок имеет два стола и две каретки, работа которых согласована: одна выполняет рабочий ход, другая — холостой.

При протягивании отверстия протяжкой сверху вниз исключается влияние массы протяжки на форму и размеры отверстия, улучшаются условия охлаждения протяжки, установка детали упрощается, а захват протяжки патроном осуществляется автоматически. Протяжка при обработке направляется обрабатываемой поверхностью, поэтому заготовку устанавливают свободно, прижимая силой протягивания к торцу приспособления (рис. 3.9, в, г). Если торец отверстия заготовки не обработан, для ее установки применяют приспособления со сферической опорной поверхностью. Заготовку в этом случае самоустанавливают (центрируют) по оси протяжки. Поскольку протяжка — «плавающий» инструмент, для того чтобы процесс врезания зубьев протяжки протекал нормально, на торце отверстия выполняют заходную фаску ($1...2,5$) мм \times 45° в зависимости от диаметра протягиваемого отверстия.

Длина протяжки 700...1700 мм. Протяжка (рис. 3.9, д) состоит: из замковой части (хвостовик) длиной l_1 , которая служит для закрепления протяжки в патроне тянущего устройства станка; шейки длиной l_2 для соединения замковой части с передней направляющей частью;

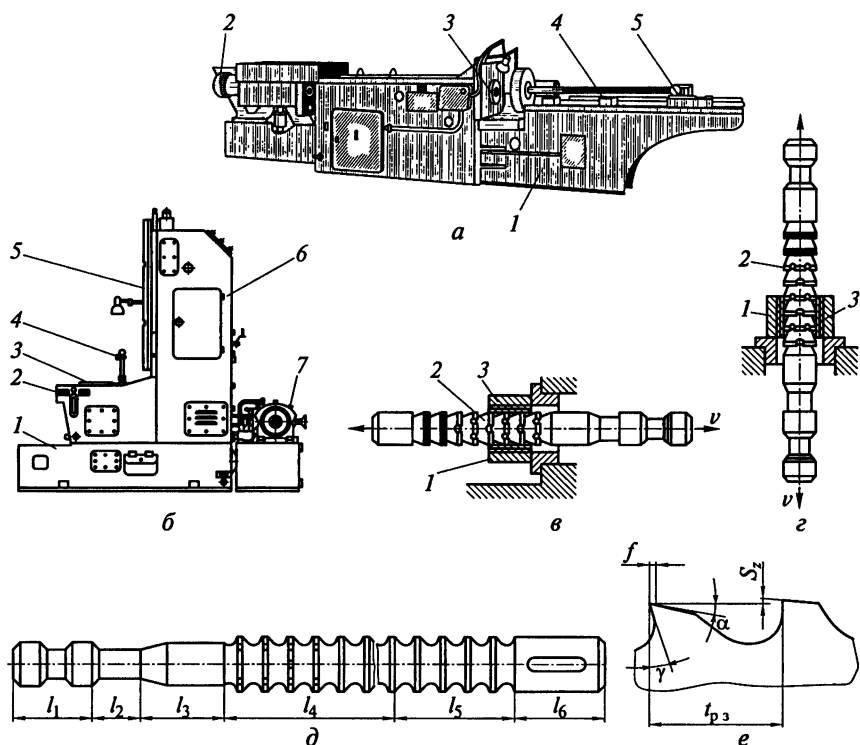


Рис. 3.9. Протягивание:

a — общий вид горизонтально-протяжного станка: 1 — станина; 2 — силовой гидроцилиндр; 3 — неподвижный кронштейн; 4 — втулка с патроном; 5 — вспомогательный патрон; *б* — общий вид вертикально-протяжного станка: 1 — основание; 2 — тумба; 3 — стол; 4 — приспособление для установки заготовки; 5 — каретка; 6 — стойка с вертикальными направляющими; 7 — привод; *в*, *г* — соответственно горизонтальная и вертикальная схемы протягивания отверстий: 1 — заготовка; 2 — протяжка; 3 — снимаемый слой материала; *v* — скорость протягивания; *д* — протяжка: l_1 — длина замковой части; l_2 — длина соединительной шейки; l_3 — длина передней направляющей; l_4 — длина режущей части; l_5 — длина калибрующей части; l_6 — длина задней направляющей; *е* — режущий зуб протяжки: f — ленточка зуба; t_{p3} — шаг зубьев; S_2 — глубина снимаемого слоя на один зуб; α , γ — задний и передний углы зуба соответственно

передней направляющей части длиной l_3 вместе с направляющим конусом для центрирования обрабатываемой заготовки в начале резания;

режущей части длиной l_4 для срезания припуска (состоит из режущих зубьев (рис. 3.9, *е*), высота которых увеличивается на толщину срезаемого слоя);

калибрующей части длиной l_5 для придания обработанной поверхности окончательных размеров, необходимой точности и шероховатости. Калибрующая часть состоит из калибрующих зубьев,

форма и размеры которых соответствуют форме и размерам последнего режущего зуба;

задней направляющей части длиной l_6 , которая служит для направления и поддержания протяжки от провисания в момент выхода последних зубьев калибрующей части из отверстия.

Для облегчения образования стружки на режущих зубьях выполняют стружкоделительные канавки. Шаг режущих зубьев $t_{p,3}$ протяжки определяют в зависимости от длины протягиваемой поверхности, исходя из того, чтобы в резании участвовало не менее трех зубьев. Качество протянутой поверхности улучшают различными способами:

- уменьшение скорости протягивания: меньший параметр шероховатости поверхности достигается при скорости 1...2 м/мин, поэтому протяжные станки снабжают устройствами, автоматически переключающими станок на малую скорость, когда в работу начинают входить зачистные зубья;

- правильный подбор СОЖ;

- улучшение обрабатываемости материала заготовок. Для заготовок из низкоуглеродистой стали лучшая обрабатываемость, а следовательно, лучшее качество поверхности достигается нормализацией, из среднеуглеродистой и легированной стали — улучшением до твердости 250...280 НВ;

- уменьшение подачи на зуб до 0,01...0,03 мм;

- тщательная доводка ленточки f и задней поверхности зуба (см. рис. 3.9, *e*) протяжки притиром с пастой ГОИ, что способствует уменьшению налипания металла на зуб; увеличение переднего угла γ , когда $S_z > 0,01$ мм;

- обеспечение плавной работы станка — тяговая сила станка должна превышать требуемую силу протягивания.

Прошивание как метод окончательной обработки отверстий обеспечивает 6—7-й качества точности диаметральных размеров с шероховатостью поверхности Ra 0,4...1,6 мкм. Прошивание применяют для исправления формы отверстий шестерен, втулок после выпрессовки из них оправок, с помощью которых устанавливаются на станке, и после термической обработки заготовок (при твердости не более 40...45 HRC). Прошивание осуществляют на прессах. Прошивка длиной 400...700 мм (не более 15 диаметров) имеет только калибровочные зубья; хвостовик и шейка у нее отсутствуют. При обработке пуансон проталкивает прошивку через отверстие заготовки, установленной в приспособлении на столе пресса.

3.6. ОБРАБОТКА ПЛОСКОСТЕЙ РЕЗАНИЕМ

Обработку плоскостей выполняют на фрезерных, строгальных и протяжных станках.

Фрезерование плоскостей, пазов, уступов выполняют фрезами различной конструкции: цилиндрическими, торцевыми, дисковыми, концевыми и др. — на станках фрезерной группы (вертикально-фрезерные, горизонтально-фрезерные, с ЧПУ, продольно-фрезерные и др.), многоцелевых станках.

Фрезерные станки предназначены для обработки плоских и фасонных поверхностей. Главным движением у фрезерных станков является вращение фрезы, движение подачи — перемещение заготовки относительно фрезы. В зависимости от расположения узлов (компоновки) фрезерные станки бывают консольные и бесконсольные. Основным отличием первых является наличие консоли 1 (рис. 3.10), перемещающейся по вертикальным направляющим станины 2. На консоли размещены салазки 3 поперечного перемещения, по верхним направляющим которых перемещается несущий стол 4. На столе в приспособлении закрепляют обрабатываемую заготовку. Широкоуниверсальные станки (рис. 3.10, а) имеют дополнительную шпиндельную головку 7, смонтированную на выдвигающемся хоботе 6. Головка может поворачиваться на любой угол в горизонтальной плоскости. На станине горизонтально-фрезерного станка (рис. 3.10, б) смонтирован хобот 6, несущий поддерживающую серьгу 9, в отверстие которой устанавливают второй конец оправки с фрезами для обеспечения жесткости системы. Шпиндельная головка 10 вертикально-фрезерного станка (рис. 3.10, в) может поворачиваться в вертикальной плоскости, что обеспечивает обработку наклонных плоскостей.

У бесконсольных фрезерных станков салазки, несущие стол, перемещаются по горизонтальным направляющим, а шпиндельная бабка с фрезой перемещается в вертикальном направлении по направляющим стойки. Для обработки крупногабаритных дета-

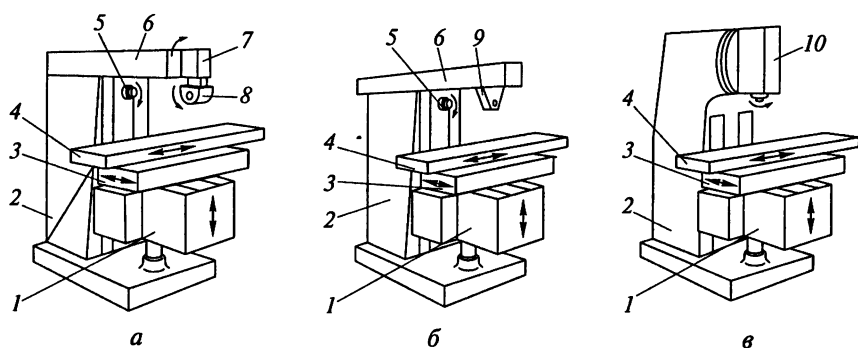


Рис. 3.10. Консольно-фрезерные станки:

а — широкоуниверсальный; б — горизонтальный; в — вертикальный; 1 — консоль; 2 — станина; 3 — салазки поперечного перемещения; 4 — стол; 5 — шпиндель; 6 — хобот; 7 — дополнительная шпиндельная головка; 8 — накладная шпиндельная головка; 9 — серьга; 10 — шпиндельная головка

лей применяют продольно-фрезерные станки (одно- и двухстоечные). Стол перемещается по направляющим станины, а шпиндельные головки (у двухстоечного станка их четыре) — по направляющим стоек вертикально (две головки) и по направляющим поперечины (траверсы) горизонтально (две головки). Сама траверса перемещается по направляющим стоек вертикально.

Различные схемы фрезерования показаны на рис. 3.11. Торцевые фрезы применяют при обработке больших открытых плоских поверхностей, набор цилиндрических, прорезных и угловых фрез, закрепленных на одной оправке, — для обработки сложных профилей, фасонные фрезы — для обработки сложнопрофилированных поверхностей, концевые и дисковые — для обработки пазов и уступов.

При обработке фрезами различают черновое, получистовое и чистовое фрезерование, а при обработке торцевыми фрезами еще и тонкое фрезерование. *Черновое* фрезерование применяют для обработки отливок и поковок, припуск на предварительную обра-

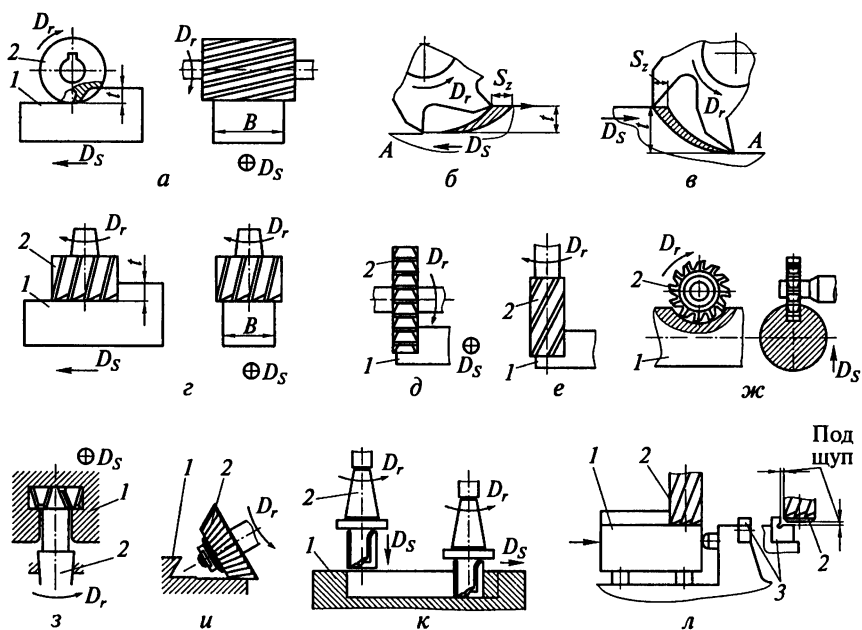


Рис. 3.11. Схемы фрезерования:

a — периферией цилиндрической фрезы; *б* — встречное; *в* — попутное; *г* — торцом фрезы; *д* — дисковой фрезой; *е* — концевой фрезой; *ж* — дисковой фрезой сегментного шпоночного паза; *з* — пазовой фрезой; *и* — угловой фрезой; *к* — сверлопазовой фрезой; *л* — схема настройки фрезы по габариту; 1 — заготовка; 2 — фреза; 3 — габарит; D_r , D_s — главное движение и движение подачи; B — ширина заготовки; t — глубина фрезерования; S_z — подача на зуб фрезы

ботку которых превышает 3 мм. Черновое фрезерование плоских поверхностей обеспечивает отклонение от плоскостности 0,15... 0,3 мм на 1 м длины и шероховатость Ra 12,5... 25 мкм. *Получистовое* фрезерование используют для уменьшения погрешностей геометрических форм, пространственных отклонений и высоты микронеровностей, оно обеспечивает отклонение от плоскостности 0,1... 0,2 мм на 1 м длины и шероховатость Ra 6,3... 12,5 мкм. *Чистовое* фрезерование применяют в качестве окончательной обработки либо перед последующей отделочной обработкой. Чистовое фрезерование позволяет получить отклонение от плоскостности 0,04... 0,08 мм на 1 м длины поверхности и шероховатость Ra 1,6... 6,3 мкм. *Тонкое* фрезерование осуществляют как метод окончательной обработки плоских поверхностей торцевыми фрезами с припуском в пределах 0,2... 0,5 мм. Тонкое фрезерование обеспечивает отклонение от плоскостности 0,02... 0,04 мм на 1 м длины и шероховатость Ra 0,4... 3,2 мкм. Его выполняют на станках повышенной точности. При использовании точных заготовок (когда припуск на обработку менее 2 мм) применяют однократное фрезерование, которое обеспечивает отклонение от плоскостности 0,06... 0,1 мм на 1 м длины и шероховатость Ra 3,2... 12,5 мм. Применяя скоростные режимы при фрезеровании, можно уменьшить высоту микронеровностей в 1,5—2,5 раза.

Режимы обработки зависят от вида и материала фрезы, геометрии ее режущей части, обрабатываемого материала. На фрезерных станках, как правило, инструмент вращается, а заготовка имеет прямолинейное или круговое (карусельно-, барабанно-фрезерные станки) движение подачи. При черновом фрезеровании величина подачи равна 0,1... 0,4 мм/зуб, при чистовом — 0,08... 0,15 мм/зуб, при тонком — 0,03... 0,05 мм/зуб, соответственно скорость резания составляет 20... 30, 60... 170 и более 180 м/мин. При обработке заготовок из труднообрабатываемых металлов и сплавов скорости резания уменьшают в 1,5—8 раз; чтобы не снижать производительность обработки, применяют плазменное фрезерование.

Цилиндрическое и торцевое фрезерование можно осуществлять двумя способами:

- встречным — против движения подачи, когда направление скорости движения подачи противоположно направлению скорости главного движения резания (рис. 3.11, б);
- попутным — по направлению движения подачи, когда направления скорости движения подачи и главного движения резания совпадают (рис. 3.11, в).

При *встречном* фрезеровании нагрузка на зуб фрезы возрастает от нуля до максимума, при этом сила, действующая на заготовку, стремится оторвать ее от стола станка, что приводит к вибрации и увеличению шероховатости обрабатываемой поверхности. Преиму-

ществом встречного фрезерования при черновой обработке является работа зубьев фрезы «из-под корки»: фреза подходит к твердому поверхностному слою (например, у отливок из серого чугуна, имеющих твердую перлитную корку) снизу и отрывает стружку при подходе к точке *A* (см. рис. 3.11, б).

При *попутном* фрезеровании зуб фрезы сразу начинает срезать слой максимальной толщины и подвергается максимальной нагрузке (см. рис. 3.11, в), что исключает начальное проскальзывание зуба, уменьшает износ фрезы и шероховатость обработанной поверхности. Сила, действующая на заготовку, прижимает ее к столу станка, что уменьшает вибрацию и соответствует условиям чистовой обработки. Однако для осуществления попутного фрезерования требуется устройство, компенсирующее зазоры в механизме подачи станка. На станках с обычной гайкой ходового винта рекомендуется встречное фрезерование.

Для обработки применяют цельные фрезы из быстрорежущей стали и фрезы со сменными многогранными пластинами, механически (винтом) закрепляемые на корпусе фрезы. Такая конструкция делает фрезы более вибро- и износостойкими. Пластины изготавливают из твердого сплава и сверхтвердых материалов (поликристаллические синтетические алмазы, минералокерамика и др.). При этом торцевыми фрезами можно выполнять чистовую обработку заготовок из закаленной стали, чугуна повышенной твердости и цветных металлов. Скорость фрезерования для фрез с пластинами из минералокерамики возрастает до 350 м/мин (для заготовок из серого чугуна твердостью 500 НВ), до 750 м/мин (для заготовок из улучшенной стали), до 150 м/мм (для заготовок из стали твердостью 60 HRC). При использовании пластин из синтетического алмаза скорость фрезерования заготовок из алюминиевых сплавов может достигать 1500 м/мин. Настройка фрез на заданный размер обработки производится:

по разметочным рискам на заготовке при ее индивидуальной выверке на столе фрезерного станка;

эталону (высотке или габариту), установленному на приспособлении, при обработке партии заготовок (рис. 3.11, л).

По высотке устанавливается одна координата z — высота положения фрезы, по габариту — две координаты: z и x (или y). Настройка проводится по щупу, размещаемому между эталоном и вершиной зуба фрезы, что позволяет использовать одни и те же эталоны для черновой и чистовой обработки, применяя различные по толщине щупы. Кроме того, это дает возможность учесть при настройке величину износа зубьев фрезы и упругие отжатия технологической системы. При обработке заготовок набором дисковых фрез на горизонтально-фрезерных станках их настройку проводят вне станка с помощью мерных колец, расположенных между торцевыми поверхностями фрез. Для более

тонкой настройки набора фрез целесообразно использовать регулировочные кольца.

Уступы, пазы и проушины обрабатывают дисковыми или концевыми фрезами. Выбор варианта зависит от конструкции детали — глубины обрабатываемой поверхности и возможности свободного выхода фрезы. Концевыми фрезами обрабатывают открытые пазы (рис. 3.11, *е*) с продольной подачей на всю глубину. Для обработки закрытых пазов (карманов) предварительно сверлят отверстие диаметром, равным ширине паза, на глубину паза, а затем вводят в отверстие концевую фрезу и с продольной подачей ведут обработку на заданной длине. Однако с применением сверлопазовых фрез (рис. 3.11, *к*) возможна комбинированная обработка: вначале с вертикальной подачей на глубину паза, а затем с продольной подачей на его длину. Шпоночные пазы закрытого типа на валах обрабатывают на шпоночно-фрезерных станках двузубой концевой фрезой по челночной схеме с ручной или автоматической осевой (вертикальной) подачей в конце каждого продольного хода фрезы.

При обработке заготовок фрезерованием к конструкции деталей предъявляют определенные требования:

- желательно, чтобы торцы всех бобышек, фланцев и выступов лежали в одной плоскости (рис. 3.12, *а*). При фрезеровании выступ-

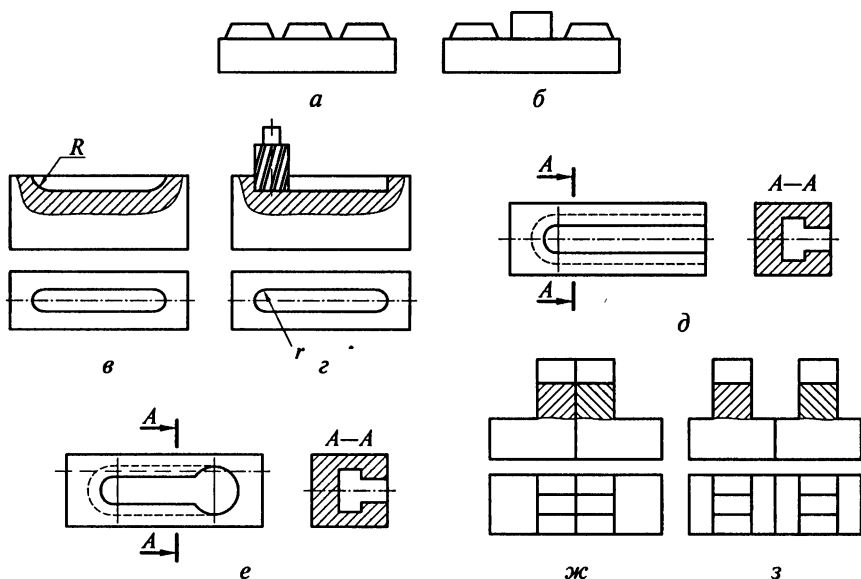


Рис. 3.12. Технологичность конструкций деталей при фрезеровании: *а, д, ж* — технологичные конструкции; *б, е, з* — нетехнологичные конструкции; *в* — паз под дисковую фрезу; *г* — паз под шпоночную фрезу; *г, R* — радиусы пазов

пов разной высоты (рис. 3.12, б) приходится поднимать и опускать стол станка и брать для обработки фрезы меньшего диаметра, что снижает производительность;

- высота выступов, бобышек должна быть больше максимальных припусков на обработку их торцев, иначе может произойти врезание фрезы в поверхность, не подлежащую обработке;

- конструкция детали должна обеспечивать возможность одновременной обработки нескольких заготовок на станке (рис. 3.12, ж). Конструкция, показанная на рис. 3.12, з, менее технологична, так как не обеспечивает безударный съём стружки;

- при обработке закрытых шпоночных пазов необходимо, чтобы радиусы пазов R и r (рис. 3.12, в, г) соответствовали стандартным размерам фрезы;

- следует предусматривать открытые пазы (рис. 3.12, д), их проще изготовить и можно фрезеровать дисковыми фрезами с большими режимами обработки. При обработке закрытых пазов (рис. 3.12, е) нужно предварительно засверливать отверстие для входа концевой фрезы.

Строгание плоскостей выполняют резцами на поперечно- и продольно-строгальных станках. Разновидностью строгания является *долбление*, когда главное возвратно-поступательное движение резки совершается в вертикальной плоскости. Схемы обработки на строгальных и долбежных станках показаны на рис. 3.13. Процесс резания при строгании прерывистый, и удаление материала происходит только при рабочем ходе. Во время обратного (холостого) хода резец приподнимается над обрабатываемой поверхностью и строгания не производит. Прерывистый процесс обработки способствует охлаждению инструмента в процессе обработки заготовки, что в большинстве случаев исключает применение СОЖ. Прерывистость резания приводит к значительным динамическим нагрузкам, поэтому строгание выполняют с умеренными скоростями. Скорость чернового строгания 5...30 м/мин, поперечная подача 0,8...1,5 мм/дв. ход при глубине резания до 10 мм. Черновое строгание обеспечивает отклонение от прямолинейности 0,3...0,15 мм на 1 м длины и шероховатость поверхности Ra 12,5 мкм. Чистовое строгание применяют как окончательный метод обработки после чернового строгания или фрезерования или как метод промежуточной обработки перед последующей отделочной. Скорость чистового строгания 15...25 м/мин, подача 3...20 мм/дв. ход при глубине резания 0,1...1 мм. Чистовое строгание позволяет получить отклонение от прямолинейности 0,03...0,05 мм на 1 м длины и шероховатость поверхности Ra 3,2...1,6 мкм. Тонкое строгание выполняют широкими резцами с малыми глубинами резания (0,05...0,2 мм) и обеспечивают отклонение от прямолинейности 0,02...0,04 мм на 1 м длины и шероховатость Ra 0,4...0,8 мкм. Строгание — менее

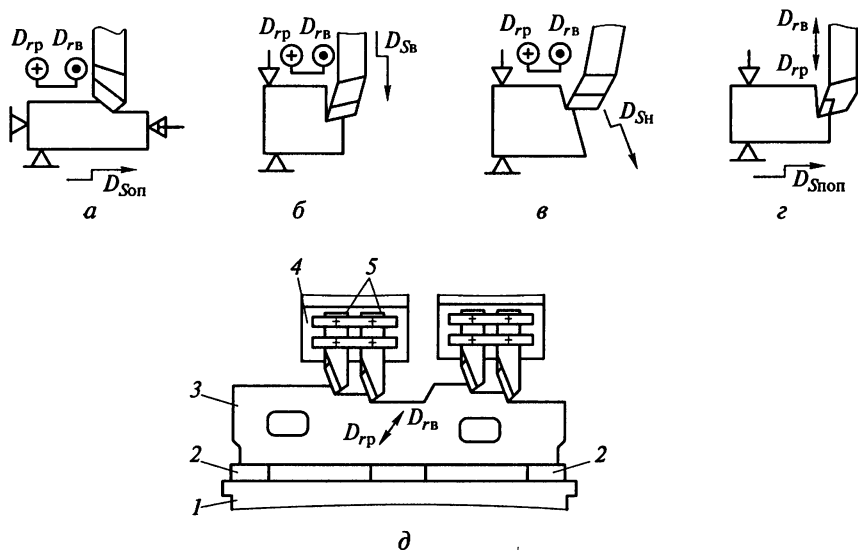


Рис. 3.13. Схемы строгания и долбления:

а, б, в — горизонтальной, вертикальной и наклонной плоскостями соответственно; *г* — паза; *д* — плоскостей станины на продольно-строгальном станке: *1* — стол; *2* — пластины; *3* — заготовка; *4* — суппорт; *5* — резцы; D_{rp} , D_{rv} — главное движение, рабочее и вспомогательное (обратный ход) соответственно; D_S — движение подачи; $D_{Sоп}$, $D_{Св}$, $D_{Сн}$ — движение подачи поперечное, вертикальное и наклонное соответственно

производительный процесс, чем фрезерование, и применяется в основном для обработки плоскостей, имеющих большую протяженность (длину) при малой ширине или глубине (направляющие станин, кареток станков, координатных столов и т. п.). Чаще всего строгание применяют в условиях мелкосерийного производства. Долбление внутренних пазов, канавок применяют в глухих отверстиях, когда невозможно использовать протяжку. В этом случае в конструкции детали необходимо предусмотреть канавку для выхода резца.

Протягивание плоскостей применяют в основном в массовом производстве (например, на автомобильных заводах набором сегментных протяжек обрабатывают наружную поверхность крышки шатуна). Обработка ведется на наружно-протяжных станках горизонтальной или вертикальной компоновки. Последние имеют преимущества, поскольку занимают относительно небольшую площадь, имеют хорошее охлаждение инструмента, так как направления движения СОЖ и протяжки совпадают (сверху вниз), и высокую производительность. Различные схемы наружного протягивания представлены на рис. 3.14.

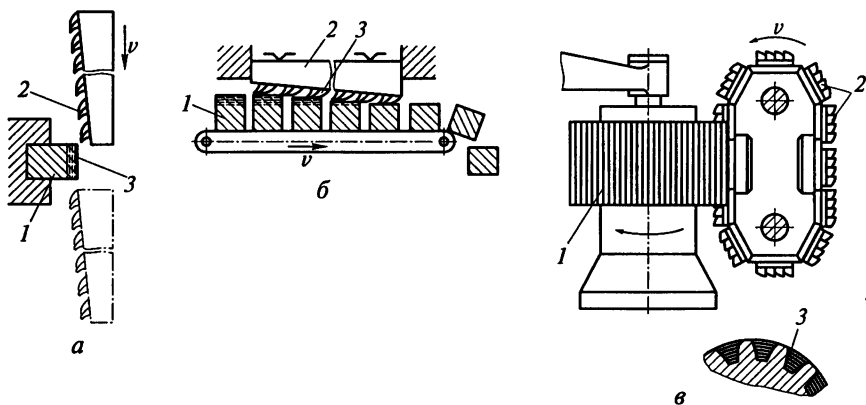


Рис. 3.14. Схемы наружного протягивания:

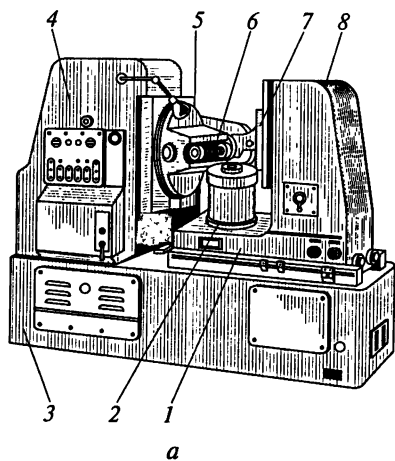
a — плоского неподвижной заготовки; *б* — плоского подвижной заготовки; *в* — зубьев колеса; 1 — обрабатываемая заготовка; 2 — протяжка; 3 — снимаемый слой металла; *v* — скорость протягивания

При использовании специального оборудования протяжку можно устанавливать неподвижно (рис. 3.14, *б*), а заготовки перемещать непрерывно на цепном конвейере. Производительность возрастает в 6—10 раз по сравнению с обработкой неподвижной заготовки движущейся протяжкой (рис. 3.14, *а*). Наружное протягивание обеспечивает точность размеров по 7—9-му квалитетам, шероховатость поверхности $Ra\ 0,8 \dots 3,2$ мкм.

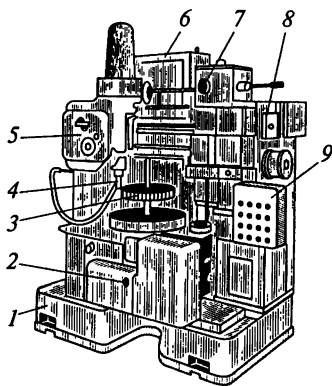
3.7. ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ И ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Обработку зубьев зубчатых колес осуществляют двумя методами: методом обкатки и методом копирования.

Метод обкатки червячными фрезами нашел широкое применение в серийном и массовом производстве. Наиболее производительным методом является зубофрезерование, которое выполняют червячными фрезами на зубофрезерных станках (рис. 3.15, *а*). На станине 3 расположены салазки 1 стола 2, который может перемещаться в радиальном направлении. Слева от станины размещена стойка 4. На ее вертикальных направляющих установлен суппорт 5 с фрезерной головкой 6. Благодаря наличию поворотного круга фрезу вместе с фрезерной головкой можно поворачивать на заданный угол. Справа на столе расположена стойка 8, по вертикальным направляющим которой перемещается кронштейн 7, поддерживающий верхний конец оправки с заготовкой или заготовку типа «вал-шестерня». Червячными фрезами нарезают прямые и спиральные зубья, при этом червячную фрезу устанавлива-



a



б

Рис. 3.15. Станки для обработки зубьев зубчатых колес:

a — общий вид зубофрезерного станка: 1 — салазки; 2 — стол; 3 — станина; 4 — стойка; 5 — суппорт; 6 — фрезерная головка; 7 — кронштейн, поддерживающий заготовку; 8 — стойка; *б* — общий вид зубодолбежного станка: 1 — станина; 2 — откидной стол; 3 — обрабатываемая заготовка (зубчатое колесо); 4 — долбяк; 5 — инструментальная головка со штосселем; 6 — электрошкаф; 7 — направляющие; 8 — механизм врезания; 9 — пульт управления

ют так, чтобы направление витков ее спирали совпадало с направлением зубьев. Заготовки шестерен 2 устанавливают на гладкой или шлицевой оправке, базируя по отверстию заготовки и торцу (рис. 3.16, *a*). Желательно, чтобы фланец, на который устанавливается заготовка, был приближен к месту обработки для повышения жесткости заготовки и, следовательно, повышения точности зубьев. При зубофрезеровании получают 7—8-ю степени точности зубьев с шероховатостью поверхности до $Ra\ 3,2$ мкм включительно. При модуле зубьев $m < 3$ мм обработку зубьев выполняют за один переход, при модуле $m > 3$ мм — за два перехода: черновой и чистовой, последовательно за один установ заготовки. Глубина резания при втором переходе составляет 0,5...1 мм на сторону зуба.

Обработку методом копирования ведут пальцевыми или модульными дисковыми фрезами (рис. 3.16, *в*, *г*) на вертикально- или горизонтально-фрезерном станках. Так как профиль зуба фрезы повторяет (копирует) профиль впадины зуба колеса, то последняя формируется за один продольный ход стола. Заготовки на оправке устанавливают в центрах, один из которых закреплен в делительной головке, поворачивающей заготовку на один зуб. Процесс малопроизводителен, его применяют только в единичном и мелкосерийном производстве. Точность обработки 9—10-я степени точности зубьев с шероховатостью $Ra\ 3,2...6,3$ мкм.

Выбор скорости резания и подачи зависит от многих факторов: модуля, материалов заготовки и фрезы, конструкции, жесткости фрезы и станка и др. Обычно при выборе подачи руководствуются требуемой точностью обработки и шероховатостью поверхности, при выборе скорости — желаемой стойкостью фрезы.

У заготовок из стали с содержанием углерода менее 0,3 % с твердостью 160...200 НВ при обработке фрезами из быстрорежущей стали зубья нарезают с подачей 3...6 мм/об и скоростью резания 50...80 м/мин, при чистовой обработке работают с меньшей подачей и большей скоростью.

При чистовой обработке однозаходной фрезой подачу выбирают в диапазоне 0,8...2 мм/об. При фрезеровании многозаходными червячными фрезами возникают высокие удельные нагрузки на зубья фрезы, поэтому подачи уменьшают: для двухзаходных фрез на 30 %, для трехзаходных фрез на 50 %.

Зубодолбление применяют для нарезания зубьев внутреннего зацепления, блочных зубчатых колес с близко расположенными венцами (рис. 3.16, б), когда не обеспечен свободный выход червячной фрезы; для нарезания зубьев шевронных колес, зубчатых реек. Также зубодолблением обрабатывают прямые и косые зубья

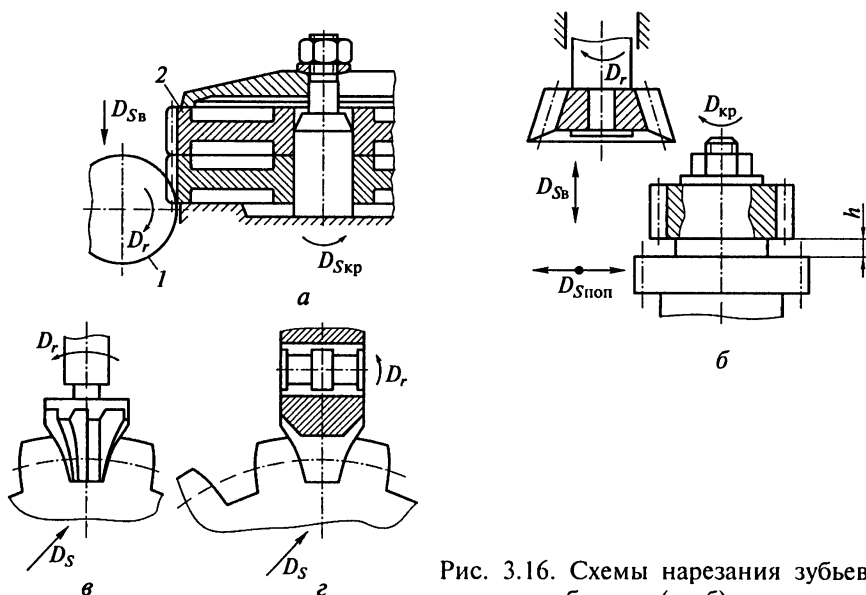


Рис. 3.16. Схемы нарезания зубьев методом обкатки (а, б) и методом копирования (в, з):

а — червячной фрезой: 1 — фреза; 2 — шестерни; б — долбяком: h — расстояние между венцами; в — пальцевой фрезой; з — дисковой модульной фрезой; D_r — главное движение; D_s — движение подачи; $D_{Sв}$, $D_{Sкп}$, $D_{Sпоп}$ — движение вертикальной, круговой и поперечной подачи соответственно

наружного зацепления, когда требуется получить зубчатое зацепление более высокой точности. Зубодолбление выполняют на зубодолбежных станках (рис. 3.15, б). Нарезаемое зубчатое колесо 3 крепят на горизонтальной планшайбе стола 2 с помощью специального приспособления. Долбяк 4 устанавливают на инструментальной каретке со штосселем. Стол 2 имеет три подачи: ускоренную от отдельного привода для ориентационной установки заготовки в исходное положение, медленную ручную для точной установки заготовки в исходное положение и врезания долбяка в заготовку и механическую (радиальную) для врезания долбяка в заготовку на заданную глубину. Станок работает по замкнутому автоматическому циклу. После пуска станка начинаются одновременные возвратно-поступательное движение долбяка, движения обкатки и механической подачи. По достижении долбяком заданной глубины процесс врезания автоматически прекращается, после чего планшайба стола делает один полный оборот. Косозубые шестерни нарезают при помощи специального приспособления, которое монтируют на суппорте.

Обработкой круглыми долбяками обеспечивают 6—8-ю степени точности зубьев с шероховатостью Ra 1,6...3,2 мкм. Режимы резания при зубодолблении выбирают в зависимости от модуля зубьев, свойств материала заготовки, требуемой точности и т. п. Для стальных заготовок скорость зубодолбления составляет 25...40 м/мин, круговая подача в зависимости от модуля зубьев — 0,18...0,5 мм/дв. ход долбяка, радиальная подача в зависимости от твердости заготовки составляет 0,02...0,06 мм/дв. ход. При чистовом зубодолблении величину подачи уменьшают, а скорости увеличивают (примерно на 50 %) в зависимости от требуемой точности зубьев.

Протягивание наружных зубьев методом обкатки применяют для прямозубых и косозубых колес. Ременная модульная протяжка имеет поступательное рабочее движение, а обрабатываемая заготовка вращается принудительно. Достоинство протягивания — высокая производительность, а недостаток — высокая стоимость специального оборудования, поэтому протягивание зубьев применяют в массовом производстве.

Накатывание зубьев в горячем (см. подразд. 2.3) и холодном состоянии позволяет получать 8-ю степень точности зубьев. Холодное накатывание используют как окончательную операцию при обработке зубьев, заменяющую шевингование. После зубофрезерования холодное накатывание позволяет получать устойчиво 7-ю степень точности зубьев.

Шевингование зубьев является наиболее распространенным и экономичным методом чистовой обработки незакаленных зубьев (с твердостью до 33 HRC) прямозубых и косозубых цилиндрических колес с внешним и внутренним зацеплением после зубофрезерования или зубодолбления. На рис. 3.17, а приведена схема ра-

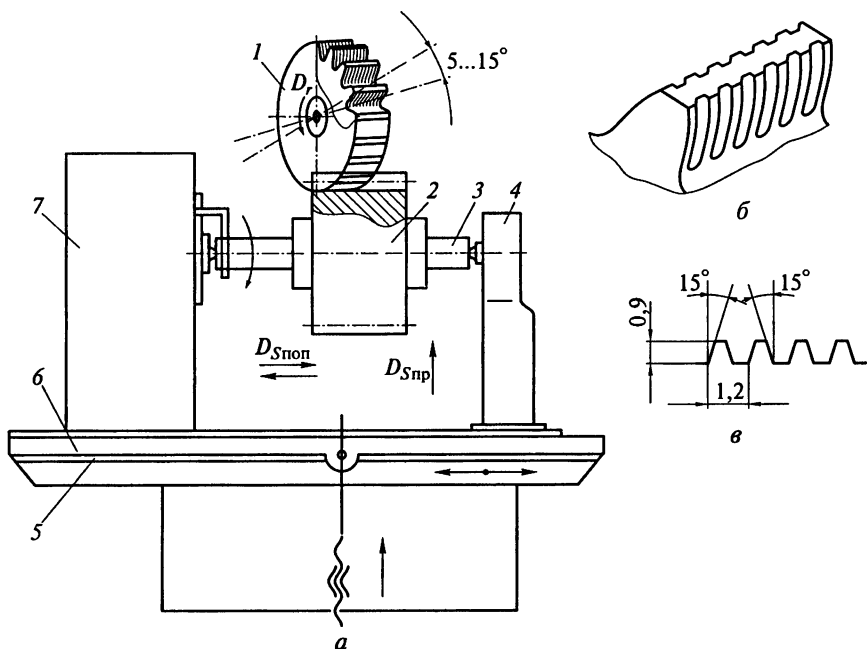


Рис. 3.17. Шевингование:

a — схема работы зубошевинговального станка: 1 — шевер; 2 — обрабатываемое зубчатое колесо; 3 — центровая оправка; 4 — задняя бабка; 5 — нижний стол; 6 — верхний стол; 7 — передняя бабка; D_r — главное движение; $D_{спр}$, $D_{спп}$ — движения продольной и поперечной подачи соответственно; *б* — зуб шевера; *в* — профиль насечки зуба

боты зубошевинговального станка. Шевер 1 вращается от электродвигателя и принудительно вращает обрабатываемую заготовку 2, установленную на оправке 3 в центрах передней 7 и задней 4 бабок, размещенных на верхнем столе 6. Верхний стол шарнирно связан с нижним столом 5, получающим возвратно-поступательное движение. Стол 5 в конце каждого двойного хода совершает вертикальную подачу. Таким образом, в процессе обработки зубчатого колеса происходит вращение инструмента и заготовки, возвратно-поступательное перемещение заготовки и ее перемещение в радиальном направлении к шеверу. Несколько последних возвратно-поступательных ходов выполняют без радиальной вертикальной подачи — калибрующие ходы.

Шевингованием можно повысить точность зубьев на 1—2 степени. Точность шевингованных зубчатых колес достигает 6—8-й степеней точности, шероховатость поверхности Ra 0,8... 2 мкм. Шевер представляет собой косозубое цилиндрическое колесо (угол наклона зубьев 5...15°), на боковых сторонах которого нанесены поперечные насечки (рис. 3.17, *в*). Последние снимают (соскабли-

вают) стружку с боковой стороны зуба толщиной 0,05...0,12 мм в зависимости от величины зуба (при модуле $m = 1 \dots 8$ мм). Чтобы зубья шевера в процессе обработки заготовки были параллельны ее зубьям, ось шевера наклоняют на угол, равный по величине углу наклона зубьев шевера — 5...15°. Шевер изготавливают из инструментальных сталей У8А, У10А или цементируемой стали 20Х с закалкой до твердости 60...65 HRC.

Методы шевингования различаются направлением подачи, конструкцией шевера и временем обработки. На рис. 3.17, *a* изображена схема параллельного шевингования. Зубья внутреннего зацепления шевингуют на специальных станках или на станках для внешнего зацепления, используя специальные приспособления.

Режимы шевингования зависят от обрабатываемого материала заготовки, его твердости, требуемых параметров шероховатости поверхности и размеров зубьев. Наибольшую стойкость шеверов из быстрорежущей стали достигают при скорости резания, равной 120 м/мин. Продольная подача составляет 0,05...0,5 мм/об. Число ходов стола зависит от требуемого качества обработки, его определяют как частное от деления припуска на радиальную подачу. Дополнительно осуществляют два — четыре калибрующих хода без радиальной подачи. Практически суммарное число ходов стола — шесть — десять. Радиальная подача составляет 0,02...0,06 мм/ход. Обычно время обработки одного зуба занимает 1,5...2,5 с.

Нарезание конических зубьев выполняют различными методами: зубостроганием, зубофрезерованием и зубопротягиванием — для прямых и нарезанием резцовыми головками — для круговых. Наиболее распространен для изготовления прямых конических зубьев метод зубострогания благодаря универсальности и простоте конструкции режущего инструмента. Его применяют в условиях единичного и серийного производства. Обработку зубьев производят на зубострогальных станках. Общий вид зубострогального станка приведен на рис. 3.18, *a*. Обрабатывающие резцы устанавливают в каретки 4, совершающие попеременное возвратно-поступательное перемещение. Каретки расположены в направляющих планшайбы 3, которая поворачивается, обеспечивая движение обката инструмента относительно заготовки, установленной в шпинделе 5 бабки 7. Бабка размещена на столе 6, который может поворачиваться по круговым направляющим стола 8 на требуемый угол. Стол 8 может перемещаться по направляющим станины 1. На станине смонтированы все узлы станка. Внутри станины и шпиндельной бабки 2 расположены приводы и органы настройки формообразующих движений. Станок работает в полуавтоматическом режиме. Обработка каждого зуба производится поочередно. После полной обработки заготовки станок автоматически останавливается.

Обработку ведут методом обкатки с единичным делением (рис. 3.18, *b*). Зубострогальные резцы 1 и 2, установленные в резцедержате-

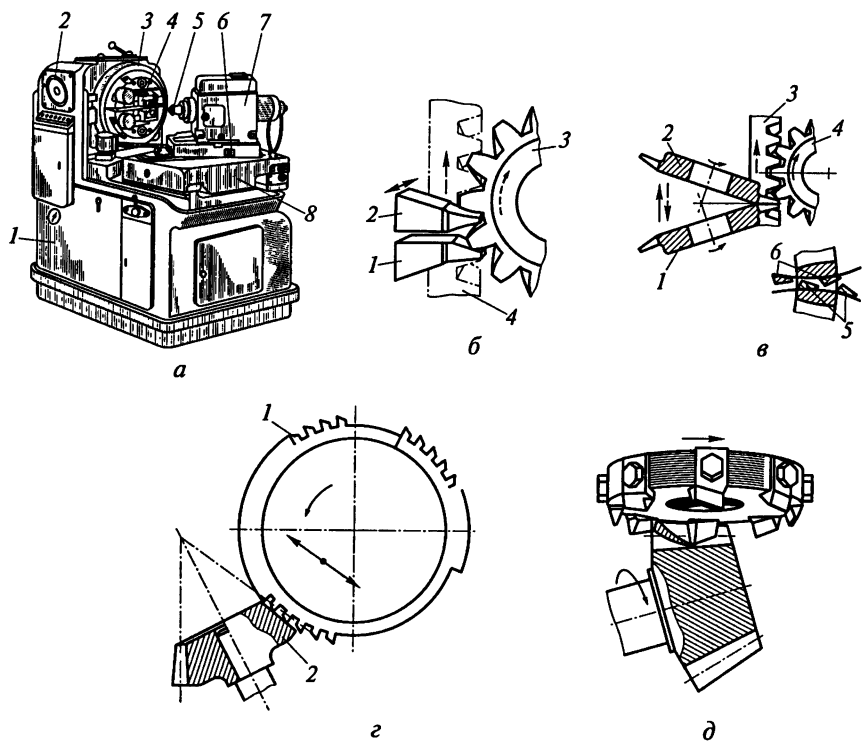


Рис. 3.18. Нарезание зубьев конических колес:

а — общий вид зубострогального станка: 1 — станина; 2 — шпиндельная бабка; 3 — планшайба; 4 — каретка; 5 — шпиндель; 6, 8 — столы; 7 — бабка; *б* — схема нарезания зубострогальными резцами: 1, 2 — резцы; 3 — заготовка (обрабатываемое колесо); 4 — производящая рейка; *в* — схема нарезания двумя дисковыми фрезами: 1, 2 — фрезы; 3 — производящая рейка; 4 — заготовка; 5, 6 — зубья фрез; *г* — схема нарезания круговой протяжкой: 1 — протяжка; 2 — заготовка; *д* — схема нарезания резцовой головкой (круговые зубья)

лях ползунов станка (как зубья производящей рейки 4), получают возвратно-поступательное движение, необходимое для резания. Совместно с обрабатываемым колесом 3 резцам сообщают также движение обкатки. Конические колеса с модулем до 4 мм нарезают за одну операцию, а при модуле свыше 4 мм — за две операции (черновую и чистовую). Черновое нарезание обычно выполняют методом врезания на 0,1...0,3 мм глубже теоретической высоты зуба, чтобы устранить касание чистовых резцов дна впадины зуба и тем самым улучшить условия резания. Припуск на сторону зуба при чистовом зубострогании зависит от величины модуля зубьев и равен, например, 0,25...0,6 мм при $m = 2...12$ мм. Для обработки заготовок из легированной стали скорость резания выбирают в интервале 14...20 м/мин, частоту движения 100...350 дв. ход/мин; вре-

мя обработки одного зуба 12...30 с при черновой обработке и 22...60 с при черновой и чистовой обработке. При чистовой обработке скорость резания увеличивают в 1,2—1,5 раза. Зубострогальные станки снабжают механизмом для автоматического выполнения двух операций — черновой и чистовой. На зубострогальных станках нормальной точности получают конические зубья 7—8-й степеней точности с шероховатостью поверхности зуба Ra до 3,2 мкм. На станках повышенной точности — до 6—7-й степеней точности с шероховатостью поверхности зуба Ra до 1,6 мкм. Зубофрезерование — более производительный метод, его применяют в основном в серийном производстве. Обработку осуществляют двумя дисковыми фрезами (рис. 3.18, в), расположенными так, что зубья 5 одной фрезы входят в промежутки между зубьями 6 другой фрезы. Во время обработки фрезам 1, 2 сообщают вращение и движение обкатки совместно с обрабатываемым колесом (заготовкой) 4. Прямозубые конические колеса с модулем $m < 5$ мм обрабатывают за одну операцию; при $m > 5$ мм выполняют две операции: черновую (методом врезания) и чистовую (методом обкатки). Диаметры дисковых фрез достаточно большие, что позволяет выполнять обработку зуба без продольного перемещения инструментов. Рекомендуемые скорости резания при черновом нарезании 25...40 м/мин, при чистовом — 35...55 м/мин. Время обработки одного зуба 10...30 с. Подача при врезании фрез из быстрорежущей стали (материал заготовок — легированная сталь) 0,125...0,05 мм/зуб при твердости материала зубьев 160...270 НВ. Конические колеса, обработанные зубофрезерованием, взаимозаменяемы с колесами, полученными зубостроганием.

Круговое протягивание конических зубьев широко применяют в массовом производстве (например, изготовление зубьев конических колес дифференциала легковых и грузовых автомобилей, тракторов и др.). Зубья, полученные протягиванием, не взаимозаменяемы с зубьями, полученными зубостроганием и зубофрезерованием. При круговом протягивании (рис. 3.18, г) заготовка неподвижна, режущий инструмент — протяжка — вращается с постоянной угловой скоростью и совершает возвратно-поступательное движение, параллельное образующей конуса впадины зуба. За один оборот протяжки полностью обрабатывается впадина зуба. Прямые конические зубья с внешним окружным модулем до 5 мм нарезают за одну операцию комбинированной головкой — протяжкой, при модуле свыше 5 мм — за две операции: черновую и чистовую с использованием соответственно черновой и чистовой протяжек. Скорость резания для зубьев с модулем 3 мм составляет 50 м/мин (время обработки одного зуба 2 с), для зубьев с модулем 8 мм — 16 м/мин (время обработки одного зуба 6,5 с). Круговое протягивание обеспечивает 8—9-ю степени точности с шероховатостью поверхности Ra до 6,3 мкм.

Нарезание конических зубчатых колес с круговыми зубьями проводят на зуборезных станках резцовыми головками (рис. 3.18, *д*). Нарезание зубьев осуществляют методами обкатки, врезания и комбинированным, включающим в себя врезание и копирование. Под чистовое нарезание обычно оставляют припуск до 0,15 мм на обе стороны зуба. Обработку выполняют односторонними (для нарезания зубьев шестерни) и двусторонними (для нарезания зубьев колеса) резцовыми головками. В зависимости от способа нарезания, конструкции резцовых головок и режимов резания на зуборезных станках можно обеспечить точность зубьев 6—9-й степеней. При обработке заготовок из легированной стали с твердостью 160...200 НВ скорость резания равна 38...43 м/мин, с твердостью 207...270 НВ — 29...35 м/мин. Время обработки одного зуба при модуле $m = 3...10$ мм составляет для первых 8...17 с (метод врезания) и 17...64 с (метод обкатки), для вторых (при большей твердости материала) время необходимо увеличить в 1,25 раза.

При обработке зубчатых поверхностей к конструкции детали предъявляют определенные требования:

- желательно, чтобы конструкция зубчатых колес позволяла нарезать зубья пакетом — торцы зубчатых венцов должны прилегать друг к другу (см. рис. 3.16, *а*); это существенно уменьшит время на подвод и отвод червячной фрезы (холостой ход инструмента);

- у блочных колес расстояние h между венцами зубьев должно обеспечивать свободный выход инструмента при нарезании зубьев (см. рис. 3.16, *б*).

Нарезание шлицов (прямобочных и эвольвентных) на валах ведут различными методами: фрезерованием, строганием, протягиванием и накатыванием. Наиболее распространенным методом является фрезерование. Фрезерование шлицов можно осуществлять двумя методами: копированием (делением) дисковой профилированной фрезой (аналогично зубофрезерованию, см. рис. 3.16, *г*) и методом обкатки червячной фрезой. При обработке методом копирования вал устанавливают в центрах на столе горизонтально-фрезерного станка, поворот вала на угол, равный $360^\circ/z$, где z — число шлицов, после фрезерования одного паза за ход стола выполняют делительной головкой. Метод целесообразен в единичном и мелкосерийном производстве. Режимы обработки следующие: скорость резания 25...35 м/мин, подача 100...130 мм/мин. Более производительна одновременная обработка двух впадин между шлицом (рис. 3.19, *а*).

При обработке шлицевых поверхностей с центрированием по внутреннему диаметру (поверхности впадин) требуется обработка канавок для выхода шлифовального круга при дальнейшей обработке. Канавки фрезеруют двумя дисковыми прорезными фрезами на горизонтально-фрезерном станке.

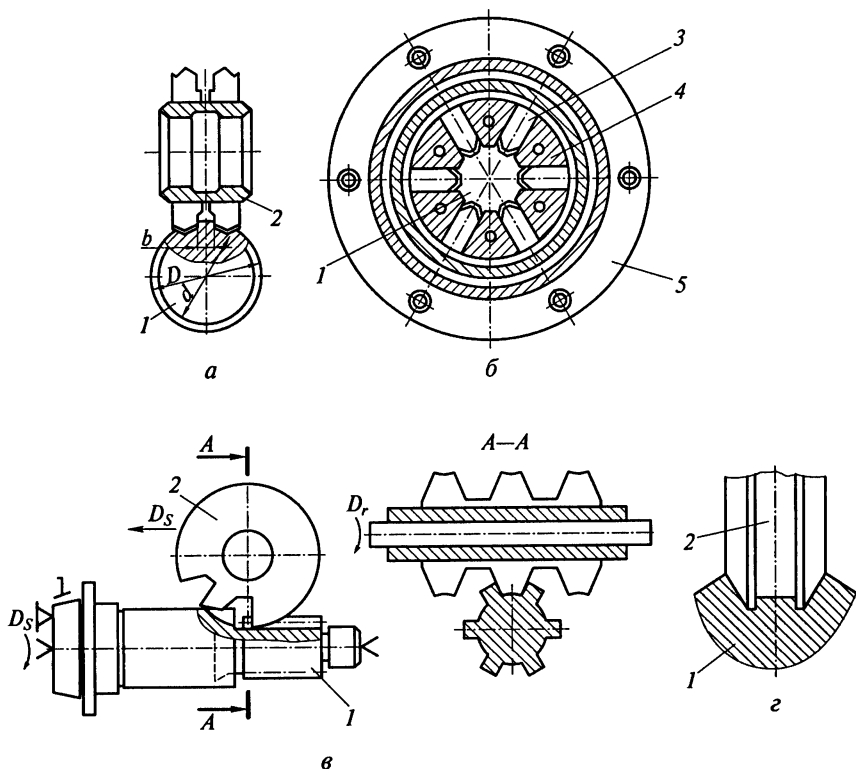


Рис. 3.19. Схемы нарезания шлицов:

a — фасонными резцами; *б* — резовкой головкой шлицестрогального станка; *в* — червячной фрезой; *г* — обработкой впадин шлица фрезой с усиками; *д* — заготовка; *2* — фреза; *3* — резец; *4* — направляющая; *5* — корпус головки; *б* — ширина шлица; *d*, *D* — соответственно внутренний и наружный диаметр шлица; *D_r* — главное движение; *D_s* — движение подачи

Методом обкатки шлицы получают на шлицефрезерных или зубофрезерных станках червячной фрезой (рис. 3.19, *в*). На шлицефрезерных станках вал устанавливают в центрах горизонтально, на зубофрезерных — вертикально. При наружном диаметре шейки вала менее 60 мм нарезание шлицов производят за один проход, при диаметре свыше 60 мм — за два прохода: черновой и чистовой. Данный метод обеспечивает точность обработки шлицов по 8-му (по внутреннему диаметру) и 9-му квалитетам (по толщине шлицов) с шероховатостью поверхности боковых сторон и впадин $Ra\ 3,2 \dots 6,3$ мкм. Режимы обработки следующие: скорость фрезерования 25...40 м/мин, продольная подача 1...3 мм/об. Червячные фрезы изготавливают без усиков и с усиками. Фрезы без усиков используют при нарезании шлицевых поверхностей, центрируемых по наружному диаметру. Фрезами с усиками обрабаты-

вают шлицевые поверхности, центрируемые по внутреннему диаметру. Усиками обрабатывают канавки (рис. 3.19, *з*) для выхода шлифовального круга.

Если конструкция детали не обеспечивает свободного выхода червячной фрезы (недостаточна длина канавки между ступенями валов), то обрабатываемая поверхность должна заканчиваться так, как показано на рис. 3.19, *в*. Более производительные методы обработки шлицов — строгание, протягивание (аналогичное протягиванию прямых зубьев колес) и накатывание (эвольвентных шлицов) — выполняют в условиях массового производства.

3.8. ШЛИФОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ, ПЛОСКИХ, ЗУБЧАТЫХ И ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Шлифование — это метод обработки поверхностей абразивным инструментом. Шлифованием обрабатывают поверхности заготовок из стали и чугуна как в незакаленном состоянии (твердость до 270...280 НВ), так и после термической обработки (твердость 60 HRC и более).

Шлифование наружных поверхностей тел вращения выполняют на круглошлифовальных станках различных модификаций: универсальные и с ЧПУ (мелкосерийное и серийное производство), полуавтоматы (крупносерийное, массовое производство) и на бесцентрово-шлифовальных станках. Общий вид круглошлифовального станка приведен на рис. 3.20, *а*. Обрабатываемые заготовки устанавливают в центрах передней 3 и задней 5 бабок или закрепляют в патроне, установленном на передней бабке 3. Заднюю бабку 5 перемещают относительно передней по направляющим рабочего стола 2 в зависимости от изменения длины обрабатываемых заготовок. Шлифовальная бабка 4 размещена на поперечных направляющих. Шлифовальный круг имеет индивидуальный привод. Вращение заготовок осуществляется приводом, расположенным в передней бабке. Рабочий стол 2, на котором установлены передняя 3 и задняя 5 бабки, осуществляет возвратно-поступательное движение (продольную подачу), а перемещение шлифовальной бабки 4 по поперечным направляющим обеспечивает поперечную подачу. При обработке конических поверхностей рабочий стол 2 поворачивают вокруг вертикальной оси на угол, соответствующий конусности детали (обычно до 10°). На станке можно выполнять как врезное, так и продольное шлифование в полуавтоматическом режиме до жесткого упора или с применением прибора активного контроля размера, который позволяет в процессе обработки непрерывно измерять обрабатываемую деталь. Круглошлифовальные станки выпускают с ручным и числовым программным управлением. Станки с ЧПУ эффективны при обработке мно-

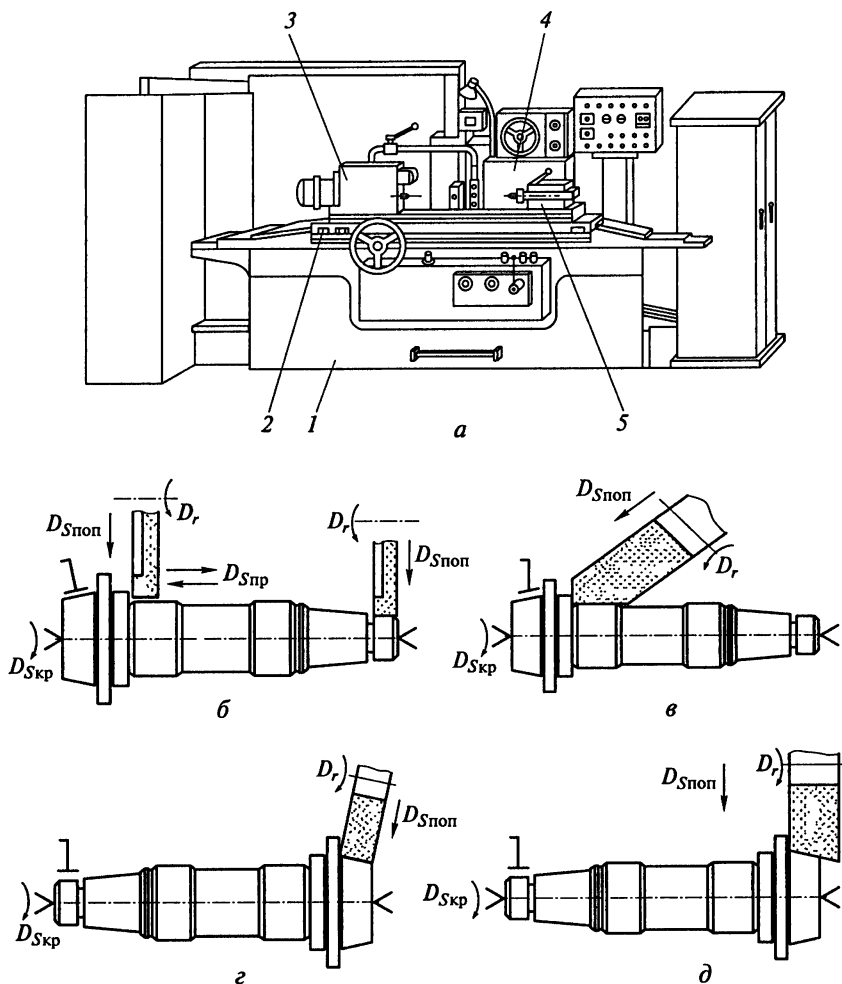


Рис. 3.20. Круглое наружное шлифование:

a — общий вид круглошлифовального станка: 1 — станина; 2 — рабочий стол; 3 — передняя бабка; 4 — шлифовальная бабка; 5 — задняя бабка; *б* — поверхностей вращения напроход (слева) и врезное (справа); *в* — торцециркушлифование; *з* — врезное конической поверхности с поворотом заготовки; *д* — врезное конической поверхности коническим кругом; D_r , $D_{Скр}$, $D_{Сноп}$, $D_{Спр}$ — главное движение, движение круговой, поперечной и продольной подачи соответственно

гоступенчатых деталей в условиях мелкосерийного и серийного производства.

При обработке наружных поверхностей вращения применяют предварительное (черновое), чистовое и тонкое шлифование. Предварительное шлифование обеспечивает 8 — 10-й качества точно-

сти диаметральных размеров и шероховатость поверхности Ra 1,6...6,3 мкм, чистовое — 7-й квалитет точности и шероховатость Ra 0,8...1,6 мкм, тонкое — 5—6-й квалитеты точности и шероховатость Ra 0,1...1,8 мкм. Тонкое шлифование выполняют на круглошлифовальных станках особо высокой точности. Глубина резания, как правило, не превышает 0,01 мм. Однократное шлифование применяют для заготовок, не подвергающихся после точения термической обработке, для достижения точности диаметральных размеров 8—9-го квалитетов с шероховатостью поверхности Ra 1,6...3,2 мкм. При обработке наружных поверхностей вращения применяют как продольное, так и врезное шлифование (рис. 3.20, б). Врезное шлифование применяют при обработке относительно коротких поверхностей (до 50...80 мм). Его выполняют с одной поперечной подачей шлифовального круга. Основное достоинство врезного шлифования — высокая производительность процесса, превышающая производительность лезвийной обработки. Недостатком врезного шлифования является необходимость частой и точной правки шлифовального круга для обеспечения высокой точности обрабатываемой поверхности в ее продольном сечении. Продольное шлифование — более универсальный метод обработки, оно выполняется с двумя подачами: продольной и поперечной, при этом длина обрабатываемой поверхности ограничивается только величиной продольного перемещения стола круглошлифовального станка. При продольном шлифовании требования к точности профиля шлифовального круга ниже.

При продольном и врезном шлифовании цилиндрических поверхностей применяют круги прямого профиля. При одновременной подшлифовке прилегающего торца используют круги с цилиндрической или конической выточкой. Цилиндрическую поверхность при этом обрабатывают с продольной или поперечной подачей, а торец — поперечной подачей (см. рис. 3.20, б). В крупносерийном и массовом производстве короткие цилиндрические поверхности обрабатывают на торцециркулошлифовальных станках кругами двустороннего конического профиля (рис. 3.20, в). Короткие конические поверхности обрабатывают методом врезного шлифования кругами прямого профиля с поворотом стола или шлифовальной бабки (рис. 3.20, з) или специально профилированными коническими кругами (рис. 3.20, д) без поворота стола или бабки.

В массовом и крупносерийном производстве для повышения производительности применяют многокаменные шлифовальные станки с автоматическими системами контроля размеров обработки, правки и подналадки круга. Заготовки устанавливают по центровым отверстиям в центрах, крутящий момент передается от поводковой планшайбы станка через хомутик (см. рис. 3.20, б).

Шлифование выполняют абразивными кругами на керамической связке. В качестве абразивного материала используют электрокорунд нормальный для предварительного шлифования и электрокорунд белый для окончательного (чистового) шлифования. Зернистость абразива 40—16, причем для более высокого качества поверхности выбирают абразив меньшей зернистости. Для тонкого шлифования применяют алмазные круги, состоящие из корпуса и алмазонасного кольца. Алмазонасный слой содержит алмаз и связку (металлическую или органическую). Круги на металлических связках также рекомендуют для предварительного шлифования заготовок из твердых сплавов, стекла и керамики.

Шлифование ведут с непрерывной подачей охлаждающей жидкости в количестве 1...2 л/мин.

Обработку на круглошлифовальных станках выполняют со следующими режимами: скорость резания 30...50 м/с (окружная скорость шлифовального круга), круговая подача заготовки 20...30 м/мин, продольная подача заготовки (0,25...0,4)*B*, мм/об, где *B* — ширина шлифовального круга. Величину поперечной подачи назначают в зависимости от требуемой точности обработки и качества поверхности: 0,003...0,1 мм/об при врезном шлифовании; 0,003...0,1 мм/дв. ход (мм/ход) при продольном шлифовании. Меньшие значения принимают при отделочном шлифовании.

Бесцентровое шлифование применяют, как правило, при обработке гладких и ступенчатых валов, не имеющих центровых отверстий.

Общий вид бесцентрового шлифовального станка представлен на рис. 3.21, а. На станине 1 расположены две бабки: неподвижная 2 с шлифовальным кругом 11 и подвижная 6 с ведущим кругом 10. Между шлифовальным и ведущим кругами размещена опора (нож) 4 для обрабатываемой заготовки. Подвижная бабка 6 перемещается по направляющим плиты 8 вращением маховика 7. Оба круга — шлифовальный и ведущий — снабжены устройствами 3 и 5 для правки кругов. На этих станках обрабатываемую заготовку устанавливают на опору 4 (нож) между шлифовальным и ведущим кругами. Шлифовальный круг вращается с гораздо большей скоростью, чем ведущий. Так как коэффициент трения между ведущим кругом и заготовкой больше, чем между заготовкой и шлифовальным кругом, ведущий круг вращает заготовку со скоростью круговой подачи, а шлифовальный снимает припуск. Движение продольной подачи достигается за счет поворота оси ведущего круга. Правка кругов производится периодически. Бесцентрово-шлифовальные станки применяют в крупносерийном и массовом производстве.

Схема бесцентрового шлифования показана на рис. 3.21, б. Заготовку 2 обрабатывают в незакрепленном состоянии. Ее располагают между рабочим 1 и ведущим 3 кругами, а снизу она поддерживает

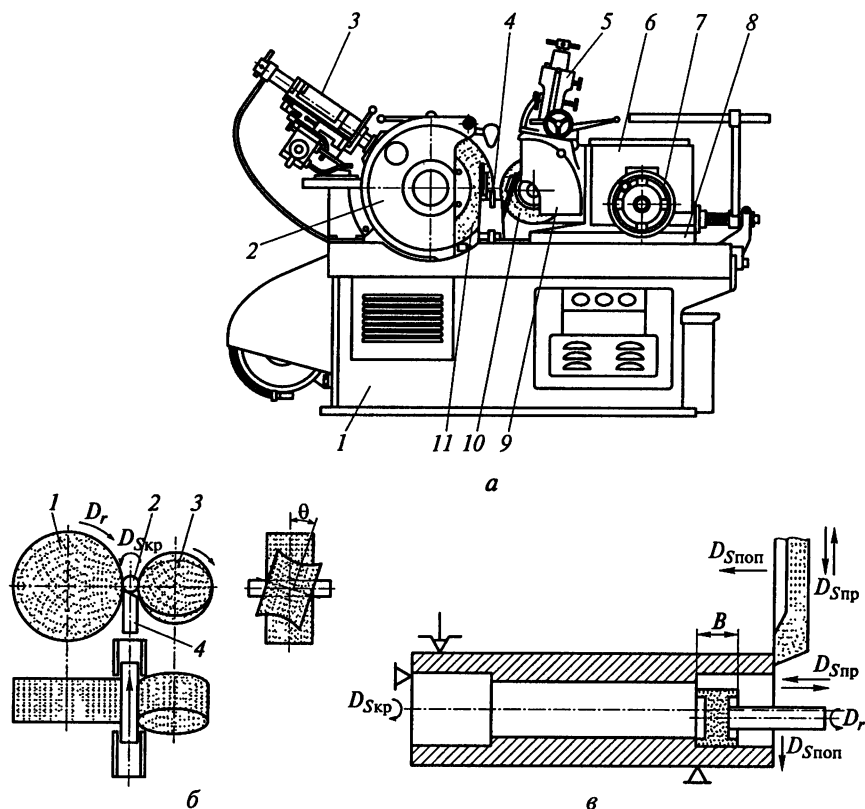


Рис. 3.21. Бесцентровое и внутреннее шлифование:

a — общий вид бесцентрового шлифовального станка: 1 — станина; 2 — неподвижная бабка; 3, 5 — устройства для правки кругов; 4 — опора (нож) для заготовки; 6 — подвижная бабка; 7 — маховик передвижения подвижной бабки; 8 — плита с направляющими; 9 — кожух; 10 — ведущий круг; 11 — шлифовальный круг; *b* — схема бесцентрового шлифования: 1 — шлифовальный круг; 2 — заготовка; 3 — ведущий круг; 4 — нож; θ — угол наклона кругов; *c* — схема внутреннего шлифования: *B* — ширина круга; D_r — главное движение; D_{Skp} , $D_{Sп}$, $D_{Sпoп}$ — движение круговой, поперечной и продольной подачи соответственно

ся ножом 4. Ось заготовки должна быть несколько выше линии центров (линии, соединяющей центры обоих кругов) на 10...15 мм во избежание огранки обрабатываемой поверхности. Для обеспечения продольного перемещения заготовки ось ведущего круга устанавливают под углом 1...7° к оси рабочего круга. Шлифовальный круг имеет окружную скорость 30...50 м/с, ведущий — 10...40 м/мин.

При продольном бесцентровом шлифовании за несколько рабочих ходов можно обеспечить точность диаметрального размера по 6-му качеству с шероховатостью до Ra 0,4 мкм. Шейки ступенча-

тых деталей, а также конусы шлифуют методом врезного шлифования, при этом оси кругов параллельны или ведущий круг устанавливают под малым углом ($0,2 \dots 0,5^\circ$). Шлифовальный круг заправляют в соответствии с профилем детали. С поперечной подачей шлифование ведется до тех пор, пока не будет получен необходимый размер, при этом обеспечивают точность диаметрального размера по 6—8-му квалитетам с шероховатостью поверхности $Ra\ 0,4 \dots 2$ мкм. Однако при шлифовании шеек ступенчатых валов на бесцентрово-шлифовальных станках не удается обеспечить требуемую соосность ступеней валов, так как заготовка базируется по обрабатываемой поверхности.

Шлифование внутренних поверхностей тел вращения выполняют на внутришлифовальных станках, выпускаемых по виду круговой подачи обычными и планетарными. Для обработки отверстий в заготовках наибольшее распространение получили станки, на которых заготовку закрепляют в патроне и сообщают ей вращательное движение (круговую подачу). Планетарные станки применяют в основном в инструментальных производствах. На станине внутришлифовального станка монтируют стол со шлифовальной бабкой и шпиндельную бабку изделия, перемещающуюся по поперечным направляющим скользящая станины. Стол со шлифовальной бабкой перемещается по продольным направляющим качения станины. В шлифовальной бабке изделия расположены шпиндель с шлифовальным кругом и привод с высокооборотным электродвигателем. Для шлифования торцевых поверхностей на внутришлифовальном станке имеется дополнительный шлифовальный круг, расположенный на шпинделе в торцешлифовальном приспособлении, которое имеет индивидуальный привод шпинделя и может поворачиваться в шариковых втулках с помощью гидроцилиндра. В станке предусмотрены правка шлифовальных кругов и компенсация износа основного шлифовального круга.

Внутреннее шлифование имеет технологические особенности. Диаметр шлифовального круга должен быть равен $(0,8 \dots 0,9)d$, где d — диаметр шлифуемого отверстия.

Ширину круга B выбирают в зависимости от длины обрабатываемой поверхности. Припуски на шлифование зависят от диаметра отверстия; рекомендуемые значения: $0,07 \dots 0,25$ мм при диаметре отверстия до 30 мм и $0,18 \dots 0,75$ мм при диаметре отверстия 30...250 мм. При обработке отверстий применяют предварительное и чистовое или однократное шлифование. Предварительное шлифование обеспечивает точность диаметральных размеров 8—9-го квалитетов с шероховатостью $Ra\ 1,6 \dots 6,3$ мкм, чистовое — 6—7-го квалитетов с шероховатостью $Ra\ 0,4 \dots 1,6$ мкм. Тонкое шлифование при обработке отверстий не применяют. Если требуется более высокая точность и малая шероховатость, используют тонкое (алмазное) растачивание, хонингование, притирку. Внут-

реннее шлифование (рис. 3.21, в) ведут, как правило, напроход, хотя можно использовать для шлифования коротких отверстий метод врезания, при этом обеспечивается точность диаметра 7-го квалитета и шероховатость Ra 0,8... 1,6 мкм.

Режимы при внутреннем шлифовании выбирают следующие: скорость круга 12... 25 м/с (в зависимости от диаметра отверстия), круговая подача заготовки 15... 25 м/мин, продольная подача (0,1... 0,25) B , мм/об, где B — ширина круга. Поперечную подачу принимают равной 0,05... 0,075 мм/дв. ход для чернового шлифования и 0,003... 0,015 мм/дв. ход — для чистового. Для подшлифовки внутренних торцов ступенчатого отверстия с поперечной подачей (см. рис. 3.21, в) шлифовальные круги делают с цилиндрической (форма ПВ), конической (форма ПВК) или двусторонней выточками (форма ПВД). Поскольку внутришлифовальный станок оснащен дополнительным шлифовальным кругом на качающемся кронштейне, подшлифовку наружных торцов можно производить этим кругом с поперечной подачей.

Обработка внутренних поверхностей и их торцов за один установ обеспечивает точность их взаимного положения (перпендикулярность) в пределах 0,01... 0,03 мкм. Для удобства обработки — свободного выхода шлифовального круга — шлифуемые поверхности разделяются канавками. Если разделяющие канавки отсутствуют, угол шлифовального круга должен быть заправлен под радиус галтели или иметь фаску, катет которой больше дуги галтели; это создает сложности при правке кругов в процессе обработки. При обработке отверстий заготовку устанавливают на станке в трех- или четырехкулачковом патроне (в последнем случае с выверкой); если заготовка нежесткая (гильза, полый вал), используют дополнительную опору — люнет.

В качестве СОЖ применяют водные растворы эмульсола, аквола, сульфозфрезолола (для труднообрабатываемых сталей) и другие составы.

При продольном и врезном шлифовании из-за интенсивного и неравномерного износа шлифовальных кругов возникают погрешности формы обрабатываемой поверхности как в поперечном, так и в продольном направлении. Для их уменьшения в конце обработки выполняют несколько переходов без поперечной подачи круга (выхаживание).

Шлифование плоскостей выполняют на плоскошлифовальных станках различных конструкций, в том числе с ЧПУ, продольношлифовальных станках, имеющих несколько шлифовальных кругов, одновременно участвующих в работе. В крупносерийном производстве используют специальные многокаменные продольношлифовальные станки.

Плоскошлифовальные станки в зависимости от конструкции можно разделить на несколько основных групп:

- с горизонтальным шпинделем и прямоугольным столом (рис. 3.22, а). Такие станки предназначены для шлифования периферией круга горизонтальных и торцевых поверхностей заготовок в мелкосерийном и серийном производстве;

- горизонтальным шпинделем и круглым столом (рис. 3.22, б). Станки выпускают с ручным управлением и автоматизированные. Отличительной особенностью станков является наклонный стол, что позволяет шлифовать плоские, выпуклые, вогнутые и конусные поверхности;

- вертикальным шпинделем и прямоугольным столом (рис. 3.22, в). Станки имеют повышенную жесткость, оснащены шлифовальными кругами больших размеров и двигателями большей мощности, обеспечивают большую производительность и достаточно высокую точность обработки, применяются в серийном и крупносерийном производстве;

- вертикальным шпинделем и круглым столом непрерывного действия (рис. 3.22, г). На таких станках обработка производится торцом круга и может быть организована в непрерывном автоматическом режиме. Станки применяют в крупносерийном и массовом производстве.

В плоскошлифовальных станках с прямоугольным столом имеются три относительных движения стола с заготовкой и шлифовальной бабки с кругом: горизонтальное возвратно-поступательное движение стола (продольная подача), вертикальное по направляющим стойки (подача врезания) и поперечное перемещение по направляющим стойки (поперечная подача). Возвратно-поступательное перемещение стола осуществляется от двух гидродоходов. Поперечная и вертикальная подачи могут быть ручными и автоматическими.

Шлифование применяют как метод предварительной и окончательной обработки. Обдирочное шлифование часто используют для получения базовых поверхностей у средних и мелких отливок. При обдирочном шлифовании применяют сборные сегментные круги зернистостью 80—125, при обработке получают отклонение от плоскостности 0,1...0,16 мм на 1 м длины, шероховатость поверхности Ra 3,2...6,3 мкм при глубине снимаемого слоя 4...5 мм. Предварительное шлифование плоских поверхностей после их обработки лезвийным инструментом производят кругами зернистостью 40—80, достигая шероховатости поверхности 1,6...3,2 мкм. Для чистового шлифования используют круги зернистостью 12—40, обеспечивая отклонение от плоскостности 0,04...0,06 мм на 1 м длины и шероховатость поверхности Ra 0,4...1,6 мкм. Тонкое шлифование выполняют кругами зернистостью 6—10, обеспечивая отклонение от плоскостности 0,016...0,025 мм на 1 м длины и шероховатость поверхности Ra 0,2...0,8 мкм на станках повышенной точности.

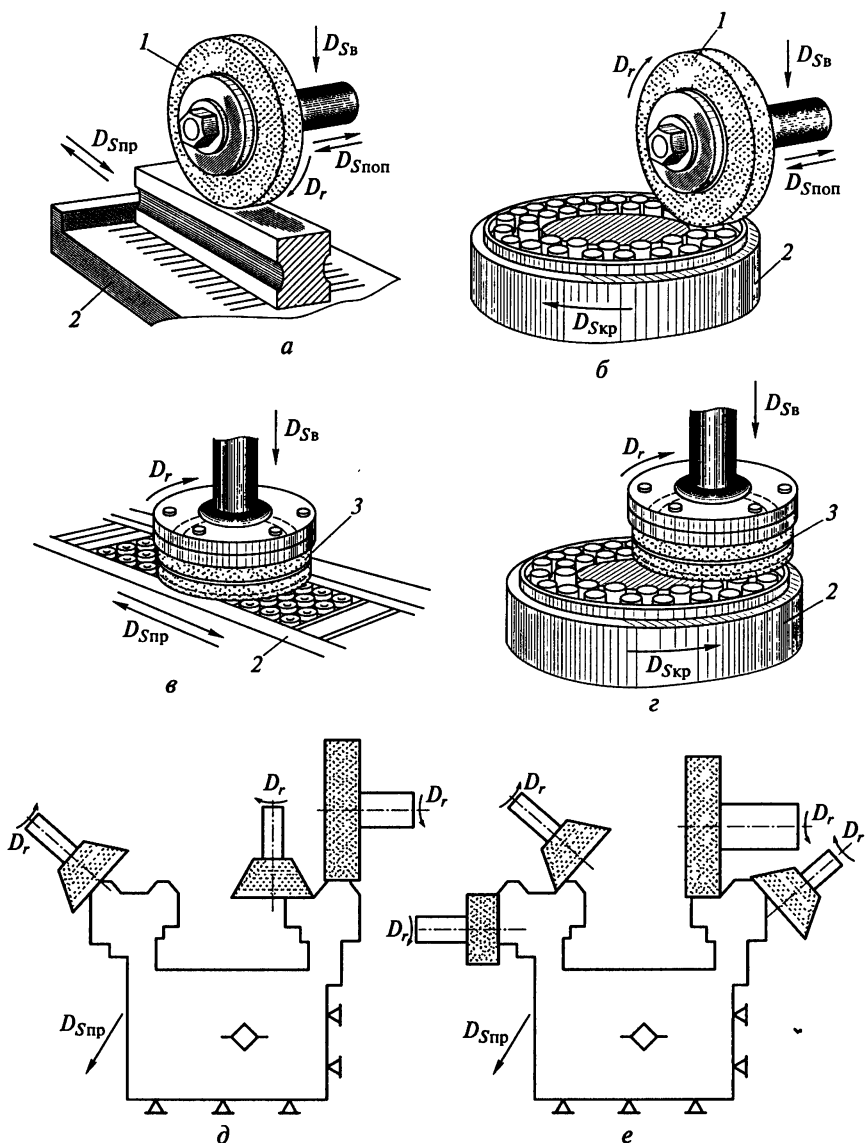


Рис. 3.22. Схемы плоского шлифования:

a, б — периферией круга на плоском и вращающемся столе соответственно; *в, г* — торцом круга на плоском и вращающемся столе соответственно; *д, е* — шлифование направляющих станины на продольно-шлифовальном станке цилиндрическими и коническими кругами; *1* — шлифовальный круг, обрабатывающий периферию; *2* — стол; *3* — шлифовальный круг, обрабатывающий торцом; D_r — главное движение; $D_{Спр}$, $D_{СВ}$, $D_{Скр}$, $D_{Сноп}$ — движение продольной, вертикальной, круговой и поперечной подачи соответственно

Шлифование плоскостей может быть осуществлено двумя способами: периферией круга (см. рис. 3.22, а, б) и торцем круга (см. рис. 3.22, в, г). Шлифование периферией круга — более универсальный вид обработки, обеспечивает высокие требования по плоскостности, так как из-за ограниченной площади контакта заготовки с шлифовальным кругом выделяется меньшее количество теплоты и возникают меньшие силы резания, чем при торцевом шлифовании. Шлифование торцем круга — высокопроизводительный процесс, позволяющий при черновой обработке снимать слой металла большой глубины. Для уменьшения износа шлифовального круга при торцевом шлифовании шлифовальную головку наклоняют на угол $3 \dots 5^\circ$, чтобы круг соприкасался с обрабатываемой поверхностью не всей торцевой поверхностью.

Шлифование ведут с вращением шлифовального круга, с продольной (возвратно-поступательное движение) или круговой подачей стола и вертикальной подачей на двойной ход (или оборот) стола. Режимы резания выбирают в зависимости от вида обработки: при предварительном шлифовании скорость резания $40 \dots 60$ м/с, продольная подача $10 \dots 12$ м/мин, вертикальная подача $0,05 \dots 0,1$ мм/дв. ход; при чистовом шлифовании скорость резания $30 \dots 40$ м/с, продольная подача 6 м/мин, вертикальная подача до $0,02$ мм/дв. ход. На последних рабочих ходах величину продольной подачи снижают до 2 мм/мин. Шлифование без вертикальной подачи (выхаживание) продолжают до прекращения искры, повышая этим точность формы обрабатываемой поверхности. При тонком (отделочном) шлифовании скорость резания $20 \dots 35$ м/с (для кругов из эльбора скорость повышают до $30 \dots 40$ м/с), продольная подача $3 \dots 6$ м/мин (для кругов из эльбора $8 \dots 10$ м/мин), вертикальная подача $0,002 \dots 0,006$ мм/дв. ход (для кругов из эльбора на керамической связке $0,04 \dots 0,1$ мм/дв. ход). Конструкция детали должна обеспечить шлифование периферией круга напроход.

Заготовки устанавливают на плоскошлифовальный станок на магнитный стол (в случае, если шлифуют одну поверхность) или в приспособление, при этом устанавливают сразу несколько заготовок (планок, пластин и т.д.). Если шлифуют сразу несколько поверхностей (см. рис. 3.22, д, е), заготовка на столе продольно-шлифовального станка должна быть лишена шести степеней свободы. В мелкосерийном и единичном производстве положение заготовки на столе станка определяют выверкой, в крупносерийном и массовом заготовку устанавливают в приспособление, однако из-за интенсивного износа шлифовальных кругов их настройку на заданный размер ведут индивидуально для каждой поверхности заготовки.

Шлифование шлицевых поверхностей является разновидностью плоского шлифования на станках с прямоугольным столом. Заготовку устанавливают в центрах на столе станка. Поворот заготовки на заданный угол в процессе обработки обеспечивают делитель-

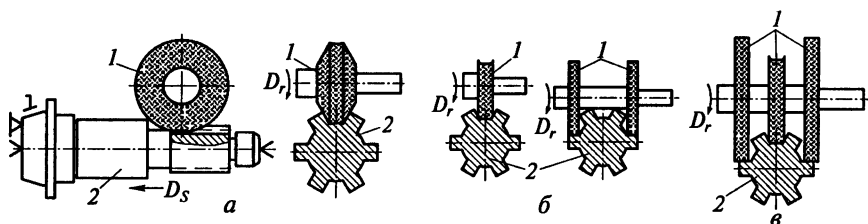


Рис. 3.23. Схемы шлифования шлицов:

a — одним фасонным кругом; *б* — тремя плоскими кругами за одну операцию; *в* — тремя плоскими кругами за две операции; 1 — шлифовальный круг; 2 — заготовка; D_r — главное движение; D_s — движение подачи

ной головкой. Наиболее производителен способ шлифования фасонным кругом (рис. 3.23, *a*), при этом внутреннюю и боковые поверхности шлицов обрабатывают одновременно. Основным недостатком данного способа — неравномерный износ круга из-за неодинаковой толщины снимаемого слоя у боковых сторон и впадин, в связи с чем требуется частая правка круга.

Такого недостатка лишено раздельное шлифование, которое выполняют на одном станке тремя кругами с разными характеристиками (рис. 3.23, *б*). Недостаток раздельного шлифования — усложнение наладки станка, удлинение шпинделя с кругами, увеличение отжата инструмента и вибраций. Шлифование впадин и боковых поверхностей может выполняться последовательно: одним кругом — дно впадины и двумя кругами — боковые стороны шлицов (рис. 3.23, *в*). Для этого необходимо производить переналадку станка или выполнять обработку в две операции на разных станках. Несмотря на улучшение условий шлифования и упрощение правки круга, этот способ менее производителен по сравнению с первым, и точность взаимного расположения шлицов снижается на 30...40%. Режимы обработки следующие: глубина

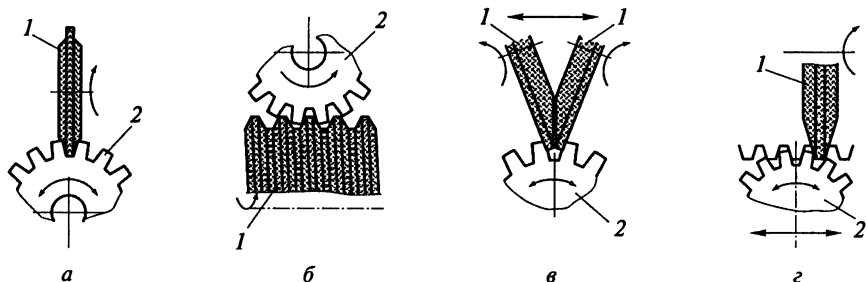


Рис. 3.24. Схемы шлифования зубьев:

a — методом копирования; *б* — методом обкатки; *в, г* — методом обкатки с периодическим делением двумя и одним кругом соответственно; 1 — шлифовальные круги; 2 — заготовка

резания 0,1...0,2 мм, скорость резания 30...35 м/с, продольная подача 8...12 м/мин, вертикальная подача 0,015...0,025 мм/дв. ход, достижимая точность размеров 6-го квалитета, шероховатость Ra 0,4...0,8 мкм.

Шлифование зубьев обеспечивает высокую точность зубчатых колес. По сравнению с другими отделочными методами шлифование позволяет устранить не только погрешности предварительной обработки, но и неизбежные деформации при закалке зубьев. Шлифованием обеспечивают 3—6-ю степени точности зубьев с шероховатостью поверхности Ra 0,1...0,8 мкм.

Шлифование зубьев можно выполнять методом копирования (рис. 3.24, *а*) фасонным шлифовальным кругом на плоскошлифовальных станках, методом обкатки (рис. 3.24, *б*) абразивным червяком на зубошлифовальных станках, методом обкатки двумя или одним кругом (как зубьями производящей рейки) (рис. 3.24, *в*, *г*) с периодическим делением. Два круга (см. рис. 3.24, *в*) можно применять для шлифования зубьев больших размеров (при модуле $m > 5$ мм).

3.9. МЕТОДЫ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ: ХОНИНГОВАНИЕ, СУПЕРФИНИШИРОВАНИЕ, ДОВОДКА (ПРИТИРКА), ПОЛИРОВАНИЕ

Для поверхностей вращения заготовок помимо тонкого (алмазного) точения, растачивания (см. подразд. 3.3), тонкого шлифования (см. подразд. 3.7) применяют хонингование, суперфиниширование, доводку (притирку), полирование.

Хонингование снижает отклонения формы и повышает точность размера, уменьшает параметр шероховатости поверхности, сохраняет микротвердость и структуру поверхностного слоя, увеличивает несущую поверхность и остаточные сжимающие напряжения.

Хонингование выполняют на специальных вертикальных и горизонтальных хонинговальных станках.

Хонингование отверстий диаметром 6...1500 мм с длиной более одного диаметра осуществляют специальной головкой с равномерно раздвигающимися в радиальном направлении абразивными брусками. Головка одновременно совершает вращательное и возвратно-поступательное движения. В результате на обрабатываемой поверхности создается мелкая сетка пересекающихся рисок от абразивных зерен, хорошо удерживающая смазочный материал в трущихся парах. В зависимости от длины хода хона скорость возвратно-поступательного движения 5...8 м/мин при длине хода менее 50 мм, 18...20 м/мин при длине хода более 150 мм. Скорость вращательного движения головки равна 30...60 м/мин. На производительность хонингования и параметр шероховатости обрабатываемой поверхности влияет отношение

$$K = v_{вр}/v_{п},$$

где $v_{вр}$ и $v_{п}$ — соответственно скорость вращательного и поступательного движения.

Для предварительного хонингования заготовок из чугуна и закаленной стали $K = 3 \dots 5$, для окончательного хонингования заготовок из чугуна $K = 4 \dots 10$, для заготовок из закаленной стали $K = 5 \dots 7$. Для незакаленной стали коэффициент K уменьшают примерно в 2 раза. Длину брусков l выбирают в зависимости от длины L обрабатываемого отверстия. Меньшие отклонения формы отверстия достигают при соотношении $l = (0,5 \dots 0,75)L$. Наиболее эффективно снижает отклонения формы головка с четным числом диаметрально расположенных брусков по окружности, поскольку бруски работают попарно и все радиальные силы, действующие на головку, уравновешены.

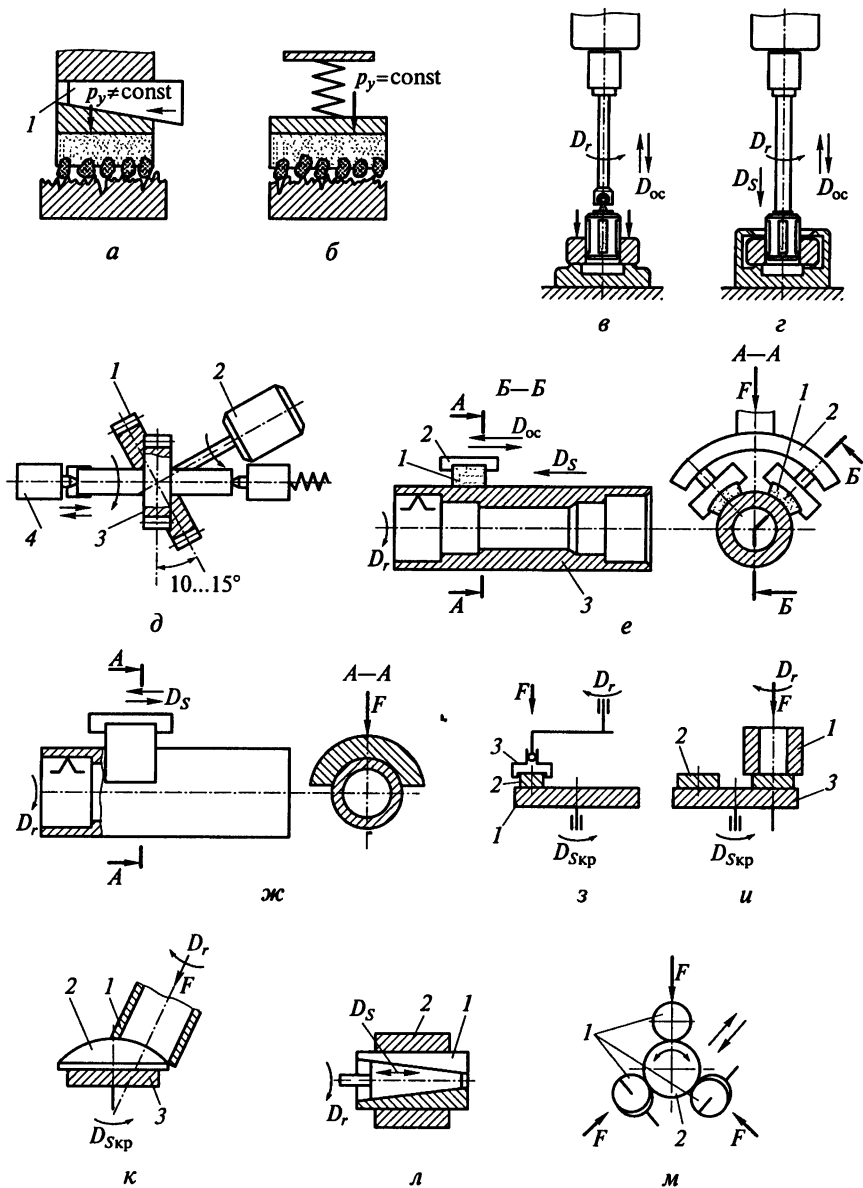
Хонингование обеспечивает 5—6-й квалитеты точности диаметральных размеров, шероховатость поверхности $Ra\ 0,02 \dots 0,8$ мкм. Хонингование уменьшает исходную шероховатость обрабатываемой поверхности в 2—4 раза: перед хонингованием отверстие должно иметь точность не ниже 7—8-го квалитетов и шероховатость $Ra\ 3,2 \dots 6,3$ мкм, при этом рекомендуемый припуск на обработку составляет от 5...10 мкм до 0,2 мм в зависимости от требуемой шероховатости и диаметра отверстия.

Третьим рабочим движением хонингования является радиальный разжим брусков. Начальное и конечное давление брусков 0,2...0,4 МПа, основной съем припуска происходит при давлении 1,2...1,5 МПа. Поскольку бруски клином l (рис. 3.25, *a*) жестко поджаты к обрабатываемой поверхности, то при хонинговании исправляется погрешность формы до величины 0,005...0,01 мм. Хонингование устраняет конусность и овальность отверстия без изменения положения его оси, поскольку головка шарнирно соединена со шпинделем станка (рис. 3.25, *в*). Если хон закрепляют жестко в шпинделе станка, заготовка должна быть свободно установлена в приспособление (рис. 3.25, *г*), так как инструмент (хон) направ-

Рис. 3.25. Отделочная обработка поверхностей:

a, б — схемы резания при хонинговании и суперфинишировании соответственно; *1* — клин; *в, г* — хонингование внутренней поверхности с шарнирно закрепленным и жестким хонем соответственно; *д* — хонингование зубчатых колес: *1* — зубчатый хон; *2* — привод вращения хона; *3* — зубчатое колесо; *4* — тормозное устройство; *е* — суперфиниширование: *1* — абразивный брусок; *2* — головка; *3* — заготовка; *ж* — доводка наружной цилиндрической поверхности; *з, и, к, л, м* — притирка плоскостей (*з, и*), сферы, отверстия и зубьев колеса соответственно; *1* — притиры; *2* — заготовка; *3* — устройство для установки заготовки; D_r — главное движение; D_S — движение подачи; $D_{Скр}$, $D_{Спр}$ — движение круговой и продольной подачи соответственно; $D_{ос}$ — осциллирующее движение; F — сила прижима

ляется по обрабатываемому отверстию. Наибольшая эффективность достигается алмазным хонингованием. Износ алмазно-металлических брусков по сравнению с абразивными уменьшается в 150—250 раз, благодаря чему упрощается наладка и стабилизируется качество обработки. В процессе хонингования обязательно применение СОЖ, выполняющей смазывающее, охлаждающее и вы-



мывающее действие. Применение в качестве СОЖ смеси керосина с машинным маслом создает высокую взрыво- и пожароопасность и низкие санитарно-гигиенические условия труда. В последнее время керосиномазляные смеси заменяют СОЖ на водной основе, например 1,5 %-ным водным раствором Аквола-2, что позволяет улучшить условия труда и устранить пожароопасность.

Хонингование применяют для обработки закаленных зубьев колес для получения 7-й степени точности и шероховатости Ra 0,8...1,6 мкм. Обрабатываемое зубчатое колесо 3 (рис. 3.25, д) находится в зацеплении с хонем 1, выполненным в виде косозубого зубчатого колеса из пластмассы с мелкозернистым абразивом. Для обработки зуба по всей длине стол с обрабатываемым колесом совершает возвратно-поступательное движение. Для интенсификации процесса обработки зубчатое колесо может притормаживаться тормозным устройством 4. Наиболее точной является односторонняя обработка с реверсированием направления вращения для обработки другой стороны зуба. Данный метод высокопроизводителен (например, время обработки зубьев колеса автомобильной коробки передач составляет 30 с), припуск на сторону зуба при хонинговании 0,01...0,03 мм, скорость резания 2,5...3,5 м/с.

Суперфиниширование применяют для окончательной отделочной обработки наружных и внутренних поверхностей вращения. Суперфиниширование не повышает точность геометрической формы обрабатываемой поверхности, что объясняется упругим поджимом брусков к обрабатываемой поверхности (рис. 3.25, б). Абразивные бруски 1 расположены в головке 2 (рис. 3.25, е), совершающей колебательные (осциллирующие) движения при поступательном движении по обрабатываемой поверхности вращающейся заготовки 3. При этом конструкция головки обеспечивает постоянную силу прижима брусков и низкое давление в зоне обработки. Суперфинишированием получают шероховатость поверхности до Ra 0,012...0,1 мкм, снижая исходную шероховатость в 2—4 раза.

По мере снятия вершин микронеровностей увеличивается контактная поверхность с 20...30 до 80...90 %. Припуск на сторону должен превышать высоту микронеровностей поверхности на 10...20 %, чтобы не оставалось следов предыдущей обработки. В зависимости от шероховатости размер припуска на сторону составляет 4...20 мкм.

При обработке заготовок из чугуна, незакаленной стали и цветных металлов используют бруски из карбида кремния, при обработке заготовок из закаленной стали — бруски из электрокорунда. Для обработки применяют специально предназначенные станки или модернизированные токарные станки с необходимыми приспособлениями. Заготовку (вал, гильзы и т.п.) устанавливают в жестких центрах, базируя по центровым отверстиям заготовки или центральной оправки; вращение передают через поводковый пат-

рон и хомутик. Режимы обработки следующие: скорость колебательного движения брусков 8... 15 м/мин (400—3000 дв. ход/мин), амплитуда колебаний 2... 4 мм (до 6 мм), продольная подача головки 0,1 мм/об, скорость вращения заготовки 16... 50 м/мин в начале цикла и 100... 150 м/мин в конце цикла, удельное давление брусков 0,1... 0,3 МПа.

Суперфиниширование проводят с подачей СОЖ, в качестве которой используют смесь керосина и 10... 15 % веретенного масла. При этом обрабатываемые бруски касаются лишь выступающих из масляного слоя микронеровностей; через 0,5... 1 мин при определенной высоте микронеровностей опорная поверхность увеличивается, и разрыв масляной пленки прекращается.

Доводка (притирка) — окончательный метод обработки заготовок, обеспечивающий высокую размерную точность — 4—5-й качества точности, отклонение формы поверхностей в пределах 0,05... 0,3 мкм, высокое качество поверхностного слоя — шероховатость Ra до 0,1 мкм (Rz 0,01... 0,05 мкм).

Доводку выполняют на универсальных и специальных станках, обрабатывая цилиндрические (наружные и внутренние), плоские и другие поверхности. Притиры выполняют из серого чугуна (СЧ18, СЧ20, СЧ24). Твердость притира должна быть меньше твердости обрабатываемой заготовки. Поверхность притира шаржируется абразивными порошками, смешанными с маслом, или на его поверхность наносят пасту. При доводке применяют тонкие абразивные пасты на основе электрокорунда белого или хромистого, карбида кремния зеленого, карбида бора, алмазные пасты. На универсальных станках притирку выполняют ручную (рис. 3.25, *ж*), перемещая притир по обрабатываемой поверхности, при этом частота вращения заготовки 100... 125 мин⁻¹ в начальный период и около 50 мин⁻¹ при окончательной доводке. Механическая доводка в 2—6 раз производительнее ручной, при этом обеспечиваются стабильные эксплуатационные характеристики поверхностей. Доводку осуществляют либо способом свободного притира (рис. 3.25, *з, и*), когда притир, шарнирно соединенный со шпинделем станка, самоустанавливается по обрабатываемой поверхности, либо способом жестких осей (рис. 3.25, *к, л*), при котором положение осей притира и заготовки остается неизменным в процессе доводки, что обеспечивает требуемое взаимное расположение поверхностей.

Скорость относительного движения детали по притиру (или наоборот) при предварительной доводке назначают в пределах 50... 250 м/мин, при окончательной — 15... 30 м/мин, при тонкой — 2... 10 м/мин.

Давление притиров при тонкой доводке составляет 20... 150 кПа, причем меньшие значения соответствуют меньшим параметрам шероховатости поверхности.

Притирку применяют для отделочной обработки закаленных зубьев зубчатых колес вместо малопроизводительного и дорогого зубошлифования, если деформация при термической обработке невелика (менее 0,05 мм). В процессе притирки обрабатываемое колесо (заготовка) 2 (рис. 3.25, *м*) вращается в зацеплении с тремя чугунными притирами 1 — шестернями, которые притормаживают, в результате чего создается необходимое давление в местах контакта. Колесо или притиры имеют возвратно-поступательное движение в осевом направлении, чем обеспечивают равномерную обработку всей поверхности зуба. В зубопритирочных станках оси притиров расположены параллельно оси колеса или скрещиваются с ней.

Притиркой устраняют небольшие погрешности, сглаживают микронеровности предшествующей обработки (шевингование зубьев). Припуск на притирку оставляют в пределах 0,01 ... 0,02 мм на сторону зуба. Длительность процесса притирки колес среднего размера ($m = 3 \dots 5$ мм) 1 ... 1,5 мин.

Полирование предназначено для снижения параметра шероховатости поверхности, в основном его применяют для декоративной отделки и чистовой обработки фасонных поверхностей. В качестве абразивного инструмента применяют эластичные круги и абразивные шкурки. Эффект полирования достигается при обработке деталей во вращающихся барабанах, виброконтейнерах и установках, в которых инструментом служит свободный абразив. При полировании эластичными кругами (из войлока, фетра, бязи) с нанесенной на них полировальной пастой или с подводом пасты в зону обработки получают шероховатость поверхности Ra 0,4 ... 1,6 мкм (предварительная обработка), Ra 0,02 ... 0,1 мкм (чистовая обработка). При полировании используют абразив из электрокорунда, карбида кремния, карбида бора, оксида хрома и пасты ГОИ.

При полировании шкуркой и лентой на ленточно-шлифовальных станках на высокой скорости 10 ... 40 м/с проводят предварительное полирование со съемом припуска до 0,1 ... 0,3 мм, обеспечивая шероховатость поверхности Ra 0,8 ... 1,6 мкм. Окончательное (чистовое) полирование выполняют со скоростью 10 ... 60 м/мин лентами зернистостью 8 — 16, достигая параметр Ra 0,2 ... 0,4 мкм. При уменьшении зернистости ленты до 3 — 6 получают шероховатость поверхности Ra 0,05 ... 0,1 мкм. При низкоскоростном полировании снимают припуск до 10 ... 15 мкм. Заданную скорость полирования достигают вращением детали, лента совершает осциллирующее движение. Наибольшее применение имеют шкурки и ленты из электрокорунда и карбида кремния на тканевой и бумажной основе.

Сравнительная характеристика методов обработки заготовок приведена в табл. 3.2.

Сравнительная характеристика методов обработки заготовок

Обработка лезвийными инструментами	Точность размеров	Шероховатость поверхности Ra , мкм
Точение:		
обдирка	14	50... 100
черновая обработка	12—14	12,5... 25
получистовая обработка	11—13	12,5
чистовая обработка	8—10	3,2... 6,3
тонкая обработка	6—8	0,4... 1,6
Фрезерование:		
черновое	12	12,5... 25
получистовое	10—11	6,3... 12,5
чистовое	8—9	3,2... 6,3
тонкое	7	1,6... 3,2
Сверление и рассверливание	11—12 (до 10)	12,5... 25
Зенкерование:		
черновое или однократное	12—13	6,3... 12,5
чистовое	10—11	3,2... 6,3
Развертывание:		
нормальное (предварительное)	9—10	3,2... 6,3
чистовое (точное)	7—9	1,6... 3,2
тонкое	5—6	0,4... 0,8
Протягивание:		
черновое	10—11	3,2... 12,5
чистовое	6—9	0,4... 3,2
Плоское шлифование:		
обдирочное	0,1 ... 0,16 мм на 1 м длины	3,2... 6,3
предварительное	0,1 ... 0,16 мм на 1 м длины	3,2... 6,3
чистовое	0,04 ... 0,06 мм на 1 м длины	0,8... 1,6
тонкое	0,016 ... 0,025 мм на 1 м длины	0,4... 0,8
Круглое шлифование:		
предварительное	8—9	1,6... 3,2
чистовое	7	0,8... 1,6
тонкое	5—6	0,1... 0,8
Хонингование	4—5	0,1... 0,4
Суперфиниширование	4—5	0,05... 0,1
Притирка (доводка)	4—5	0,02... 0,2
Полирование	—	0,02... 1,6

3.10. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Для проверки выполнения технических требований при изготовлении деталь подвергают многократному контролю как в процессе производства, так и после изготовления, при этом проверяют точность размеров, формы и расположения поверхностей, качество поверхности.

Контроль размеров проводят универсальными измерительными средствами и специальными измерительными устройствами.

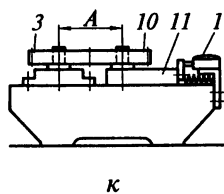
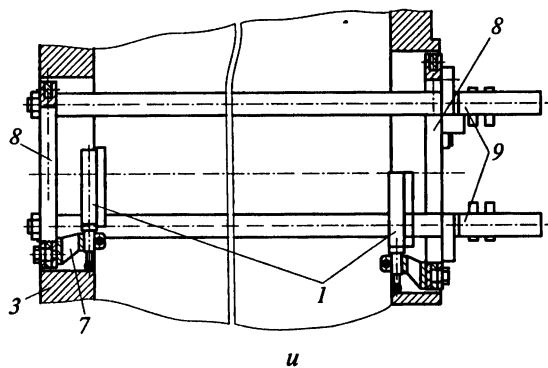
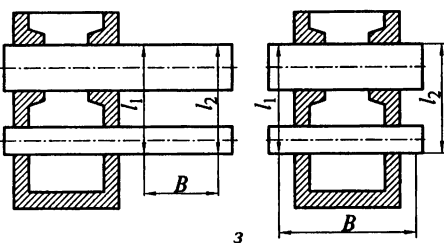
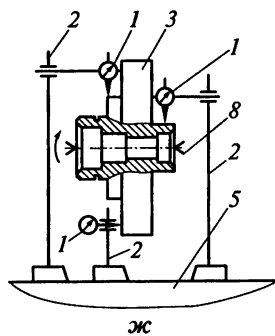
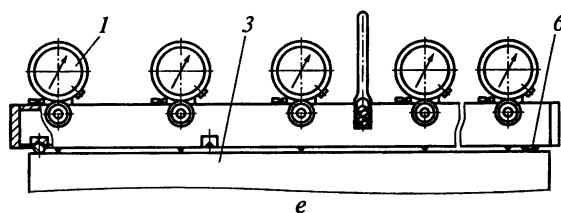
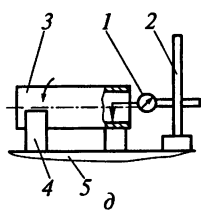
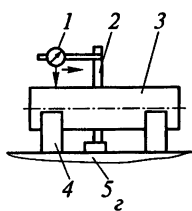
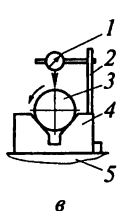
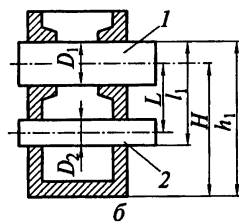
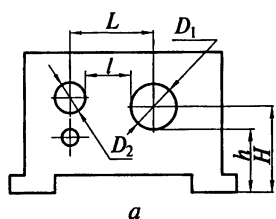
Точность размеров наружных поверхностей проверяют штангенциркулем (погрешность измерения $\pm 0,05$ мм), микрометрами: ручным (погрешность измерения ± 5 мкм), рычажным (погрешность измерения ± 1 мкм), скобами: рычажной (погрешность измерения ± 1 мкм), со съемными измерительными головками (погрешность измерения ± 12 мкм). Точность размеров внутренних поверхностей проверяют нутромерами: микрометрическим (погрешность измерения $\pm (6 \dots 8)$ мкм), индикаторным (погрешность измерения $\pm (15 \dots 20)$ мкм), с повышенной точностью (погрешность измерения ± 6 мкм). В серийном и массовом производстве при контроле размеров наружных и внутренних поверхностей, выполненных по 6—9-му квалитетам точности, используют предельные калибры: калибр-скобы и калибр-пробки соответственно. В единичном и мелкосерийном производстве межцентровые расстояния и расстояния между осями отверстий и базовыми плоскостями в корпусных деталях проверяют путем их непосредственного измерения (рис. 3.26, а). Полученные результаты пересчитывают с учетом диаметров отверстий:

$$L = l + 0,5D_1 + 0,5D_2; \quad H = h + 0,5D,$$

где L, H — контролируемые размеры детали; D_1, D_2 — диаметры отверстий; l, h — измеряемые размеры детали.

Рис. 3.26. Схемы контроля:

$a, б$ — расстояний между осями отверстий; $1, 2$ — контрольные оправки; D_1, D_2 — номинальные диаметры отверстий и контрольных оправок; L, H — контролируемые размеры; l, h — измеряемые размеры; l_1, h_1 — измеряемые размеры между оправками и торцем детали и оправками; σ — отклонения от круглости наружной поверхности; ε — отклонения от цилиндричности в продольном сечении; δ — отклонения от круглости внутренней поверхности; e — отклонения от прямолинейности плоскости; $ж$ — соосности поверхностей и отклонения от перпендикулярности торца; $з$ — отклонения от параллельности осей отверстий; $и$ — соосности отверстий относительно общей оси; $к$ — отклонения межосевого расстояния зубчатого зацепления; 1 — индикаторная головка; 2 — стойка; 3 — контролируемая деталь; 4 — призма; 5 — поверочная плита; $б$ — опора; 7 — кронштейн; 8 — пробка; 9 — ось; 10 — эталонное колесо; 11 — каретка; A — межосевое расстояние; B — базовая длина; l_1, l_2 — изменения на базовой длине



Можно также использовать специальные контрольные оправки (рис. 3.26, б), установленные в отверстия. Расчет производят аналогично:

$$L = l_1 - 0,5D_1 - 0,5D_2; \quad H = h_1 - 0,5D_1,$$

где L , H — контролируемые размеры детали; D_1 , D_2 — диаметры оправок; l_1 — замеряемое расстояние между оправками; h_1 — замеряемое расстояние между оправкой и торцем детали.

Расстояния l , l_1 , h и h_1 измеряют вышеперечисленными универсальными измерительными средствами.

В серийном производстве применяют специальные измерительные устройства с использованием стандартных измерительных головок (допустимая погрешность измерения $\pm(0,2 \dots 0,5)$ мкм). Перед измерением устройство настраивают по настроенному образцу (плита с двумя отверстиями, межцентровое расстояние которых выполнено с требуемой точностью). Замечают размах показаний при контакте дисков измерительной головки с противоположными образующими отверстий и устанавливают на нуль индикаторную головку (середина размаха показаний). Затем устройство переносят на контролируемую деталь и замеряют середину размаха показаний индикаторной головки — отклонение межцентрового расстояния.

Точность формы цилиндрических поверхностей на начальных операциях технологических процессов выполняют универсальными измерительными средствами (микрометрами, скобами, нутромерами) путем замера диаметра в различных сечениях проверяемой поверхности. Такой контроль не дает истинного представления о геометрической форме, однако позволяет с точностью до 5... 10 мкм оценить величину погрешности. На завершающих этапах изготовления деталей отклонения от круглости и цилиндричности наружных и внутренних поверхностей контролируют кругломерами или на координатно-измерительных машинах. Точность измерения может достигать 0,2 мкм. При отсутствии таких приборов применяют простейшие измерительные приспособления со стандартными измерительными головками (рис. 3.26, в—д). Деталь 3 базируется на призмах 4, установленных на поверочной плите 5. Стойку 2 с индикаторной головкой 1 подводят к контролируемой поверхности. Поворачивая деталь 3, производят несколько замеров в различных сечениях. Точность контроля зависит от типа применяемых головок и квалификации контролера и может достигать 2... 4 мкм.

Отклонение от круглости внутренних цилиндрических поверхностей также контролируют пневматическими пробками. Правильность геометрической формы внутренних конических посадочных поверхностей проверяют калибрами методами «по краске» и «по риске».

При контроле прямолинейности и плоскостности плоскостей используют устройства трех типов: оптические приборы, уровни и механические приспособления. Из оптических приборов наибольшее распространение получили автоколлиматоры. Более высокую точность контроля дает применение лазерных интерферометров. Однако общий недостаток оптических способов измерения — большая трудоемкость контроля и сложность применяемого оборудования. В мелкосерийном производстве широкое применение нашли простые измерительные приспособления с использованием измерительных головок. Например, приспособление для контроля прямолинейности поверхности приведено на рис. 3.26, *е*. Перед контролем детали 3 индикаторные головки 1 настраивают на нуль по поверочной плите соответствующей точности. Затем плиту устанавливают двумя точечными (шариковыми) опорами 6 на контролируемую поверхность детали 3. Отклонение от прямолинейности определяют как наибольшую разность показаний измерительных головок.

Контроль точности расположения поверхностей — наиболее сложный и трудоемкий этап контроля. Для цилиндрических поверхностей деталей тел вращения наилучшие результаты дает применение универсальных и специальных координатно-измерительных машин. Они позволяют проводить комплексную проверку всех показателей точности изготовления детали. В мелкосерийном и серийном производстве применяют специальные приспособления для комплексного контроля, которые komponуют из стандартных измерительных головок, стоек, призм, центровых бабок, плит.

На рис. 3.26, *ж* показана схема комплексного контроля соосности поверхностей относительно общей оси отверстий и отклонения от перпендикулярности к ней торца. Деталь 3 при этом устанавливают на специальные центровые пробки 6 по посадочным отверстиям, а затем на центры, установленные в центровых бабках. Индикаторные головки 1 закреплены на кронштейнах 7. Все приспособление смонтировано на поверочной плите 5.

Отклонение от соосности поверхностей можно измерять: настройкой измерительных головок в нулевое положение по эталону, повторяющему деталь и изготовленному с требуемой точностью. При установке контролируемой детали показания индикаторов определяют отклонения от соосности;

поворотом детали вручную на 360° и замером биения поверхности (разности показаний измерительной головки) относительно общей оси. В этом случае оценивают несоосность поверхности и ее некруглость.

Отклонение от перпендикулярности торца проверяют при повороте детали на 360° (желательно на максимальном радиусе). Величина отклонения оценивается максимальной разностью показаний измерительной головки.

Отклонение от параллельности осей отверстий корпусных деталей контролируют с использованием оправок, материализующих оси отверстий. Измерения проводят в двух разных сечениях (рис. 3.26, з). Отклонение от параллельности определяют как разность измерений l_1 и l_2 на базовой длине B . Размеры l_1 и l_2 контролируют универсальными или специальными измерительными головками.

Контроль отклонений от соосности основных отверстий относительно общей оси проводят с использованием специальных приспособлений. Например, приспособление (рис. 3.26, и) вводят в контролируемые отверстия; индикаторные головки I устанавливают на нуль, после чего приспособление поворачивают на 360° .

Отклонение от соосности каждого отверстия определяют как $1/4$ разности наибольшего и наименьшего показаний индикаторной головки, установленной в соответствующем отверстии.

При контроле зубьев колес на специальных контрольных приборах проверяют погрешность профиля, погрешность направления зуба, разность шагов, радиальное биение зубчатого венца, колебания межосевого расстояния, уровень шума, пятно контакта, отклонение общей нормали. Основным методом комплексного контроля зубчатого венца заключается в проверке кинематической погрешности зацепления проверяемого колеса с эталонным или при работе двух сопряженных колес при номинальном межосевом расстоянии при безззорном зацеплении. Так, на рис. 3.26, к представлена схема контроля межосевого расстояния A проверяемого колеса $З$ с эталонным зубчатым колесом $И$, посаженным на палец подпружиненной подвижной каретки $И$. При проворачивании колеса $З$ индикатор I отмечает изменение межосевого расстояния, происходящее в результате ошибок шага, профиля, биения основной окружности и т.д. Правильность изготовления зубчатого венца проверяют также по пятну контакта при обкатке с эталонным (или парным) зубчатым колесом. Быстроходные зубчатые колеса проверяют по уровню шума на специальных приборах в камерах, причем на некоторых предприятиях такая проверка является первоочередной. Если уровень шума находится в допустимых пределах, дальнейшую проверку параметров зубьев можно не проводить.

Методы контроля качества поверхностного слоя (шероховатость, твердость) рассмотрены в подразд. 1.3.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы определяют выбор вида металлорежущего станка, используемого при обработке заготовки?

2. Что понимают под припуском на механическую обработку? Почему выбор оптимальных по величине припусков является важной технико-экономической задачей?

3. Каковы основные требования к технологичности конструкции детали при механической обработке?
4. Какими методами ведут обработку наружных поверхностей вращения на токарных станках?
5. Назовите два способа последовательного снятия припуска при обработке ступенчатых валов. В каких случаях их применяют?
6. Перечислите способы настройки инструментов (резцов, фрез) на заданный размер. Какую точность настройки они обеспечивают?
7. Какими методами обработки можно обеспечить требуемую точность и качество поверхности отверстий?
8. Какие режущие инструменты обеспечивают исправление пространственных погрешностей (увод оси) ранее полученных отверстий?
9. Какие устройства применяют на сверлильных и расточных станках, чтобы повысить точность обработки отверстий?
10. Чем протягивание отверстий отличается от обработки другими инструментами?
11. Для чего применяют СОЖ при обработке заготовок?
12. Назовите схемы фрезерования и область их применения.
13. В каких случаях для обработки плоских поверхностей применяют строгание? В чем заключается сущность этого метода обработки?
14. Назовите методы обработки цилиндрических зубчатых поверхностей и область их применения.
15. Какие методы отделочной обработки зубьев колес применяют в машиностроении?
16. Какую точность зубьев обеспечивает шевингование?
17. Какие методы обработки используют для нарезания зубьев конических колес?
18. Укажите особенности двух методов фрезерования наружных шлицевых поверхностей.
19. Каковы особенности продольного и врезного круглого шлифования? В каких случаях применяют эти методы?
20. Как осуществляют шлифование торцев шеек валов на кругло- и внутришлифовальных станках?
21. Каковы способы шлифования шлицевых поверхностей?
22. В чем состоит различие между хонингованием и суперфинишированием?
23. Что является режущим инструментом при доводке и притирке поверхностей заготовок?
24. Какие измерительные устройства применяют для контроля точности диаметральных размеров деталей и точности формы поверхностей вращения?

4.1. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК

Термической обработкой называют процесс тепловой обработки металлических изделий с целью изменения их структуры и свойств, заключающийся в нагреве до определенной температуры, выдержке при этой температуре и охлаждении с заданной скоростью.

Термической обработке подвергают отливки, поковки, сварные заготовки, заготовки деталей в процессе механической обработки.

Основными видами термической обработки являются отжиг, нормализация, закалка, отпуск и старение.

Сталью называют железоуглеродистый сплав с другими элементами, содержание углерода в котором не превышает 2,14 %. По химическому составу стали подразделяют на углеродистые и легированные. В зависимости от содержания углерода различают низкоуглеродистую (менее 0,3 % углерода), среднеуглеродистую (0,3...0,7 % углерода) и высокоуглеродистую (более 0,7 % углерода) сталь. Легированную сталь в зависимости от введенных элементов называют хромистой, марганцевистой, хромоникелевой и др. Маркировка сталей проводится по стандартам. Каждый легирующий элемент обозначают буквой: Ю — алюминий, Р — бор, Ф — ванадий, В — вольфрам, К — кобальт, С — кремний, Г — марганец, М — молибден, Н — никель, Б — ниобий, Т — титан, П — фосфор, Х — хром, Ц — цирконий и т.д.

По назначению сталь делят на следующие группы:

- конструкционные стали — предназначенные для изготовления деталей машин;
- инструментальные стали — применяемые для изготовления режущего, мерительного инструментов;
- стали и сплавы с особыми свойствами.

При маркировке конструкционных сталей первые цифры показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, цифры, стоящие после букв, указывают среднее содержание легирующего элемента в процентах. Если содержание элемента меньше или равно 1 %, цифра отсутствует. В высококачественных сталях в конце обозначения ставят букву А. Например, сталь 20ХНЗА

в среднем содержит 0,2 % углерода, 1 % хрома и 3 % никеля. Буква А в конце марки показывает, что сталь высококачественная. Некоторые группы сталей имеют дополнительные обозначения: обозначение шарикоподшипниковых сталей начинают с буквы Ш, быстрорежущих инструментальных — с буквы Р, автоматных — с буквы А.

В сплаве железа с углеродом при разной температуре оба компонента могут иметь различные модификации и разную структуру кристаллической решетки. Фазы в сплаве железа с углеродом представляют собой жидкий раствор, феррит, аустенит, цементит и свободный углерод в виде графита. Структура феррита образуется при температуре до 911 °С и от 1392 до 1539 °С. Структура аустенита образуется при температуре от 911 до 1392 °С, содержание углерода может достигать 2,14 %. Аустенит пластичен, но при температуре 20...25 °С прочнее феррита (160...200 НВ). Аустенит — очень неустойчивая структура, которая с течением времени переходит в другие структуры. Свойства и строение продуктов превращения аустенита зависят от температуры, при которой происходит процесс его распада, и от скорости охлаждения: чем выше скорость охлаждения, тем ниже его температура распада. При очень большой скорости охлаждения (300 °С/с) весь аустенит переохлаждается до температуры мартенситного превращения и переходит в мартенсит. Но поскольку при температуре выше 0 °С этот процесс в некоторых сталях протекает не до конца, в закаленной стали всегда присутствует наряду с мартенситом остаточный аустенит. Цементит — карбид железа FeC — имеет очень высокую твердость (800 НВ), хрупок, температура плавления 1260 °С.

В сплаве железа с углеродом присутствуют также двухфазные структуры: перлит, ледебурит.

В процессе изготовления детали из стали различных марок проходят несколько этапов термической обработки.

Отжиг — нагрев заготовок и медленное охлаждение с целью рекристаллизации и перекристаллизации металла — получения однородной мелкозернистой структуры, снижения его твердости для улучшения обрабатываемости заготовок резанием. Отжигу подвергают стальные литые и кованные заготовки. Исходные заготовки из проката, как правило, отжигу не подвергают, поскольку прокат поставляют уже в отожженном или нормализованном состоянии. При холодном деформировании металла (прокатка, волочение и др.) рекристаллизационный отжиг используют в качестве межоперационной смягчающей обработки.

Как уже отмечалось в гл. 2, в отливках и поковках (из-за неравномерного охлаждения) после сварки, правки сортового проката возникают значительные внутренние остаточные напряжения. Чаще всего такие напряжения нежелательны (напряжения растяжения), поскольку могут вызвать деформацию деталей при обработке ре-

занием или в процессе эксплуатации, а при наличии напряжений от внешних нагрузок привести к преждевременному разрушению или короблению конструкции. Во многих сплавах остаточные напряжения могут вызвать их растрескивание, что совершенно недопустимо при эксплуатации в коррозионной среде. Остаточные напряжения бывают настолько велики, что могут достигать предела текучести металла. При отжиге происходит снятие внутренних (остаточных) напряжений.

Нагрев заготовок проводится в камерных или шахтных электропечах. При отжиге охлаждение заготовок производят вместе с печью. Скорость охлаждения при отжиге выбирают в зависимости от степени легированности стали. Углеродистые стали получают достаточно мягкими при скорости охлаждения $100 \dots 200 \text{ }^\circ\text{C/ч}$. Легированные стали нужно охлаждать медленнее — при скорости $20 \dots 70 \text{ }^\circ\text{C/ч}$. Заготовки из высоколегированной стали экономичнее подвергать изотермическому отжигу, т.е. не только нагревать до требуемой температуры, но и выдерживать в течение некоторого времени, сохраняя эту температуру.

Нормализации, как и рекристаллизационному отжигу, чаще всего подвергают заготовки из конструкционной стали после горячей обработки давлением и фасонного литья. Нормализация отличается от отжига в основном условиями охлаждения: после нагрева до требуемой температуры заготовку охлаждают на открытом воздухе. Нормализация — более экономичная термическая операция, чем отжиг, так как на охлаждение металла затрачивается меньше времени. При нормализации менее резко выражена строчечность структуры металла. Строчечная структура — это структурный дефект, возникающий из-за загрязнения стали неметаллическими включениями, обычно сульфидами и фосфорными соединениями. Наличие в горячеформированных сталях неметаллических включений вызывает анизотропию свойств (неодинаковость свойств в разных направлениях), которая несколько уменьшается после нормализации.

Режимы термической обработки заготовок (отжиг, нормализация), полученных методами пластического деформирования, приведены в табл. 4.1.

В качестве примера в табл. 4.2 представлены режимы отжига штампованных заготовок из легированной стали.

При механической обработке под воздействием сил резания и теплоты при снятии слоя металла с поверхности заготовки в металле возникают внутренние (остаточные) напряжения, которые могут привести к деформации уже готовой детали. Для снятия таких напряжений и стабилизации размеров заготовки при обработке применяют как отжиг, так и стабилизирующий отпуск. При обработке прецизионных деталей такие виды термообработки проводят после каждого этапа механической обработки.

Таблица 4.1

Режимы термической обработки поковок, штамповок

Марка стали	Вид термообработки	Температура нагрева, °С	Способ охлаждения	Твердость НВ
40	Нормализация	840... 850	На воздухе	max 207
	Отжиг	820... 840	С печью	max 207
45	Нормализация	805... 855	На воздухе	max 207
	Отжиг	785... 805	С печью	max 207
40X	Нормализация	865... 875	На воздухе	max 217
	Отжиг	845... 865	С печью	max 217
20X	Нормализация	889... 900	На воздухе	174... 217
20XН3А	»	900... 920	То же	max 217
18XГТ	»	950... 970	»	160... 207
38X2МЮА	Отжиг	900... 920	С печью	235... 277
40XФА	»	830... 850	То же	187... 229
ШХ15	»	790... 810	»	179... 207
У8А	»	690... 710	»	max 187

Примечание. При изотермическом отжиге заготовок из высоколегированной стали марок 9ХС, ХВГ, ШХ15 и др. выдержка при указанной температуре составляет 1... 2 ч.

Таблица 4.2

Последовательность изотермического отжига штампованных заготовок из легированной стали

Режим отжига	Значение
1. Температура нагрева, °С	790... 810
2. Выдержка, ч	1... 2
3. Скорость охлаждения, °С/ч	50
4. Температура, °С	700... 720
5. Выдержка, ч	1... 2
6. Скорость охлаждения, °С/ч	50
7. Температура, °С	500... 560
8. Режим окончательного охлаждения	На воздухе

Первую стабилизирующую термическую обработку выполняют после черновой обработки, при которой снимают максимальные припуски и напуски с заготовки; при этом на заготовки действуют большие силы и моменты резания. Заготовки из сталей, не упрочняемых термической обработкой, и закаливаемых сталей (40X, У8А, ХВГ, ШХ15 и др.) подвергают отжигу. Нагрев заготовок осуществляют в камерных или шахтных электропечах в атмосфере защитных газов для предотвращения обезуглероживания их поверхностей. При этом заготовки типа валов: шпиндели, гильзы, ступенчатые валы, у которых отношение длины к диаметру больше 10, ходовые винты и т. п. — располагают только в вертикальном положении, чтобы исключить прогиб заготовки под действием собственной массы и температуры нагрева. Режимы отжига после черновой обработки для заготовок из разных марок стали приведены в табл. 4.3.

После закалки заготовок до определенной твердости при выполнении абразивной обработки выполняют один или три стабилизирующих отпуска для снятия внутренних напряжений.

Стабилизирующий отпуск — это нагрев заготовки до определенной температуры с выдержкой в течение нескольких часов, затем ее охлаждение на воздухе. Время выдержки в шахтных или электропечах с защитной атмосферой зависит от марки стали, требуемой твердости металла, назначения и точности заготовки. Так, например, для шпинделей и гильз прецизионных токарных станков производят два стабилизирующих отпуска: первый — после чернового шлифования заготовки, второй — после чистового шлифования перед отделочной обработкой (в основном для заготовок малой жесткости).

Таблица 4.3

Режимы отжига заготовок для снятия внутренних напряжений после черновой обработки

Марка стали	Температура нагрева, °С	Продолжительность выдержки, ч	Способ охлаждения
Не упрочняемые термообработкой (закалкой): 40, 45, АГ40 и др.	540...560	5...6	С печью до температуры 450 °С, затем на воздухе
Закаливаемые легированные: ШХ15, ХВГ, 72Г2ВМ, 40Х, У8А и др.	640...670	2...3	С печью
Цементируемые: 20Х, 12ХН3А, 18ХГТ	540...560	4...6	С печью

Режимы стабилизирующего отпуска прецизионных заготовок

Тип детали	Марка стали	Требуемая твердость HRC	Температура первого отпуска, °С	Продолжительность выдержки, ч	Температура второго отпуска, °С	Продолжительность выдержки, ч
Ходовой винт 0-го класса точности	8ХФ	max59	160...180	15...18	150...160	15...18
	ХВГ*	max59	160...170	18...20	150...160	16...18
	7ХГ2ВМ*	max59	170...180	14...16	150...160	16...18
Шпиндели	ШХ15	56...59	170...180	8...16	160...170	16...18
		52...62	150...160	10...20	150...160	16...18
	У8А	58...60	200...220	8...16	160...170	16...18
		62...64	150...160	10...20	150...160	16...18

* Для этих марок стали необходим третий отпуск при температуре 150...160 °С в течение 16...20 ч.

Для прецизионных ходовых винтов (точнее 2-го класса точности) производят три стабилизирующих отпуска: первый — после чернового, второй — после полустистового шлифования, третий — перед отделочной обработкой после чистового шлифования. Режимы стабилизирующего отпуска заготовок из некоторых марок стали приведены в табл. 4.4. Большую продолжительность стабилизирующего отпуска назначают для более точных деталей.

Закалка — термическая обработка, в результате которой повышаются твердость и прочность металла, а у некоторых сплавов увеличивается удельное электрическое сопротивление, повышается коррозионная стойкость и др. Закалка бывает двух видов: объемная и поверхностная.

Объемную закалку ведут нагревом в камерных электропечах до требуемой температуры с последующим быстрым охлаждением. Температура нагрева при закалке заготовок из различных марок стали приведена в табл. 4.5.

Для углеродистых сталей скорость охлаждения должна быть очень большой (свыше 400... 1400 °C/с — критической скорости фазовых превращений). Такое резкое охлаждение достигается погружением закаливаемых заготовок в ванну с холодной водой либо с водой с добавлением солей или едкого натра, так как щелочная среда не вызывает последующей коррозии стальных заготовок. При охлаждении на поверхности заготовки не должна образовываться паровая пленка, препятствующая теплообмену с закалочной средой. Лучшей является стадия пузырькового кипения охлаждающей жидкости. Чем больше температурный интервал этой стадии, тем интенсивнее охлаждение в закалочной среде. Более мягкой охлаждающей средой является минеральное масло, у которого относительная интенсивность охлаждения более чем в 3 раза меньше, чем у водной среды. Заготовки из легированной стали охлаждают в холодном или подогретом масле, а из высоколегированной стали могут закаливаться даже при охлаждении на воздухе.

Таблица 4.5
Температура закалки заготовок при нагреве в электропечи

Марка стали	Нагрев в электропечи, °C
40	840... 860
45	810... 830
40X	850... 870
У8А	780... 820
ШХ15, ХВГ	830... 860
7ХГ2ВМ, 9ХС	860... 880

Быстрое охлаждение стальных заготовок создает значительные внутренние (остаточные) напряжения, вызывающие коробление заготовок и растрескивание металла на поверхности. Основным источником напряжений — увеличение объема при фазовом превращении аустенита в мартенсит. При этом из-за больших значений модуля упругости в температурном интервале

мартенситного превращения релаксация (выравнивание) напряжения происходит очень медленно. Вторая причина возникновения остаточных напряжений — одновременность структурных превращений в различных сечениях деталей сложной формы.

В практике термической обработки стальных заготовок нашли применение способы охлаждения, позволяющие значительно уменьшить величину остаточных напряжений: закалка в двух средах и ступенчатая закалка.

При *закалке в двух средах* заготовку после нагрева до температуры закалки погружают на определенное время в воду, а затем переносят в более мягкую охлаждающую среду, обычно в масло. При *ступенчатой закалке* заготовку после нагрева до температуры закалки переносят в жидкую среду, имеющую требуемую температуру (на 50...100 °С выше температуры фазовых превращений закаливаемой стали), выдерживают небольшое время, необходимое для выравнивания температуры по сечению заготовки, а затем окончательно охлаждают на спокойном воздухе. Ступенчатую закалку обычно применяют для заготовок из легированной стали, например режущих инструментов небольшого сечения.

Обработка холодом — охлаждение закаленных сталей до температуры ниже 20...25 °С. Обработке холодом подвергают закаленные легированные стали, у которых температура конца фазового превращения аустенита в мартенсит значительно ниже 20...25 °С (температуры окружающей среды). Вследствие этого в структуре металла наряду с мартенситом оказывается значительное количество остаточного аустенита (стали ШХ15, 12ХН3А, 18ХГТ, ХВГ, 7ХГ2ВМ и др.). Остаточный аустенит снижает твердость закаленной стали и может вызвать нестабильность размеров готовой детали, так как, будучи нестабильной фазой стали, способен при низких температурах к распаду с малой скоростью. Для повышения твердости закаливаемых заготовок и стабилизации размеров их охлаждают до температуры -20...-196 °С (температура жидкого азота) и выдерживают в емкостях с сухим льдом — твердым диоксидом углерода (температура -78,5 °С) или с жидким азотом от 30...40 мин до 2...3 ч в зависимости от марки стали и размеров заготовки. Перерыв во времени между закалкой и обработкой холодом не должен быть более 1...2 ч. Во избежание образования трещин температура заготовок перед охлаждением не должна превышать 25 °С.

Закаливаемость и прокаливаемость — важнейшие характеристики стали. Закаливаемость определяется твердостью поверхности закаленных деталей и зависит главным образом от содержания углерода в стали. При закалке заготовок их поверхность охлаждается, как правило, со скоростью выше критической и на поверхности образуется мартенсит, обладающий высокой твердостью.

Прокаливаемостью называют способность стали закаливаться на определенную глубину.

При закалке заготовок даже в самых сильных охладителях невозможно добиться одинаковой скорости охлаждения поверхности и сердцевины детали, поэтому очень часто деталь не прокаливается насквозь, т. е. там не образуется мартенсит. При оценке прокаливаемости условились считать закаленными слои, в которых содержится не менее 50 % мартенсита.

Отпуском называют нагрев закаленных сталей, в результате которого в стальной заготовке происходят фазовые и структурные превращения, изменяются твердость и характеристики пластичности. В зависимости от температурного интервала различают три вида отпуска: низкий — при 120...250 °С, средний — при 350...450 °С и высокий — при 500...650 °С. Чем выше температура отпуска, тем ниже твердость отпущенной стали. Продолжительность выдержки при отпуске устанавливается с таким расчетом, чтобы обеспечить стабильность свойств стали. При низком отпуске, обеспечивающем твердость свыше 40 HRC для углеродистых и 55 HRC для легированных сталей, выдержка составляет от 2 до 10...15 ч. Режимы отпуска заготовок из различных марок стали приведены в табл. 4.6.

Продолжительность среднего и высокого отпуска обычно составляет 1...2 ч для деталей небольшого сечения и 3...8 ч для деталей массой 200...1000 кг (диски газовых и паровых турбин, валы, цельнокованные роторы турбин и т. п.).

Так как структура отпущенной стали формируется при температуре отпуска, интенсивность последующего охлаждения не оказывает на нее влияния, поэтому заготовки охлаждают на спокойном воздухе.

Таблица 4.6

Режимы низкого отпуска стальных заготовок (валы, шпиндели, ходовые винты)

Марка стали	Требуемая твердость HRC	Температура отпуска, °С	Продолжительность выдержки, ч
45	40...50	180...200	2...3
ШХ15	56...59	200...220	6...8
	59...62	160...180	2...4
У8А	56...61	200...300	2...3
	61...65	160...200	3...6
7ХГ2ВМ	max 59	180...200	8...10
ХВГ	max 61	180...200	8...10
9ХС, 8ХФ	max 61	190...210	4...5

Отпуск заготовок можно проводить в камерных и шахтных печах. Низкий отпуск рекомендуется выполнять в масляных ваннах, что обеспечивает быстрый и равномерный нагрев, а также регулирование температуры.

Улучшением называют термическую обработку конструкционных сталей, включающую в себя закалку и высокотемпературный отпуск (500...650 °С). Среднеуглеродистые (с содержанием углерода 0,3...0,5 %) легированные стали, в том числе азотированные, приобретают высокие механические свойства после термического улучшения, которое в отличие от нормализации обеспечивает повышенный предел текучести стали в сочетании с хорошей пластичностью, вязкостью и высоким сопротивлением развитию трещин. Улучшаемые легированные стали применяют для большой группы деталей машин, работающих в условиях циклических и ударных нагрузок (валы, штоки, шатуны). Как правило, улучшение заготовок из легированной стали выполняют после черновой обработки заготовок. Режимы термической обработки легированных сталей улучшением приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Режимы улучшения среднеуглеродистых легированных сталей

Марка стали	Вид термо-обработки	Температура нагрева, °С	Способ охлаждения	Твердость НВ
40X	Закалка	850...880	В масло	217...269
	Отпуск	500...620	С печью	
50X	Закалка	830	В масло	max 270
	Отпуск	520	С печью	
30XГСА	Закалка	880	В масло	max 270
	Отпуск	540	С печью	
40XH	Закалка	820	В масло	max 270
	Отпуск	500	С печью	
40XH2MA	Закалка	850	В масло	max 270
	Отпуск	620	С печью	
40XФА	Закалка	860...890	В масло	235...305
	Отпуск	630...660	С печью	
38XH3MA	Закалка	850	В масло	max 270
	Отпуск	600	На воздухе	
38X2MЮА	Закалка	330...950	В масло	229...269
	Отпуск	650...670	На воздухе	

Примечание. Продолжительность выдержки при закалке 1,5...2 ч.

Поверхностную закалку заготовок ведут, когда требуется получить высокую твердость наружных слоев при сохранении мягкой сердцевины. Чаще всего закаливают трущийся наружный слой поверхностей сопряжения деталей машин. Наиболее совершенным способом поверхностной закалки является закалка токами высокой частоты (ТВЧ) в специальных установках — индукторах. Такой метод закалки позволяет избежать нагрева других поверхностей, не подлежащих закалке, получить стабильно высокое качество заготовок, избежать окисления (окалина практически отсутствует) и устранить коробление. Удельное коробление при объемной закалке составляет 0,7...1,2 мкм/мм, а при закалке ТВЧ — 0,3...0,4 мкм/мм. Поверхностная закалка ТВЧ — очень производительный метод закалки, который можно полностью автоматизировать. Если заготовка имеет небольшую закаливаемую поверхность, она целиком может быть одновременно нагрета индуктором до требуемой твердости закалки; если закаливаемая поверхность имеет большую протяженность, ее нагрев происходит последовательно путем перемещения индуктора или заготовки (внутри индуктора) с рассчитанной скоростью. Индуктор представляет собой тонкую пластину, повторяющую профиль закаливаемой поверхности и отстоящую от нее по периметру на 1...2 мм. Охлаждение при поверхностной закалке ТВЧ осуществляют водой или водным раствором полимеров, подающимися через спрейер — трубку с отверстиями для разбрызгивания воды, расположенную относительно закаливаемой поверхности аналогично индуктору, или непосредственно через индуктор в виде душа. Скорость охлаждения около 1000 °С/с. Достоинство поверхностной закалки, как и большинства способов упрочнения поверхности (химико-термическая обработка, поверхностный наклеп, обкатка и т.п.), заключается в создании значительных внутренних напряжений сжатия в поверхностном слое заготовки.

Оптимальная частота тока при закалке ТВЧ зависит от толщины закаливаемого слоя: при увеличении толщины от 1 до 6 мм частота уменьшается от 60 000 до 1500 Гц соответственно. Закалка ТВЧ характеризуется высокими скоростями нагрева поверхностей заготовки — 100...800 °С/с. С увеличением скорости нагрева температура критических точек фазовых превращений стали повышается, а температурный интервал, в пределах которого может быть получена качественная структура закаленного слоя, расширяется. Так, например, для стали 45 при скорости нагрева 100 °С/с температура закалки составляет 830...880 °С, а при скорости нагрева 500 °С/с — 930...1000 °С. Продолжительность закалки одной заготовки 40...60 с.

Сварные заготовки и конструкции подвергают термической обработке для уменьшения внутренних напряжений, вызванных неравномерным нагревом заготовки при сварке, а также напряже-

ниями, возникающими в сварных швах. Основной метод термической обработки — отжиг, который проводят в электропечах, нагретых до температуры 180...200 °С (температура загрузки сварных заготовок), затем проводят нагрев до температуры отпуска: например, сварные станины станков нагревают до 640...660 °С со скоростью не более 50...60 °С/ч. Время выдержки заготовок составляет 1...2 ч. Заготовки охлаждают вместе с печью со скоростью 50...60 °С/ч до температуры 150...200 °С. Дальнейшее охлаждение ведут на спокойном воздухе. Применение термообработки позволяет уменьшить внутренние напряжения на 80...85 %.

4.2. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЧУГУННЫХ ЗАГОТОВОК

Чугуном называют железоуглеродистый сплав, содержащий более 2,14 % углерода. В зависимости от того, в какой форме в сплавах присутствует углерод, различают белый, серый, высокопрочный, ковкий чугун. Высокопрочный чугун — разновидность серого чугуна, но с повышенными механическими свойствами. В промышленности широко применяют серый, высокопрочный и ковкий чугун благодаря сочетанию высоких литейных свойств, прочности, износостойкости и низкой стоимости.

Наиболее распространенные серые чугуны (СЧ) хорошо работают на сжатие, но лимитируются прочностью при статическом растяжении (ГОСТ 1412—85). В марках серого чугуна цифры показывают уменьшенное в 10 раз значение предела прочности при растяжении в мегапаскалях (МПа). Статическая прочность чугуна при изгибе примерно в 2 раза, а при сжатии — в 4 раза выше, чем при растяжении. Механические свойства серых чугунов приведены в табл. 4.8.

Чугун марок СЧ10, СЧ15 предназначен для слабо- и средненагруженных деталей: крышки, фланцы, маховики, корпуса подшипников, суппорты станков и т. п. Чугун марок СЧ20, СЧ25 применяют для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: блоки цилиндров, картеры двигателей, поршни цилиндров, станины различных станков, крупные зубча-

Таблица 4.8

Механические свойства серых чугунов

Марка	Прочность при статическом растяжении σ_b , МПа	Твердость НВ
СЧ10	100	max 190
СЧ15	150	163... 210
СЧ25	250	180... 245
СЧ35	350	220... 275

тые колеса и др. Модифицированные серые чугуны СЧ30, СЧ35, обладающие более высокими механическими свойствами, используют для деталей, работающих при высоких нагрузках или в тяжелых условиях износа: зубчатые колеса, гильзы блоков цилиндров двигателей, шпиндели, распределительные валы и т. п. Чугун этих марок обладает наибольшей герметичностью, поэтому его применяют для корпусов насосов, компрессоров, арматуры тормозной пневматики и гидроприводов.

Отливки из серого чугуна подвергают термической обработке: для стабилизации размеров и формы и уменьшения внутренних напряжений в заготовке;

обеспечения твердости и износостойкости поверхности заготовки.

Виды термической обработки заготовок из чугуна следующие: отжиг, закалка, отпуск и старение.

Отжиг чугунных заготовок (отливок) проводят для снятия внутренних напряжений, возникающих при их изготовлении и вызывающих с течением времени изменение размеров и формы отливок, для снижения твердости, улучшения обрабатываемости резанием и повышения механических свойств. Основные виды отжига и их режимы для отливок из серого чугуна приведены в табл. 4.9.

После нормализации для снятия внутренних напряжений применяют высокий отпуск при температуре 650...680 °С с выдержкой 1,5...2 ч.

Закалка чугуна повышает твердость и его механические свойства. Существуют три вида закалки: обычная объемная, изотермическая объемная и поверхностная.

При *обычной объемной* закалке заготовки нагревают до температуры 850...950 °С, выдерживают в течение 1...3 ч и охлаждают в воде или масле. После закалки проводят отпуск при температуре 200...600 °С, в результате чего повышаются твердость, прочность и износостойкость чугуна. При *изотермической объемной* закалке температура и скорость нагрева (скорость зависит от конфигурации и сложности заготовки) такие же, как и при обычной объемной закалке, но выдержка составляет 10...90 мин, а охлаждение производят в ваннах с расплавленной солью при 200...400 °С. При этом повышаются твердость и прочность, но сохраняется пластичность. *Поверхностную* закалку заготовок выполняют нагревом поверхностного слоя кислородно-ацетиленовым пламенем, ТВЧ или в электролите; температура нагрева 900...1000 °С, охлаждение в воде, масле или масляной эмульсии.

Отпуск чугуна осуществляют при температуре 200...600 °С с охлаждением на воздухе. В результате повышаются твердость, прочность и износостойкость поверхностного слоя при наличии мягкой сердцевины.

Старение применяют для стабилизации размеров чугунных заготовок, предотвращения коробления и снятия внутренних на-

Режимы термообработки отливок из серого чугуна

Вид термообработки	Нагрев			Охлаждение	
	Скорость, °C/ч	Температура, °C	Время выдержки, ч	Скорость, °C/ч	Способ
Отжиг для снятия внутренних напряжений	50 ... 100	500 ... 570	1 ... 8 (в зависимости от массы и конструкции отливки)	20 ... 50	С печью до 200 °C, затем на воздухе
Смягчающий отжиг для улучшения обрабатываемости и повышения пластичности	—	680 ... 700	1 ... 4	Медленное для деталей сложной формы. Ускоренное для деталей простой формы	С печью
Нормализация	—	850 ... 950	1 ... 3	Ускоренное	На воздухе
				Для деталей сложной формы до температуры 600 ... 550 °C замедленное	С печью

Режимы старения заготовок из серого чугуна различных марок

Марка чугуна	Температура отжига, °С	Марка чугуна	Температура отжига, °С
СЧ15	510...530	СЧ30	560...580
СЧ20	540...560	СЧ35	610...630

Примечание. Продолжительность выдержки 2...5 ч.

пряжений в процессе механической обработки. Различают два вида старения: искусственное и естественное.

Искусственное старение выполняют после черновой обработки, когда снимают максимальные припуски и напуски с поверхности заготовки. Режимы искусственного старения приведены в табл. 4.10 и 4.11. Суммарная продолжительность термической обработки составляет 20...65 ч, при этом внутренние напряжения уменьшаются на 70 %.

Нагрев заготовок проводят в камерных электропечах, можно использовать печи на жидком и газовом топливе.

Для снятия внутренних напряжений и стабилизации размеров у точных (прецизионных) заготовок после полустойковой обработки выполняют еще одну термообработку — *естественное* старение. Заготовки консервируют и складывают на открытом воздухе. Продолжительность их вылеживания составляет 6...12 мес, при этом внутренние напряжения уменьшаются до 90 %. При изготовлении заготовок особо высокой точности применяют двукратное естественное старение. Второе старение производят после чистой обработки (перед отделочной обработкой) в течение 3...6 мес.

Для ускорения термической обработки иногда используют **метод термоудара**, который заключается в том, что заготовку после черновой обработки помещают в печь и нагревают со скоростью 300...1000 °С/ч. Заготовка при этом прогревается неравномерно,

Таблица 4.11

Режимы старения заготовок из серого чугуна различной массы

Масса, кг	Температура печи при загрузке, °С	Скорость нагрева, °С/ч	Температура выемки заготовок из печи, °С
Менее 500	150...200	100...150	200
500...2000	150	100	150
2000...7000	100	50...100	100

Примечание. Скорость охлаждения 30 °С/ч; для заготовок повышенной точности скорость охлаждения уменьшают в 1,5—3 раза.

поэтому, когда наиболее прогретые участки достигают требуемой температуры, заготовку вынимают из печи и охлаждают сжатым воздухом или смесью воздуха и воды до полного выравнивания температуры. При величине внутренних напряжений менее $0,25\sigma_B$ ограничиваются однократной обработкой. Если внутренние напряжения в заготовке более $0,25\sigma_B$, термоудар повторяют 3—4 раза. Общая длительность процесса в сравнении с обычным отжигом сокращается в 5—10 раз.

4.3. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ИЗ СПЛАВОВ

Химико-термической обработкой называют технологический процесс, при котором происходит изменение химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя заготовок вследствие диффузии в него различных элементов. Ее применяют для повышения твердости, износостойкости, усталостной прочности, контактной выносливости и защиты от коррозии. Наиболее распространенными видами химико-термической обработки являются насыщение поверхностных слоев стальных заготовок углеродом, азотом и этими элементами совместно.

Цементация — процесс диффузионного насыщения углеродом низкоуглеродистых сталей, имеющих содержание углерода менее 0,3 % и не подлежащих закалке из-за его низкого содержания: сталь 15, 20, 25, 15Х, 15ХФ, 12ХНЗА, 18Х2НЧМА, 20Х, 25ХГМ и др. После закалки цементируемых заготовок их поверхностный слой приобретает требуемую твердость и износостойкость, а сердцевина, содержащая 0,12...0,25 % углерода, остается вязкой, хорошо работающей на изгиб. Цементации (науглероживанию) обычно подвергают заготовки таких деталей, как зубчатые колеса, валы, пальцы, кулачки, червяки и т. п., работающих в условиях знакопеременных нагрузок и имеющих трущиеся поверхности сопряжения.

Цементацию выполняют в среде, называемой карбюризатором, который может быть в твердом, жидком и газообразном состоянии. В машиностроении в основном применяют два способа цементации: в твердом и газообразном карбюризаторах.

Цементацию заготовок в твердом карбюризаторе, как правило, применяют в единичном и мелкосерийном производстве. Для этой цели используют древесный уголь (зерна размером 3...10 мм) с добавлением карбоната бария (20...25 % массы угля) для ускорения процесса и карбоната кальция (3...5 %) для предотвращения спекания частиц угля. Цементацию проводят в камерных печах в специальных закрытых металлических ящиках, где размещены заготовки и твердый карбюризатор. Продолжительность нагрева 7...9 мин на каждый сантиметр минимального размера ящика, тем-

пература нагрева 910...930 °С. После цементации ящики охлаждают на воздухе и разбирают.

Цементация заготовок в газовой среде широко применяется в серийном и массовом производстве. Достоинство этого способа — получение стабильной заданной концентрации углерода в поверхностном слое и меньшей длительности процесса. В качестве карбюризатора используют смесь, состоящую из 20 % монооксида углерода, 40 % водорода и 40 % азота, или данную смесь с природным газом. Цементацию проводят в шахтных, муфельных или камерных электропечах, приспособленных для работы с данными газами. Нагрев заготовок проводят при температуре 850... 1000 °С; при нагреве активный углерод адсорбируется насыщаемой поверхностью, причем глубина цементируемого слоя зависит от продолжительности процесса и типа карбюризатора (табл. 4.12).

Поверхности заготовки, не подлежащие цементации, необходимо защитить от науглероживания. Как правило, защиту обеспечивают оставлением на этих поверхностях припуска 4... 5 мм, который перед закалкой удаляют. Содержание углерода в поверхностном слое нецементируемых поверхностей остается таким же, как в основном металле. Когда невозможно использовать такой способ защиты, применяют гальваническое меднение или защитные пасты. В серийном и массовом производстве меднение поверхностей выполняют глубиной до 30...48 мкм при цементируемом слое 0,8...1,2 мм и 48...70 мкм при цементируемом слое свыше 1,2 мм. В единичном и мелкосерийном производстве используют специальные пасты на основе жидкого стекла, толщина покрытия 0,3...0,5 мм. Перед закалкой покрытие и медный слой удаляют. Для получения требуемой твердости и прочности материала заготовки ее после цементации подвергают упрочняющей термической обработке. В зависимости от условий работы детали и марки стали режим термической обработки может быть разным.

Таблица 4.12

Режимы цементации

Требуемая толщина цементируемого слоя, мм	Продолжительность процесса, ч	
	Твердый карбюризатор	Газообразный карбюризатор
0,4...0,7	5...7	1...3
0,7...1,0	7...9	3...4
1,0...1,3	9...11	5...6
1,3...1,6	11...14	6...8
1,6...1,9	14...17	8...10

Непосредственной закалке подвергают заготовки из природно-мелкозернистой стали (18ХГТ, 25ХГТ и др.).

Такие заготовки можно закалывать без повторного нагрева непосредственно из печи после цементационного нагрева в газовом карбюризаторе при их подстуживании до температуры 840...860 °С. Закалывают заготовку в минеральном масле со скоростью охлаждения 100...120 °С/с. Такую комплексную термическую обработку выполняют на специальных агрегатах, которые кроме цементации и закалки обеспечивают также проведение низкотемпературного отпуска (при температуре 160...210 °С). Получаемая твердость поверхности 58...62 HRC и более. Помимо сокращения продолжительности термической обработки данный способ закалки позволяет уменьшить коробление заготовки.

Для тяжело динамически нагруженных деталей машин, сопрягаемые поверхности которых подвергаются трению, в результате термической обработки заготовок необходимо получить не только высокую поверхностную твердость, но и высокую прочность (например, для зубчатых колес — высокую прочность на изгиб), а также высокую ударную вязкость. В таких ответственных случаях цементированные заготовки подвергают двум последовательно проводимым закалкам и низкотемпературному отпуску. Режимы термической обработки стали различных марок приведены в табл. 4.13.

В процессе механической обработки точные заготовки из низкоуглеродистой стали после цементации, закалки и отпуска один или два раза подвергают стабилизирующему отпуску: первому — после чернового шлифования с температурой нагрева до 150...170 °С и выдержкой в печи в течение 6...14 ч в зависимости от требуемой твердости заготовки, второму — перед отделочной об-

Таблица 4.13

Режимы термической обработки цементуемых сталей

Марка стали	Температура, °С		
	закалки		отпуска
	1-я	2-я	
15X	880	770...820	180
15XФ	880	760...810	180
20X	865...890	770...820	180
30ХГТ	880	850	200
12ХН3А	845...875	760...810	190
12Х2Н4А	845...875	760...800	190
18Х2Н4МА	950	860	200

Примечание. Продолжительность отпуска 2...4 ч, твердость цементуемого слоя 55...62 HRC и более.

работкой (для особо точных деталей) с температурой нагрева до 150... 160 °С и выдержкой в печи в течение 8... 10 ч.

Азотирование — процесс диффузионного насыщения азотом поверхностного слоя заготовок. Азотированию подвергают среднеуглеродистую и легированную сталь марок 38Х2МЮА, 40Х, 40ХН2МА, 40ХФА и др. для повышения износостойкости, предела выносливости деталей машин (коленчатые валы, гильзы цилиндров, шестерни, валы, червяки и др.). До азотирования заготовки подвергают улучшению и чистовой обработке; после азотирования выполняют только тонкое отделочное шлифование (припуск на обработку 0,05... 0,1 мм) или притирку поверхностей. После снятия припуска уменьшается хрупкость азотированного слоя, однако при этом снижается его коррозионная стойкость.

Обычно азотирование проводят при температуре 500... 600 °С в специальных шахтных печах (муфелях или контейнерах), через которые пропускают аммиак и азот. На стальной поверхности происходит реакция с выделением ионов азота, который адсорбируется поверхностью детали и проникает внутрь. Процесс азотирования — весьма длительная операция. Так, при обычном азотировании стали 38Х2МЮА азотированную зону толщиной 0,4... 0,5 мм получают при температуре 510... 520 °С за 55 ч выдержки. Такую же толщину зоны можно получить за 40 ч, если применить двухступенчатый режим азотирования: при 510 °С — 15 ч, при 540... 550 °С — 25 ч. Режимы азотирования приведены в табл. 4.14.

Охлаждение заготовок во избежание окисления поверхности проводят вместе с печью в потоке аммиака до температуры 150... 200 °С. Дальнейшее охлаждение проводят на воздухе. После азотирования не требуется последующая термическая обработка деталей. Расход продуваемого аммиака значительный: в муфельных печах — 50 г на 1 кг азотируемых заготовок, в безмуфельных — до 250 г.

Таблица 4.14

Режимы азотирования заготовок

Марка стали	Температура азотирования, °С	Продолжительность выдержки, ч	Глубина азотированного слоя, мм	Твердость азотированной поверхности HV
38Х2МЮА	510	50... 55	0,2... 0,3	850... 1000
	510 (1-я ступень)	15	0,4... 0,5	850... 950
	540 (2-я ступень)	25		
40ХФА	500	45... 50	0,4... 0,5	610... 700
40Х	500	25... 30	0,2... 0,3	500... 610

По сравнению с цементацией азотирование дает более высокую твердость и износостойкость поверхности, однако его применяют гораздо реже вследствие большой длительности процесса и меньшей толщины упрочняемого слоя, что ограничивает величину контактных нагрузок на поверхности детали.

Рассмотренные методы химико-термической обработки требуют принудительной вентиляции, нарушают экологическую обстановку в цехе, загрязняют окружающий воздух.

Цианирование (нитроцементация) — это процесс одновременного диффузионного насыщения поверхности стальной заготовки углеродом и азотом. Исходной средой является смесь цементирующего газа с 3... 5 % аммиака. Азот способствует диффузии углерода, что позволяет несколько снизить температуру науглероживания. Цианирование можно проводить при температуре 820... 860 °С в ваннах с расплавленными солями, содержащими цианид натрия. За 1 ч выдержки заготовки при этой температуре можно получить диффузионный слой толщиной около 0,3 мм, который (после отпуска при температуре 180... 200 °С) имеет поверхностную твердость 58... 62 HRC и содержит 0,7 % углерода и 1 % азота. Цианированный слой по сравнению с цементированным имеет более высокую износостойкость.

Существенный недостаток цианирования — ядовитость цианистых солей, что требует применения специальных мер по охране труда и окружающей среды. В связи с этим разработаны низкотемпературные (530... 570 °С) процессы нитроазотирования расплавами нетоксичных солей — цианатов и карбонатов (карбонитрация).

Ионная химико-термическая обработка стальных заготовок — диффузионное насыщение поверхности азотом под влиянием тлеющего разряда на заготовке. В разреженной газовой среде между катодом (заготовкой) и анодом (вакуумной камерой) возбуждается тлеющий разряд в атмосфере аммиака, или смеси азота с водородом, или тщательно очищенном от кислорода азоте. К поверхности заготовки (катоде) устремляется поток заряженных частиц азота. При ударах ионов о катод выделяется теплота, за счет которой происходит разогрев поверхности детали. Рабочее давление в камере печи составляет 100... 1300 Па, напряжение 350... 500 В. При более высоком давлении в камере печи тлеющий разряд становится менее стабильным и чаще переходит в дуговой, что может вызвать перегрев поверхности заготовки и даже ее оплавление.

Основные режимы ионного азотирования заготовок из легированной стали марок 40X, 18XГТ, 38X2МЮА и др. следующие: температура 520... 550 °С; время выдержки 4... 5 ч — толщина азотированного слоя 0,15... 0,20 мм, 6... 9 ч — 0,2... 0,25 мм, 7... 12 ч — 0,25... 0,3 мм, 9... 18 ч — 0,3... 0,35 мм; твердость азотированной

поверхности 500...950 HV. По сравнению с газовым ионное азотирование имеет ряд преимуществ: продолжительность процесса сокращается в 3—4 раза, повышаются пластичность и ударная вязкость азотированного слоя (т.е. снижается его хрупкость), деформация обрабатываемой заготовки уменьшается в 1,5—3 раза.

Для многих деталей теплоэнергетического машиностроения требуются жаростойкие покрытия, их поверхность должна сопротивляться окислительному воздействию рабочей или окружающей среды. Традиционными способами получения таких покрытий являются алитирование (алюминирование), хромирование и силицирование в твердых, жидких и газообразных средах.

При насыщении поверхности заготовки металлами применяют порошковые смеси, состоящие из ферросплавов и активатора — хлорида аммония (металлизация в твердой среде). Жидкую металлизацию осуществляют погружением заготовки в расплавленный металл. При газовом способе насыщения применяют летучие хлориды алюминия, хрома, кремния и др. Поверхностное насыщение стальных заготовок происходит при температуре 900...1200 °С.

При **алитировании** концентрация алюминия в поверхностном слое толщиной 0,2...1 мм достигает 30...40 % при воздействии высоких температур: 900...1000 °С (выдержка 3...12 ч) в твердых сплавах и 700...800 °С (выдержка 45...50 мин) в жидких средах. В окислительной среде в поверхностном слое образуются пленки оксида алюминия Al_2O_3 , препятствующие проникновению кислорода в основной металл. Алитированию подвергают трубы, формы для литья цветных металлов, чехлы термопар, детали газогенераторных машин и др.

Хромирование проводят чаще всего в порошкообразных смесях при температуре 1000...1050 °С. Толщина хромированного слоя 0,15...0,2 мм при длительности процесса 6...15 ч. Хромированный слой состоит из карбида хрома и имеет высокую твердость 1200...1300 HV. Хромированные стали устойчивы к коррозии в 3 %-ном водном растворе хлорида натрия (морской воде). Хромирование высокоуглеродистых сталей делает их коррозионно-устойчивыми даже к воздействию 50 %-ной уксусной кислоты. Хромирование применяют для пароводной аппаратуры, клапанов, вентилях, деталей, работающих в агрессивных средах или подвергающихся интенсивному изнашиванию в процессе работы.

Силицирование — процесс насыщения поверхности стальной заготовки кремнием. Силицированный слой представляет собой твердый раствор кремния в железе и несмотря на низкую твердость (200...300 HV) и значительную пористость после его пропитки маслом при температуре 170...200 °С имеет повышенную износостойкость. В результате силицирования сталь приобретает высокую коррозионную стойкость в морской воде и различных кислотах. Силицирование можно проводить в твердых и газовых

средах. При газовом силицировании при температуре 1000 °С в течение 2...4 ч образуется слой толщиной 0,5...1 мм. Силицированию подвергают детали, применяемые в оборудовании химической, бумажной и нефтяной промышленности.

Борирование заготовок проводят для повышения стойкости стальных деталей к абразивному изнашиванию. Широкое распространение в промышленности получил метод электролизного борирования в расплавленных солях бария или в буре $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ при температуре 900...950 °С (заготовка является катодом).

Износостойкость борированной стали 45 в условиях трения скольжения в 4—6 раз выше износостойкости цементированных и в 1,5—3 раза нитроцементированных сталей.

Контрольные вопросы

1. Какие виды термической обработки вы знаете?
2. Как маркируются конструкционные углеродистые и легированные стали?
3. Что такое отжиг и нормализация и каково их назначение?
4. Что такое закалка и какова ее цель?
5. Какие способы закалки вам известны?
6. Что понимают под терминами «закаливаемость» и «прокаливаемость» стали?
7. Каковы способы термообработки, уменьшающие коробление при закалке?
8. Что представляет собой поверхностная закалка токами высокой частоты? В чем ее преимущества перед другими способами закалки?
9. Для чего выполняют отпуск? Какие виды отпуска существуют?
10. В чем особенность обработки сталей с остаточным аустенитом? Для чего выполняют термическую обработку холодом?
11. Каково назначение стабилизирующего отпуска? Когда его выполняют при обработке заготовок?
12. Что понимают под искусственным и естественным старением заготовок из серого чугуна? С какой целью осуществляют старение?
13. Какими методами выполняют закалку заготовок из серого чугуна?
14. Какие методы химико-термической обработки вам известны? С какой целью они применяются?
15. В чем заключается процесс цементации? Для закалки каких сталей необходим процесс цементации?
16. В чем сущность процессов азотирования и цианирования? Какова цель выполнения видов химико-термической обработки?
17. Что представляет собой процесс ионной химико-термической обработки? В чем его преимущество?
18. Что представляет собой процесс насыщения поверхности стальных заготовок различными металлами и силикатами?

ГЛАВА 5

СБОРКА ИЗДЕЛИЙ

5.1. ВИДЫ СОЕДИНЕНИЙ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Сборка — завершающий этап производства, от которого зависят качество изделия, его надежность и долговечность и на котором проявляются особенности взаимодействия собираемых деталей.

Сборка — трудоемкий процесс: в машиностроении трудоемкость сборочных операций составляет около 30...40 % всей трудоемкости изготовления изделия, так как уровень механизации и автоматизации сборки невелик (30 и 7...8 % соответственно) по сравнению с заготовительными процессами получения заготовок и их механической обработкой.

Процесс сборки состоит из двух этапов:

- подготовка деталей к сборке: очистка, промывка, сушка, консервация, выполнение слесарно-пригоночных работ, смазывание сопрягаемых поверхностей, если это необходимо по техническим условиям;

- выполнение соединений сопрягаемых деталей с обеспечением требуемой точности их сопряжения и взаимного положения.

Принимая во внимание различные признаки и особенности соединений, их классифицируют:

- по целостности соединения — на разъемные и неразъемные; к неразъемным относят соединения, разборка которых связана с нарушением сопрягаемых поверхностей;

- подвижности — на подвижные и неподвижные;

- форме поверхностей сопряжения — на плоские, цилиндрические, конические, сферические, винтовые, комбинированные;

- характеру площади контакта — на замкнутые и незамкнутые;

- методу образования соединений — на резьбовые, с зазором, прессовые (с натягом), клепаные, сварные, клеевые и т.п.

Соединения с зазором (цилиндрические, по плоскостям, комбинированные, шлицевые и шпоночные) — разъемные соединения, в зависимости от назначения сопрягаемых деталей могут быть подвижными и неподвижными. Соединения с зазором, как правило, выполняют вручную. В условиях массового и крупносерийного производства сборку цилиндрических соединений несложно автоматизировать — к настоящему времени разработаны и вне-

дрены технологические процессы автоматической сборки таких соединений и созданы типовые исполнительные сборочные механизмы.

Для удобства выполнения сопряжения на торцах сопрягаемых поверхностей необходимо создавать фаски f размером $0,5 \dots 1,5$ мм с углом 45° (рис. 5.1, *a*), которые облегчают центрирование сопрягаемых поверхностей в начале сопряжения. При выполнении сопряжений по нескольким поверхностям (шлицевые и шпоночные соединения) сопрягаемые поверхности должны быть совмещены в угловом положении с точностью, определяемой зазором сопряжения.

Особую сложность вызывает выполнение цилиндрических соединений с малыми диаметральными зазорами ($\Delta < 0,03$ мм), поскольку в этом случае фактический зазор в соединении может уменьшаться из-за погрешности формы Δ_ϕ сопрягаемых поверхностей (овальность, трехгранность, конусность, бочко-, седлообразность) и погрешностей их взаимного положения $\Delta_{п.п}$ (искривление оси, несоосность (для многоопорных валов), непараллельность осей). При неблагоприятном сочетании этих погрешно-

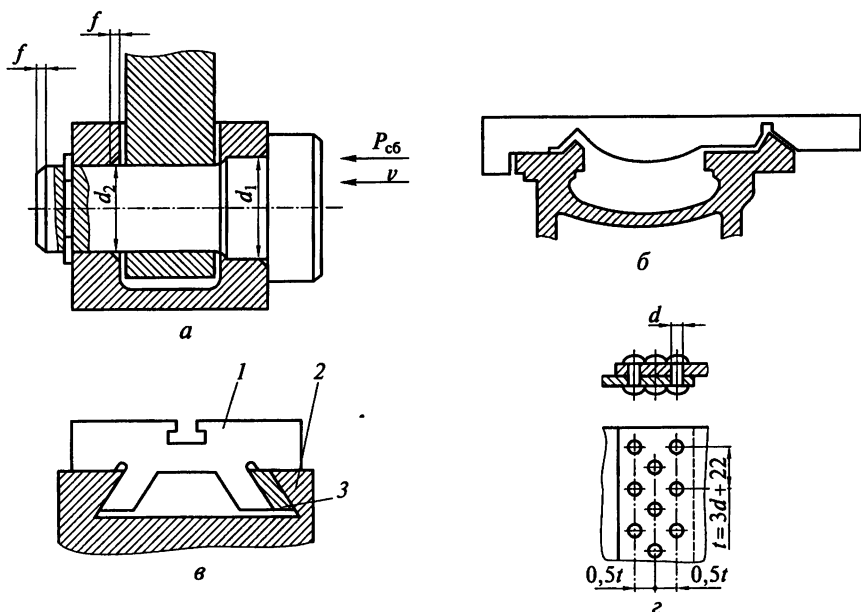


Рис. 5.1. Примеры соединений:

a — цилиндрических с зазором: d_1, d_2 — диаметры соединения; $P_{сб}$ — сборочная сила; v — скорость выполнения соединения; f — катеты фасок; *б, в* — по плоским поверхностям: 1 — каретка; 2 — суппорт; 3 — клин; *г* — клепаных: d — диаметр стержня заклепки; t — шаг (расстояние между заклепками)

стей сопрягаемых поверхностей в момент выполнения соединения величина фактического зазора может составить

$$\Delta_{\text{факт}} = \Delta - \sqrt{\sum \Delta_{\text{ф}}^2 + \sum \Delta_{\text{п.п.}}^2},$$

где Δ — диаметральный зазор; $\sum \Delta_{\text{ф}}$ и $\sum \Delta_{\text{п.п.}}$ — суммарные значения погрешностей формы и пространственного положения сопрягаемых поверхностей.

Для облегчения сборочного процесса присоединяемой детали дополнительно к поступательному движению со скоростью v (см. рис. 5.1, а) сообщают вращательное движение: вручную, медленно поворачивая деталь в обе стороны, а при автоматической сборке — специальным приводом с частотой 30...60 мин⁻¹.

Соединения с зазором по плоским поверхностям бывают неподвижные и подвижные (рис. 5.1, б, в). При сборке последних необходимо обеспечить плотность прилегания сопрягающихся поверхностей в любом рабочем положении деталей, легкость и плавность перемещения одной детали относительно другой.

Первое требование зависит от точности формы сопрягаемых поверхностей (плоскостности), их шероховатости, взаимного расположения, точности их размеров. Если после механической обработки плотность прилегания не обеспечена, при сборке применяют методы индивидуальной пригонки — шабрение, притирку. Плотность прилегания плоскостей проверяют по краске — по числу пятен контакта на площадке размером 25 × 25 мм. При соединениях нормальной точности число пятен контакта должно быть не менее 10, для прецизионных — 18—25.

Легкость и плавность перемещения одной детали относительно другой зависит от величины и равномерности зазора на всей длине сопряжения. Поскольку такое требование (особенно при зазорах менее 0,01...0,02 мм) обеспечить механической обработкой, как правило, невозможно, при сборке применяют метод регулировки с подвижным компенсатором или метод индивидуальной пригонки. На рис. 5.1, в показано соединение типа «ласточкин хвост» каретки 1 с направляющими суппорта 2, в котором зазор регулируется передвиганием клина 3 за счет конусности одной стороны 1:50 или 1:100.

Соединения с натягом (прессовые) — цилиндрические, по плоскостям и комбинированные — это неподвижные соединения. Поскольку размер сопрягаемой поверхности охватываемой детали больше, чем у охватывающей, соединение происходит за счет упруго-пластического деформирования сопрягаемых поверхностей, создающего удельное давление. Соединения с натягом (установка шариковых подшипников на валы, подшипников скольжения в корпус, поршневых колец на поршень и т.п.) широко распространены в машиностроении — 10...17 % общего числа соединений.

По способам получения таких соединений их условно делят: на продольно-прессовые, получаемые запрессовкой; поперечно-прессовые, получаемые тепловой сборкой (нагрев охватывающей или охлаждение охватываемой детали); продольно-прессовые с применением вибрационно-импульсного воздействия (продольных или крутильных колебаний разной частоты) и др.

Поскольку выполнение соединений с натягом требует применения различного оборудования (прессы, печи или ванны, холодильные камеры, вибрационные преобразователи), сборочный процесс обычно механизирован или автоматизирован (в массовом и крупносерийном производстве).

Сварные соединения — это неразъемные соединения, полученные посредством создания межатомных связей между соединяемыми поверхностями деталей при их местном или общем нагреве, или пластическом деформировании, или совместными действиями того и другого.

Применение сварных соединений расширяется благодаря их преимуществам перед механическими соединениями: уменьшение массы конструкций, обеспечение герметичности соединений, снижение трудоемкости сборки и механической обработки, возможность механизации и автоматизации процессов сварки. К недостаткам сварных соединений можно отнести сложность, а иногда и невозможность сварки разнородных металлов, выделение большого количества теплоты и вследствие этого создание значительных внутренних напряжений, вызывающих коробление сварной конструкции, недостаточную прочность соединений при вибрационных и динамических нагрузках.

Паяные соединения, как и сварные, получают созданием межатомных связей между сопрягаемыми поверхностями при помощи расплавленного припоя, при нагреве материалов деталей ниже температуры их плавления.

Пайкой можно соединять детали из разнородных металлов, а также из металлов и стекла, керамики, графита и других неметаллических материалов.

К достоинствам паяных конструкций можно отнести сохранение структуры и свойств металлов соединяемых деталей, возможность соединения за один прием множества деталей и т. п., к недостаткам — ограниченную механическую прочность соединений, значительную стоимость припоев, возникновение вредных испарений флюсов, припоев и др.

Клеевые соединения — неразъемные соединения, получаемые нанесением клеев (адгезивов) на сопрягаемые поверхности. Прочность соединения обеспечивают адгезионными (между поверхностью деталей и клеевым слоем) и когезионными (внутри самого клея) силами.

Клеевые соединения получили распространение благодаря появлению анаэробных (застывающих без доступа воздуха) и других (эпоксидных, полиуретановых) видов клеев нового поколения. Клеевые соединения отличаются надежностью и прочностью (особенно соединения, работающие при статическом нагружении), возможностью соединения разнородных материалов.

Применение клеевых соединений уменьшает объем механической обработки, в ряде случаев массу изделия и себестоимость его изготовления. К недостаткам клеевых соединений относят низкую прочность на отрыв (отдир, расслаивание), «старение» некоторых клеев с течением времени, меньшую долговечность по сравнению со сварными и клепаными соединениями, длительный срок полимеризации у некоторых клеев и незначительную тепловую стойкость.

Клепанные соединения (рис. 5.1, з) — неразъемные соединения, получаемые за счет деформации заклепок или остаточной деформации конструктивных элементов деталей.

Клепкой получают соединения деталей из разнородных и трудносвариваемых материалов; термообработанных и окончательно обработанных точных деталей, для которых недопустим нагрев; деталей, подверженных вибрации и ударным нагрузкам. Часто клепанные соединения применяют в конструкциях, работающих при высоких и низких температурах, а также для получения прочных соединений, способных выдерживать большие нагрузки (например, в самолетостроении).

К недостаткам клепанных соединений можно отнести высокую трудоемкость их изготовления, ослабление деталей отверстиями под заклепки, концентрацию напряжений и нарушение гладкости поверхности. Процесс клепки производит большой шум, а вибрация клепального молотка при ручной сборке воздействует на руки рабочего и после нескольких лет работы вызывает профессиональные заболевания.

Резьбовые соединения в конструкциях машин составляют 15...25 % общего числа соединений. Такая распространенность объясняется их простотой, надежностью, удобством регулирования силы затяжки, возможностью разборки и повторной сборки соединений без замены деталей. Широко применяют резьбовые соединения для обеспечения неподвижности, прочности и герметичности соединения деталей по плоским стыкам, правильной установки сопрягаемых деталей, регулирования взаимного положения деталей. Трудоемкость сборки резьбовых соединений составляет 25...35 % общей трудоемкости сборочных работ. В связи с этим механизация сборки резьбовых соединений — одна из актуальных задач современного машиностроения.

Выполнение резьбовых соединений с использованием механизированного резьбозавертывающего инструмента облегчает тяже-

лый монотонный труд рабочих-сборщиков и повышает качество сборки. Резьбовые соединения выполняют при помощи шпилек, болтов, винтов.

5.2. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ ПРИ СБОРКЕ

Для снижения трудоемкости сборочных работ необходимо, чтобы в конструкции было до минимума сокращено количество деталей и составных частей без снижения технических и эксплуатационных характеристик изделия, что достигается применением различных вариантов конструкционных решений, других типов соединений, стопорения и т. п. Конструкция изделия должна обеспечивать удобство ее сборки и разборки, для чего:

- на концах сопрягаемых поверхностей собираемых деталей предусматривают фаски и заходные пояски и расточки;

- обеспечивают удобный подвод сборочного инструмента, удобный доступ к местам контроля и регулировки и к быстроизнашивающимся деталям для их замены;

- предусматривают специальные съемные элементы (буртики, резьбовые отверстия), используемые при демонтаже;

- создают асимметричные элементы (штифты, болты, канавки и т. п.), обеспечивающие единственное положение собираемых деталей, подвергающихся многократной разборке при окончательном монтаже (разъемные корпуса редукторов, корпуса подшипников и т. п.).

Конструкция изделия должна предусматривать возможность его расчленения на рациональное число составных частей (сборочных единиц), сборку которых можно производить независимо друг от друга, что позволяет сократить сборочный цикл, поскольку отдельные сборочные единицы (узлы) могут собирать параллельно (одновременно) разные рабочие-сборщики. Кроме того, отдельно собранные сборочные единицы могут быть проконтролированы и испытаны. Желательно, чтобы при сборке был соблюден принцип полной взаимозаменяемости. Один из важнейших показателей технологичности — полное устранение или сокращение до минимума пригоночных работ, разборки и повторной сборки, механической обработки в процессе сборки. Использование стандартных, нормализованных и унифицированных сборочных единиц и деталей позволяет применять покупные изделия (узлы и детали) и сократить время на разработку этих конструкций и технологическую подготовку производства. Конструкция изделия должна предоставлять возможность механизации и автоматизации сборочных работ. Для автоматической сборки особенно важно соблюдение принципа постоянства установочных баз на всех сборочных операциях, одно направление сборочного движения и от-

сутствие кантования собираемого изделия в процессе сборки. В конструкции изделий большой массы (более 20 кг) необходимо рационально разместить такелажные устройства, с тем чтобы обеспечить легкость и удобство их захвата грузоподъемным оборудованием.

5.3. ПОДГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ К СБОРКЕ

Перед выполнением соединений деталей необходимо провести подготовку деталей к сборке, к которой относятся подготовительные работы (разметка, зачистка, правка) и слесарно-пригоночные работы (опиливание, шабрение, притирка, полирование, обработка отверстий).

Разметка — слесарная операция для нанесения осевых линий отверстий, обрабатываемых при сборке, обозначения границ положения собираемых деталей после выверки и т.п. Разметка — сложная и трудоемкая операция, выполняемая высококвалифицированными рабочими-разметчиками. Основными инструментами разметчика служат чертилка, кернер, разметочный штангенциркуль, рейсмас и штангенрейсмас. На рис. 5.2, а представлена конструкция универсального штангенрейсмаса, имеющего четыре иглы 4, настраиваемых на соответствующие размеры. Такой штангенрейсмас может проводить одновременно несколько рисок. При разметке применяют универсальный разметочный штангенциркуль. На рис. 5.2, б показано его применение для очерчивания дуг и окружностей, центр которых расположен в разных плоскостях. Штангенциркуль устанавливают в центрирующую вставку 6, которую подбирают из имеющегося набора по диаметру отверстия детали. Затем опускают заостренный стержень 1 на размечаемую поверхность и производят выверку штангенциркуля в горизонтальной плоскости по уровню 3. После этого закрепляют стержень 1 винтом и производят разметку.

Проведенные риски у центра будущих отверстий накернивают кернером ударами молотка. Для повышения производительности и точности при накернивании и облегчения труда разметчика применяют полуавтоматические (механические, электрические, пневматические) кернеры, а также особые кернеры для точного накернивания. На рис. 5.2, в показан электрический кернер, действие которого основано на работе электромагнита. При накернивании достаточно установить острие кернера на размечаемую поверхность и произвести рукой легкий нажим на корпус 1, при этом боек 2 ударяет по кернеру 7. В результате удара на поверхности детали образуется углубление (точка) размером 0,2...0,3 мм. Удар бойка происходит при замыкании электрической цепи через шайбу 6 и штифты 4, вследствие чего создается магнитное поле,

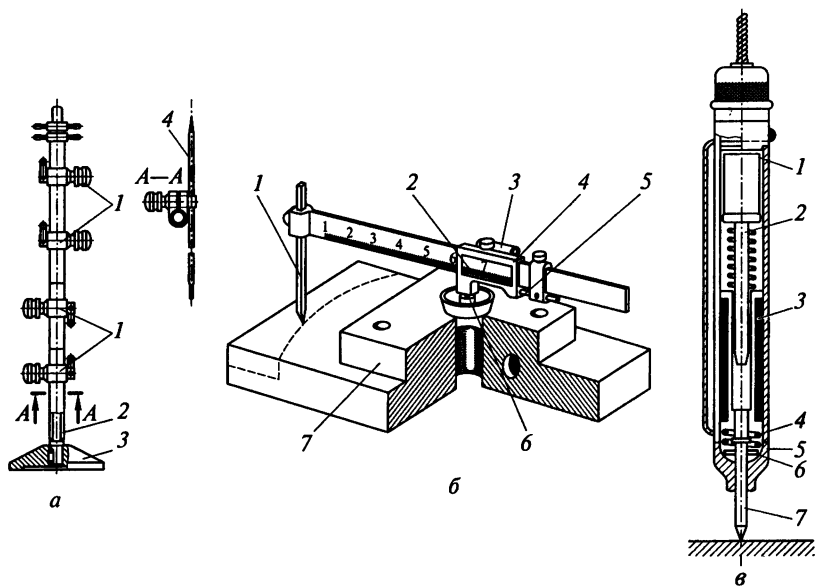


Рис. 5.2. Инструмент, применяемый при разметке:

a — универсальный штангенрейсмас: 1 — крепление иглы; 2 — стойка; 3 — основание; 4 — игла; *б* — универсальный разметочный штангенциркуль: 1 — заостренный стержень; 2 — нониус; 3 — уровень; 4 — каретка; 5 — микрометрический винт; *б* — центрирующая вставка; 7 — деталь; *в* — электрический кернер: 1 — корпус; 2 — боек; 3 — катушка; 4 — штифт; 5 — пружина; 6 — шайба; 7 — кернер

и боек, являющийся сердечником, втягивается в катушку 3. При отрыве кернера от поверхности электрическая цепь размыкается, и пружина сердечника возвращает его в исходное положение.

Зачистка деталей перед сборкой включает в себя собственно зачистку поверхностей для снятия мелких дефектов (заусенцев, легких царапин, рисок), промывку деталей в ванне в различных водных растворах или ручное обезжиривание тампоном, обдувку сжатым воздухом или сушку в камерах. Если детали или сборочные единицы (например, шариковые подшипники) поступают на сборку в законсервированном состоянии в упаковке, в подготовительные работы входят распаковка и расконсервация.

Зачистку проводят личным напильником с мелом, шкуркой, оселком. Для местной зачистки закаленных и точно обработанных сталей используют квадратные, плоские, трехгранные, круглые или полукруглые абразивные бруски. Работают такими брусками с применением минерального масла, керосина или скипидара. После работы напильниками поверхности обычно зачищают абразивными шкурками. Для деталей из стали, твердой бронзы, ковкого чугуна и твердых сплавов применяют мелкозернистые шкурки из

электрокорунда (№ 4—6). Для хрупких и мягких металлов — чугуна, бронзы, алюминиевых сплавов — используют шкурки с карбидом кремния (№ 5—10). Для очень тонкой зачистки применяют шкурки зернистостью М10—М28.

Для соблюдения правил безопасности труда рабочих операции зачистки необходимо производить на специально отведенном участке с вытяжной вентиляцией, изолированном от рабочих мест сборщиков.

Правка и гибка — это операции, предназначенные для придания деталям формы в соответствии с техническими требованиями.

Правке подвергают листы, полосы, прутковый материал, трубы, проволоку из стали и цветных металлов перед сваркой, клепкой и т.п., а также металлические стальные конструкции. При правке используют различные правильные вальцы, прессы, в том числе гидравлические и пневматические, специальные приспособления. Обычно правку производят в холодном состоянии. Но иногда необходим местный подогрев выправляемых деталей или узлов. Так, при правке сварных узлов применяют местный нагрев отдельных поясов конструкции, что позволяет выполнять правку только за счет усадки металла. Правку можно проводить вручную ударами молотка, используя универсальные приспособления для закрепления детали.

Гибочные работы при сборке выполняют в связи с гибкой труб для различных трубопроводов. Медные и латунные трубки диаметром до 8 мм с радиусами гибки более 10...12 мм гнут вручную в холодном состоянии по шаблону. Стальные трубы гнут в приспособлениях или на трубогибочных станках. В этих случаях гибку осуществляют по принципу штамповки или обкатывания роликами. На рис. 5.3, а, б представлены схемы гибки труб по принципу штамповки: в разъемном штампе-шаблоне 2 и в раздвижной матрице 4, когда необходимы большие радиусы изгиба труб с большими диаметрами. Гибка труб методом обкатки возможна с закреплением одного конца трубы (рис. 5.3, в) — раскатывающий ролик 5 растягивает наружные волокна, с свободным перемещением трубы (рис. 5.3, г) — наружные волокна сжимаются, с закреплением отгибаемого конца трубы 3 на ролике 5 (рис. 5.3, д). В массовом и крупносерийном производстве для гибки труб применяют трубогибочные полуавтоматы.

Для предотвращения искажения профиля трубы при гибке внутри нее устанавливают дорн. Для труб диаметром более 20 мм вместо дорна используют песок или канифоль. Песок должен быть мелким и сухим и плотно утрамбован внутри трубы, чтобы не было морщин и вмятин при изгибе. Трубы диаметром более 20 мм гнут с нагревом в месте изгиба на длине, примерно равной $\alpha d/15$, где α — внешний угол изгиба; d — наружный диаметр трубы. Стальные трубы нагревают до ярко-красного цвета, алюминиевые — до тех пор,

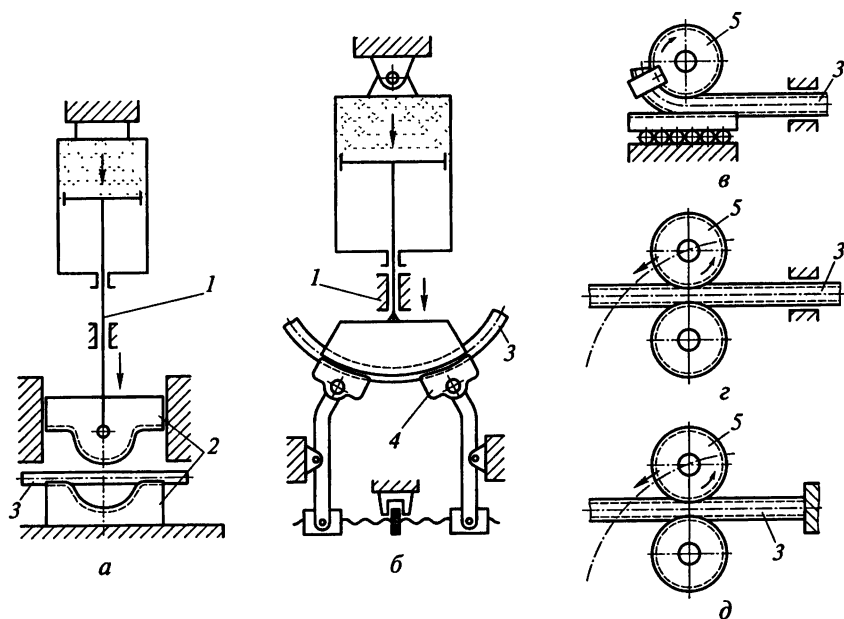


Рис. 5.3. Схемы гибки труб по принципу штамповки (а, б) и методу обкатывания (в—д):

а — гибка в разъемном штампе; б — гибка в раздвижной матрице; в — труба закреплена; г — труба свободно перемещается; д — труба закреплена на ролике; 1 — шток; 2 — штамп-шаблон; 3 — труба; 4 — раздвижная матрица; 5 — ролик

пока бумага при прикосновении к трубе не начнет обугливаться. Медные трубы перед гибкой должны быть отожжены.

Правильность и точность гибки труб проверяют по шаблону-этalonу методом визуального сравнения или по макету — деревянной болванке, рабочая поверхность которой отражает конфигурацию и положение торцев труб.

Опиливание — слесарно-пригоночная операция, применяемая для обработки плоскостей, сложных поверхностей, пазов и выступов при подгонке соединений. Опиливанием снимают припуски на детали-компенсаторе под размер, производят удаление неровностей, забоин, сколов, заусенцев.

Опиливание считается грубым, если необходимо удалить слой металла более 0,2 мм. При тонком опиливании слой снимаемого металла редко превышает 0,1 мм, при этом может быть достигнута точность в пределах 0,02 мм. Во всех случаях после опиливании поверхность зачищают. Для опиливании применяют такой же инструмент, что для зачистки. Для механизации работ по опиливанию и зачистке используют верстачные или переносные установки с гибким валом, переносные пневматические и электрические машины, работающие со шлифовальными кругами.

В некоторых современных переносных машинах линейная скорость на периметре шлифовального круга достигает 75 м/с, что соответствует частоте вращения примерно 8000 мин^{-1} при диаметре круга 180 мм.

Опиливание, как и зачистку, необходимо производить на специальных участках, изолированных от рабочих мест сборщиков, для соблюдения условий охраны труда.

Шабрение — слесарный метод отделочной обработки, при котором шабером соскабливают тонкие (около 0,005 мм) слои металла с поверхности детали для получения высокой точности формы (плоскостности) поверхности.

При шабрении последовательно срезают металл с выступающих участков поверхности, соприкасающихся с сопрягаемой поверхностью при проверке на краску. Выступающие участки постепенно становятся все мельче («разбиваются»), пока количество пятен соприкосновения не достигнет требуемого числа.

Шабрением можно получить высокую точность: отклонение от плоскостности и прямолинейности поверхностей до 0,002 мм на 1 м длины (до 30 пятен на площади $25 \times 25 \text{ мм}$). Шабрение считают грубым, если число пятен равно 5—6 (шероховатость более $Ra 1,6 \text{ мкм}$), чистовым — 6—10 (шероховатость $Ra 1,6 \text{ мкм}$), точным — 10—14 (шероховатость $Ra 0,8 \text{ мкм}$), тонким — более 22 (шероховатость Ra до 0,08 мкм).

В процессе сборки шабрят плоские поверхности (рис. 5.4, а, б) (плоскости разъема, направляющие) и цилиндрические поверхности (вкладыши подшипников, втулки и т. п.), когда требуемую точность (табл. 5.1) невозможно обеспечить механической обработкой.

После шабрения плоскости проверяют на краску при помощи точных чугунных проверочных плит. Число проверок при шабрении обусловлено величиной припуска под шабрение, качеством поверхности и требуемой точностью шабрения. Для точных подшипников скольжения (вкладышей) обычно выполняют от двух до шести проверок.

Результаты шабрения можно оценить также «на блеск»: при натяжке вкладышей или проворачивании вала на два-три оборота

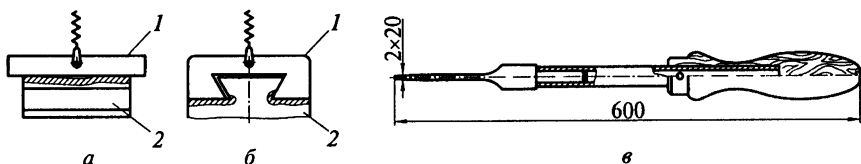


Рис. 5.4. Шабрение:

а — плоскости; б — плоскостей типа «ласточкин хвост»; в — ручной плоский шабер; 1 — шабровочная плита; 2 — деталь

Контроль поверхности деталей после шабрения

Поверхность	Требуемое число пятен на площади 25×25 мм
Вкладыши подшипников шпинделей	18—20
Направляющие станин станков нормальной точности в зонах: частых перемещений периодических перемещений	10—12
	8—10
Направляющие станин прецизионных станков в зонах: частых перемещений периодических перемещений	16—28
	10—12
Подшипниковые втулки средней точности	12—16

участки касания поверхностей начинают блестеть и становятся заметными.

Шабрение выполняют ручными шаберами движением шабера по поверхности (при снятии стружки) «от себя» или «на себя». У второго способа шабрения выше производительность, он обеспечивает меньшую высоту микронеровностей поверхности за счет рационального распределения силы, прикладываемой к шаберу, и его повышенной упругости.

Шабер — ручной инструмент, имеющий различный профиль: плоский, канавочный, трехгранный, полукруглый и др. (рис. 5.4, в). Они бывают цельные и насадные. Для механизации процесса шабрения разработаны электрические шабровочные машины, однако на практике их применяют крайне редко.

Шабрение поверхности целесообразно производить под углом 30...45° к рискам и следам, оставшимся от предыдущей обработки. В практике широкое распространение получил шахматный способ шабрения, при котором шабер движется при каждом проходе под углом, но в разные стороны, что создает карманы для смазывания трущихся поверхностей.

Таблица 5.2

Величина минимальных припусков на шабрение плоскостей

Ширина плоскости, мм	Припуски на шабрение, мм, при длине плоскости, мм				
	100...500	500...1000	1000...2000	2000...4000	4000...6000
До 100	0,1	0,15	0,20	0,25	0,3
100...500	0,15	0,20	0,25	0,3	0,40
500...1000	0,16	0,25	0,35	0,45	0,50

Припуски на шабрение отверстий

Диаметр отверстия, мм	Припуски на шабрение, мм, при длине отверстия, мм		
	До 100	100... 200	200... 300
До 80	0,03	0,05	0,10
80... 180	0,05	0,10	0,15
180... 360	0,10	0,15	0,20

Припуски на шабрение задают в зависимости от размеров пришабриваемых поверхностей (табл. 5.2 и 5.3).

При шабрении стали и других металлов, кроме чугуна, применяют мыльную эмульсию, керосин. Чугун шабруют всухую.

Шабрение — очень трудоемкий процесс, и там, где это возможно, его следует заменять другими более производительными методами механической обработки: тонким разворачиванием, растачиванием, хонингованием для цилиндрических поверхностей, тонким строганием, фрезерованием однозубой фрезой (см. гл. 3).

Притирка представляет собой процесс резания абразивными зернами, находящимися между поверхностями детали и притира. Движение притира относительно поверхности детали вызывает внедрение зерен абразива в поверхность детали и срезание ее микронеровностей. При этом одновременно происходит окисление поверхностей и возникает их наклеп. Для притирки на поверхностях деталей оставляют припуски 0,03... 0,05 мм. Существуют два способа притирки деталей:

- одной детали по другой (например, притирка клапанов к седлам тракторных двигателей);
- каждой детали по притиру.

Ручная притирка является очень трудоемкой операцией, особенно это относится к сборке на заводах мелкосерийного производства. При сборке крупных кузнечно-прессовых машин 17... 28 % общей трудоемкости сборки составляет пригонка плоскостей, 6... 7 % — пригонка внутренних цилиндрических поверхностей. При сборке прецизионных координатно-расточных станков пригоночные работы составляют не менее 20... 25 %. Для повышения производительности и сокращения трудоемкости сборочных работ притирку целесообразно выполнять механизированным инструментом, а в крупносерийном производстве применять притирочные станки, обработка на которых подробно рассмотрена в подразд. 3.9.

Примеры притирки с использованием механизированного инструмента представлены на рис. 5.5. Притирку плоских поверхностей можно выполнять при вращающемся или неподвижном притире (рис. 5.5, а) при сложной траектории притираемых деталей.

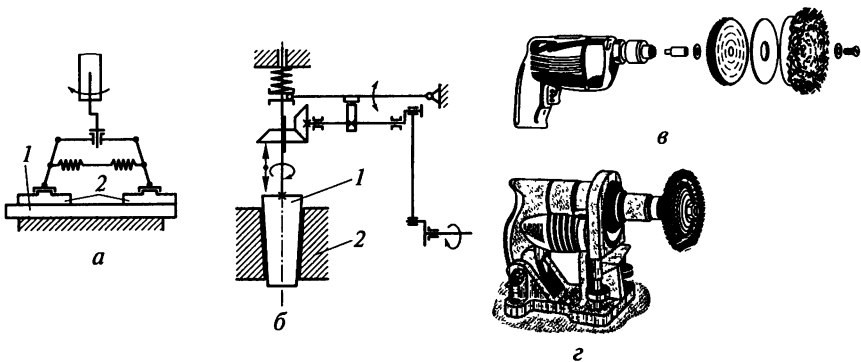


Рис. 5.5. Механическая притирка:

а — с вращением и осевым движением притира; *б* — конусов; *в*, *г* — универсальные полировальные головки, переносная и стационарная (верстачная) соответственно; *1* — притир; *2* — притираемые детали

Притирку сопрягающихся цилиндрических и конических пар выполняют сообщая притиру или валу (рис. 5.5, *б*) вращательное и осевое движение. Притирочную массу равномерно наносят на поверхность конусной детали (обычно конусные сопряжения притирают без применения притиров).

Притирами служат плиты, бруски, конусы, втулки и т. п. Притиры изготавливают из более мягкого материала, чем материал притираемых деталей. Чугунные притиры применяют для притирки стальных деталей (лучшее качество обеспечивают притиры из серого чугуна с перлитоферритной структурой), стальные — для чугунных деталей, стеклянные — для деталей из цветных сплавов.

Притирочные порошки выбирают в зависимости от обрабатываемого материала: для стальных деталей — наждак и корунд, для чугуна и бронзы — толченое железо. Состав СОЖ при притирке также выбирают в зависимости от материалов притираемых деталей. Так, для притирки стальных деталей целесообразно применять машинное масло или техническое сало, для деталей из чугуна — керосин или смесь керосина с олеиновой кислотой.

Для окончательной доводки поверхности вместо шлифующих порошков применяют пасты ГОИ. Грубую и среднюю пасту с большой притирающей способностью используют для притирки, а тонкую — для доводки и полирования. Широко распространены и другие виды доводочных паст, в ряде случаев доводку проводят алмазными пастами. При доводке поверхности используют пасты различных марок с постепенным переходом от крупнозернистых (АП40—АП28) к мелкозернистым (АП20—АП10).

Полирование поверхностей в сборочных цехах и участках производят вручную с применением универсального механизированного инструмента. Полирование обеспечивает высокое качество

поверхности, заглаживание рисок от предшествующей обработки, благотворно сказывается на износостойкости, усталостной прочности деталей и повышает их антикоррозионные свойства. Полирование позволяет обнаружить дефекты поверхностного слоя — трещины, волосовины, флокены, которые на менее чистых поверхностях обычно незаметны.

Припуск под полирование оставляют очень небольшим (0,005... 0,007 мм). Полирование осуществляют переносными или стационарными головками (рис. 5.5, в, г) при помощи эластичных кругов, вращающихся со скоростью 30... 50 м/с. Круги изготавливают из войлока, хлопчатобумажной ткани, сульфитоцеллюлозной оберточной бумаги. На рабочую поверхность круга наносят абразивную смесь с жидким наполнителем или мастику из вяжущего вещества и полировального порошка. Для уменьшения шероховатости поверхности используют круги с графитовым наполнителем и алмазные эластичные полировальные ленты. В процессе сборки при местном полировании галтелей, канавок, внутренних сфер и других поверхностей сложных форм, особенно в труднодоступных местах, целесообразно применять гибкие полировальники. Они имеют чашечную форму, абразивный материал вкрапливается в эластичную связующую массу.

Операции полирования следует выполнять отдельно от процесса сборки на специально отведенных постах, желательно в изолированных помещениях.

Обработку отверстий при сборке изделий выполняют в следующих случаях:

- требуемую точность достигают при совместной обработке двух или большего числа деталей в сборе (рис. 5.6, а, в);
- место отверстия труднодоступно для обработки на станке (центрирование штифтами отдельных узлов: редуктора, опор барабана и т. п. — на плите или раме после выверки их положения (рис. 5.6, б));
- отверстие не было предусмотрено при механической обработке (например, постановка пробок при обнаружении пористости в литых корпусных деталях, если это допускается техническими требованиями).

Для обработки отверстий применяют электрические и пневматические сверлильные машины. Для обработки отверстий диаметром до 10... 12 мм они могут быть переносными (электродрели). Для более крупных отверстий используют небольшие станки на колонках или стационарные станки на фундаменте. Обычно сборочные цехи имеют несколько сверлильных станков, установленных вблизи сборочных позиций.

Погрешности при сверлении часто возникают из-за неправильного закрепления сверла в патроне, поэтому сверло после установки необходимо проверить на биение.

В единичном и мелкосерийном производстве крепежные отверстия при сборке сверлят по размеченным накерненным отверстиям с обязательной предварительной зацентровкой. В крупных корпусных деталях (станины, рамы, плиты) применяют также обработку отверстий по так называемой подметке: отверстия в базовой корпусной детали размечают по обработанным отверстиям присоединяемой детали после выверки их взаимного положения. В массовом и крупносерийном производстве крепежные отверстия обрабатывают по кондукторам в механических цехах.

При совместной обработке точных отверстий по 7-му качеству точности в двух собираемых деталях под штифты диаметром до 10 мм необходимо выполнить сверление, снятие фаски, развертывание. При диаметре отверстия более 10 мм после сверления выполняют зенкерование и два развертывания отверстия. Детали или узел, в которых выполняют развертывание, должны быть правильно и жестко закреплены, поскольку их смещение может вызвать перекоп отверстия или его эксцентричную обработку. Следует внимательно следить за состоянием режущих зубьев развертки, так как плохо заточенные кромки вызывают образование рисок и задигов на обрабатываемой поверхности, причиной их могут быть также большой припуск на развертывание или применение несоответствующей СОЖ. Для развертывания отверстий электрические и пневматические машины должны быть оснащены дополнительными редукторами, понижающими частоту вращения инструмента до $30 \dots 50 \text{ мин}^{-1}$.

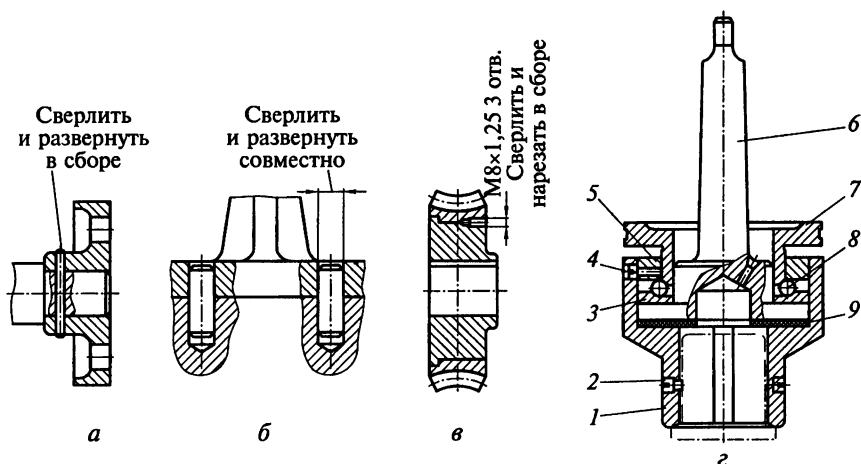


Рис. 5.6. Соединения с обработкой крепежных отверстий при сборке:

а — с коническим штифтом; *б* — с цилиндрическим штифтом; *в* — с резьбовым стопорным винтом; *г* — предохранительный патрон для нарезания резьбы: 1 — корпус; 2, 4 — винты; 3 — подушка; 5 — гайка; 6 — хвостовик; 7 — втулка; 8 — шарик; 9 — диск

Для соединения деталей и узлов в большинстве отверстий в корпусных деталях необходимо *нарезать резьбу*. Ручное нарезание резьбы метчиком — очень трудоемкий и малопроизводительный процесс. Для повышения производительности труда применяют электрические и пневматические сверлильные машины, оснащенные головками с реверсивным механизмом, обеспечивающим ускоренное вывинчивание метчика. Применяют также специальные пневматические резьбонарезатели, обеспечивающие частоту вращения метчика 350 мин^{-1} (при вывинчивании 700 мин^{-1}), наибольший крутящий момент $17 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при расходе воздуха $0,4 \text{ м}^3/\text{мин}$. Применение таких машин ускоряет процесс нарезания резьбы в 6—8 раз по сравнению с работой вручную.

Для нормальной работы метчика в начале процесса нарезания на торце отверстия необходимо выполнить фаску под углом 45° , катет которой должен быть больше глубины резьбы. Для повышения качества резьбы и предохранения метчика от поломки рекомендуют применять предохранительные патроны (рис. 5.6, з). Перед нарезанием резьбы патрон настраивают на требуемый предельный крутящий момент зажимом текстолитового диска 9 между торцами фланца хвостовика б и корпуса 1. Сила зажима регулируется поворотом втулки 7, заклинивающей шарики 8 между подушкой 3 и втулкой 7. При превышении заданного крутящего момента (например, при упоре метчика в дно глухого отверстия) фланец хвостовика б начинает пробуксовывать, и метчик останавливается.

При нарезании резьбы в глухом отверстии стружка забивает канавки метчика, не имея свободного выхода. Если не производить частую очистку метчика, он быстро засоряется, стружка спрессовывается, сила резания значительно возрастает, что приводит к поломке метчика.

Для всех ручных электрических машин, применяемых в сборочных цехах при подготовке деталей к сборке (шлифовальные, полировальные, сверлильные головки, электрокёрнеры и др.), необходимо соблюдать требования безопасности труда. Чтобы защитить рабочего от поражения током, преобладающее распространение получили электрические машины, питаемые трехфазным током напряжением 36 В и частотой 180...200 Гц, которые имеют небольшие габаритные размеры и массу, что значительно облегчает условия их эксплуатации.

5.4. ПРОЦЕССЫ СБОРКИ НЕПОДВИЖНЫХ НЕРАЗЪЕМНЫХ И РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Сборка соединений с натягом. Соединения с натягом относят к соединениям с силовым замыканием, относительную неподвижность деталей в которых обеспечивают механическими силами,

возникающими в результате упругопластических деформаций материала поверхностей сопряжения.

При *продольно-прессовом соединении* под действием осевой силы $F_{\text{зап}}$ (рис. 5.7, а) большая по размеру деталь входит в меньшее по размеру отверстие сопрягаемой детали. Разность между сопрягаемыми размерами деталей определяет величину натяга, причем для повышения долговечности и надежности соединений расчет посадок сопряжения ведут по максимально допустимому натягу, что увеличивает прочность соединения. Наиболее применяемы основные отклонения размеров, которые позволяют получить гарантированный натяг: p , r , s , t , u (например, в посадках $\varnothing 50H7/s6$, $\varnothing 70H6/t5$ и др.). В результате упругопластических деформаций материала сопрягаемых поверхностей на поверхности их контакта возникают значительные нормальные напряжения (рис. 5.7, б) и силы трения, которые препятствуют сдвигу этих деталей.

Продольно-прессовые соединения выполняют на прессах. Чтобы выбрать пресс, необходимо рассчитать силу запрессовки, величина которой зависит:

от площади поверхности сопряжения πdl , где d и l — диаметр и длина сопряжения;

давления на сопрягаемых поверхностях p , МПа, обусловленного величиной фактического натяга $N_{\text{факт}}$, диаметром сопряжения d , характеристикой материалов собираемых деталей и соотношениями диаметральных размеров (D , d и d_0) собираемых деталей. Фактический натяг, мкм, меньше расчетного из-за смятия микронеровностей сопрягаемых поверхностей:

$$N_{\text{факт}} = N - 1,2(Rz_1 + Rz_2),$$

где $N_{\text{факт}}$ и N — соответственно фактический и расчетный (номинальный) натяг в соединении; Rz_1 и Rz_2 — высота микронеровностей сопрягаемых поверхностей; для качественного выполнения продольно-прессового соединения шероховатость сопрягаемых поверхностей не должна быть более Ra 0,8...1,6 мкм;

коэффициента трения, величина которого зависит от материала собираемых деталей, шероховатости сопрягаемых поверхностей, контактного давления на поверхности сопряжения, наличия и характера смазки. В процессе запрессовки применяют различные смазочные материалы: машинное, сурепное или авиационное масла, ртутную смазку и др., предохраняющие от задиrow и уменьшающие коэффициент трения.

Прочность прессового соединения определяют силой выпрессовки, которая на 10...15 % больше силы запрессовки, потому что коэффициент трения покоя при выпрессовке больше, чем коэффициент трения движения при запрессовке. Если позволяет конструкция изделия, направление выпрессовки целесообразно ос-

твлять таким же, как при запрессовке; при этом обеспечивается лучшее сохранение контактных поверхностей.

В процессе запрессовки возможна неточность сопряжения поверхностей, особенно в начальный период сопряжения (рис. 5.7, *в*). Значение угла перекоса α не должно превышать $30'$, в противном случае резко уменьшаются величина и постоянство силы запрессовки. Для уменьшения угла перекоса на торцах сопрягаемых поверхностей выполняют фаски: угол φ на присоединяемой детали выбирают равным $5...10^\circ$, создавая центрирующий конус, а угол γ фаски на торце отверстия — $20...30^\circ$. При $\varphi = 5...10^\circ$ изменяется характер срезания микронеровностей сопрягаемой поверхности, что увеличивает прочность соединения на $10...12\%$.

Чтобы не допустить перекосов сопрягаемых поверхностей, на их торцах выполняют также центрирующие пояски или расточки (на глубину $2...3$ мм) по посадке с зазором (рис. 5.7, *е*). Если в конструкции собираемых деталей такие элементы не предусмотрены, при запрессовке втулок, особенно тонкостенных, целесообразно использовать сборочное приспособление (рис. 5.7, *ж*) — оправку 4, центрирующуюся в отверстии базовой детали. В ряде случаев направление деталям при запрессовке удобно создавать за счет установки собираемых деталей на оправках приспособления (рис. 5.7, *з*) или в специальной направляющей стойке (рис. 5.7, *и*). Для этого отверстия в охватываемой детали должны быть выполнены напроход, т. е. открытыми с обоих торцев. Одна из распространенных погрешностей процесса — неполная запрессовка детали, которая может быть вызвана перекосом собираемых деталей или неперпендикулярностью торцев (рис. 5.7, *з*). Чтобы исправить такую погрешность, силу запрессовки в конце процесса увеличивают на $15...20\%$ и некоторое время сохраняют нагрузку после окончания запрессовки.

Прочность продольно-прессового соединения в значительной степени зависит от скорости его выполнения. Наибольшую прочность соединения достигают при скорости не более 3 мм/с.

При запрессовке деталей за счет контактного давления на сопрягаемых поверхностях происходит изменение размеров собираемых деталей: наружный диаметр охватываемой детали увеличивается, а внутренний диаметр охватываемой детали (втулки) уменьшается, что вызывает необходимость дополнительной обработки отверстий в подшипниках скольжения после их запрессовки в корпус. Для исправления погрешностей размеров, формы и пространственного положения отверстий их разворачивают или повторно растачивают.

Контроль качества выполнения (прочности) прессовых соединений должен быть неразрушающим.

К неразрушающим методам контроля относится контроль ультразвуком и звуковой эмиссией. Поскольку эти методы требу-

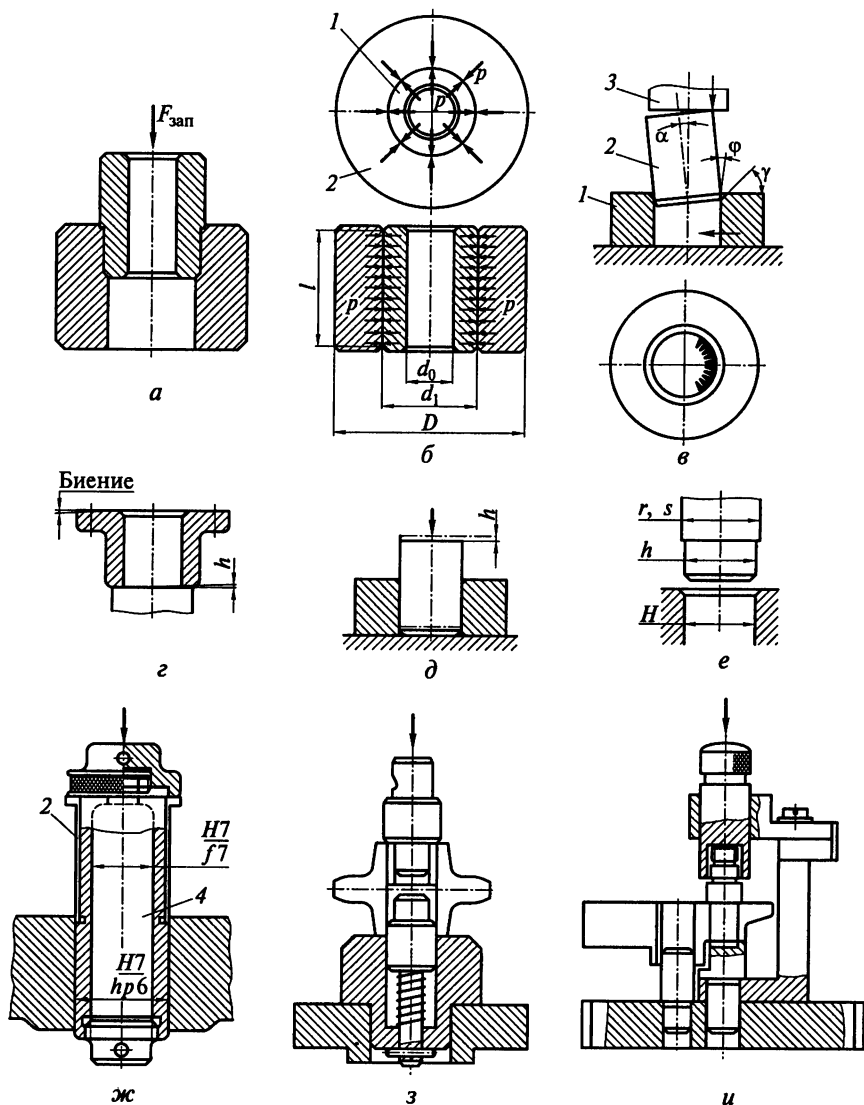


Рис. 5.7. Продольно-прессовые соединения:

a, б — схемы продольного прессования; *d, l* — диаметр и длина сопряжения; *d₀* — диаметр отверстия детали *1*; *D* — наружный диаметр детали *2*; *p* — давление; *F_{зап}* — сила запрессовки; *в* — перекося сопрягаемых поверхностей: *α* — угол перекося; *γ* — угол фаски на торце отверстия; *φ* — угол на присоединяемой детали; *г, д* — неполная запрессовка: *h* — зазор; *е* — центрирующие расточки на торце детали; *h, r, s* — посадки сопрягаемых поверхностей вала; *H* — посадка отверстия детали; *ж—и* — приспособления, обеспечивающие направление деталей при запрессовке, с направляющей оправкой (*ж*) и с направлением детали в приспособлении (*з, и*); *1, 2* — сопрягаемые детали; *3* — пресс штока; *4* — оправка

ют дорогостоящей аппаратуры, часто силу запрессовки контролируют по давлению масла в гидроцилиндре или воздуха в пневмоцилиндре привода пуансона пресса. Усилие пресса выбирают в 1,5—2 раза больше максимальной силы запрессовки. Помимо величины силы запрессовки при выборе типа пресса учитывают возможность его использования для габаритных размеров собираемого узла. Для запрессовки применяют как универсальные, так и специальные прессы — приводные (пневматические, пневмогидравлические, гидравлические, электромагнитные и механические) и ручные (реечные, эксцентриковые, винтовые).

Приводные прессы в зависимости от конструкции развивают усилие от 15 до 800 кН, а гидравлические — свыше 800 кН. На сборке малогабаритных изделий в условиях мелкосерийного производства применяют различные ручные прессы. Они недороги, просты в эксплуатации, но малопроизводительны, требуют больших затрат труда рабочего. Для их замены в ряде случаев целесообразно использовать пневматические диафрагменные и электромагнитные прессы.

В *поперечно-прессовых соединениях* сближение сопрягаемых поверхностей происходит радиально, т. е. по нормали к образующей цилиндрической поверхности; это осуществляется либо нагревом охватывающей детали, либо охлаждением охватываемой детали перед выполнением соединения.

При одних и тех же номинальных параметрах соединения тепловые поперечно-прессовые соединения передают крутящие моменты в 2—3 раза большие, чем продольно-прессовые соединения; это объясняется тем, что в процессе сопряжения при охлаждении нагретой детали или нагреве охлажденной микронеровности сопрягаемых поверхностей не сглаживаются, а как бы сцепляются, внедряясь друг в друга. Площадь контакта сопрягаемых поверхностей, коэффициент трения (сцепления) и соответственно прочность соединений в 1,5—2 раза увеличиваются.

Для облегчения процесса сборки температурные деформации сопрягаемых деталей должны не только превышать максимальный натяг N в соединении, но и создавать монтажный зазор Δ_0 . Максимальное значение зазора Δ_0 рекомендуют [5] выбирать равным $(0,0006 \dots 0,007)d$ для диаметра соединения $d = 30 \dots 40$ мм и $(0,0007 \dots 0,0011)d$ для $d = 40 \dots 100$ мм. При автоматической сборке величина монтажного зазора Δ_0 соединений должна быть не менее 0,03 и 0,1 мм соответственно для $d = 30 \dots 40$ мм и $d = 40 \dots 100$ мм, чтобы обеспечить безотказную сборку простыми по конструкции и надежными в работе исполнительными сборочными механизмами.

Температуру, °С, нагрева или охлаждения собираемых деталей определяют по формуле

$$T = (\Delta_0 + \delta)/(\alpha d),$$

где Δ_0 и δ — соответственно монтажный зазор и натяг соединения, мм; α — коэффициент линейного расширения (сжатия), $^{\circ}\text{C}^{-1}$; d — диаметр соединения, мм.

При перемещении детали из нагревающего или охлаждающего устройства неизбежны ее охлаждение или нагрев примерно на $25 \dots 30^{\circ}\text{C}$, что необходимо учитывать при расчете температуры нагрева или охлаждения.

Несмотря на бесспорные достоинства тепловых методов сборки, их технологические возможности ограничены рядом причин. Температура нагрева охватываемой детали не должна превышать 350°C , так как ее дальнейшее увеличение ведет к снижению твердости металла детали и появлению окалины (оксидных пленок). При значительной разнице коэффициентов линейного расширения собираемых деталей тепловое сопряжение может вызвать значительные внутренние напряжения. Температура охлаждения ограничивается температурой хладагента: $-78,5^{\circ}\text{C}$ — для сухого льда, $-182,5^{\circ}\text{C}$ — для жидкого кислорода, $-195,8^{\circ}\text{C}$ — для жидкого азота.

Из-за малых значений коэффициентов линейного расширения тепловая сборка не создает нужных монтажных зазоров, если диаметр соединения $d \leq 15$ мм; для соединений, у которых $15 < d < 40$ мм, тепловому воздействию необходимо подвергать обе сопрягаемые детали: нагревать охватывающую и охлаждать охватываемую. В связи с этим поперечно-прессовую сборку рекомендуют применять для диаметров сопряжений $d \geq 40 \dots 50$ мм с тепловым воздействием на одну из собираемых деталей. При этом необходимо учитывать, что сборка с охлаждением охватываемой детали обеспечивает прочность соединения на $10 \dots 15\%$ выше, чем сборка с нагревом охватываемой детали. Однако сборка с охлаждением неприемлема для деталей из стали аустенитного класса (сталь, в структуре которой помимо мартенсита содержится аустенит): марки У7, У12, ХГ, 9ХС, ШХ15, 12ХН3А и др., поскольку при охлаждении и последующем нагреве аустенит переходит в мартенсит с резким увеличением объема, причем эта особенность сохраняется во времени и может вызвать увеличение натяга в соединении. Например, у валов диаметром 50 мм из стали ХВГ (содержание аустенита $13 \dots 45\%$) увеличение диаметра составляет $0,07 \dots 0,25$ мм, что недопустимо, так как напряжения в соединении могут быть больше предела текучести материала.

Применение гальванических покрытий толщиной около 20 мкм из таких металлов, как свинец, цинк, медь, при сборке с охлаждением повышает прочность соединения в $1,4 \text{—} 1,7$ раза, потому что покрывающий слой заполняет микронеровности и площадь контакта сопрягаемых поверхностей возрастает (оптимальная шероховатость поверхностей сопряжения при тепловой сборке $Ra 2,5 \dots 3,2$ мкм). Поскольку металлы, используемые для покры-

тия, обладают хорошими антикоррозионными свойствами, снижается коррозия сопрягаемых поверхностей. При выпрессовке таких соединений разрушение происходит в зоне гальванического покрытия и основной металл не разрушается.

Увеличение прочности тепловых соединений позволяет уменьшить расчетный натяг на 10... 30 %, что снижает напряжения, повышает усталостную прочность, особенно у деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок.

Для нагрева деталей применяют масляные ванны с механизированной системой загрузки и выгрузки деталей (температура нагрева до 110 °С); индукционные печи с регулировкой температуры (температура нагрева до 170... 200 °С); непосредственно индуктор, выполненный по контуру детали, для ее нагрева ТВЧ.

Для охлаждения деталей используют ящики (металлические или деревянные) с надежной тепловой изоляцией, в которые закладывают сухой лед; камеры в виде медных цилиндров, между которыми заливают хладонотеплоноситель; специальные камеры, в которых автоматизирована подача деталей в емкость с жидким азотом и их выгрузка из нее (применяется в условиях массового и крупносерийного производства).

Запрессовку деталей (продольную и поперечную) несложно автоматизировать.

При использовании охлаждающих газов (жидкого азота и кислорода) необходимо соблюдать правила безопасности труда: попадание этих веществ на кожу рук вызывает болезненные ощущения. Хранить холодильники с остатками жидкого кислорода и азота следует в специальном помещении, так как плотно закрывать отверстия сосудов с сжиженными газами запрещается, поскольку это может привести к взрыву.

Сборка клепаных соединений. При выполнении клепаных соединений в узлах машин применяют различные типы заклепок (рис. 5.8, *a—д*): стержневые, трубчатые, полутрубчатые. Для изготовления заклепок используют сталь, медь, латунь и алюминиевые сплавы. В соединяемых деталях отверстия сверлят заранее при механической обработке. Одновременное сверление двух деталей в сборе применяют для заклепок повышенной точности. При установке заклепок отверстия соединяемых деталей должны быть совмещены с требуемой точностью, а диаметральный зазор Δ между стержнем заклепки и соединяемыми деталями (см. рис. 5.8, *a*) необходимо выдерживать равным 0,2 мм при диаметре стержня заклепки $d < 6$ мм, 0,25 мм — при $6 \leq d \leq 10$ мм, 0,3 мм — при $10 < d \leq 18$ мм. В противном случае возможны изгиб стержня заклепки, смещение деталей, а при переменных нагрузках — быстрое изнашивание и разрушение соединения.

Качество клепаного соединения зависит также от длины заклепки: выступающая часть стержня h (см. рис. 5.8, *a*) должна быть

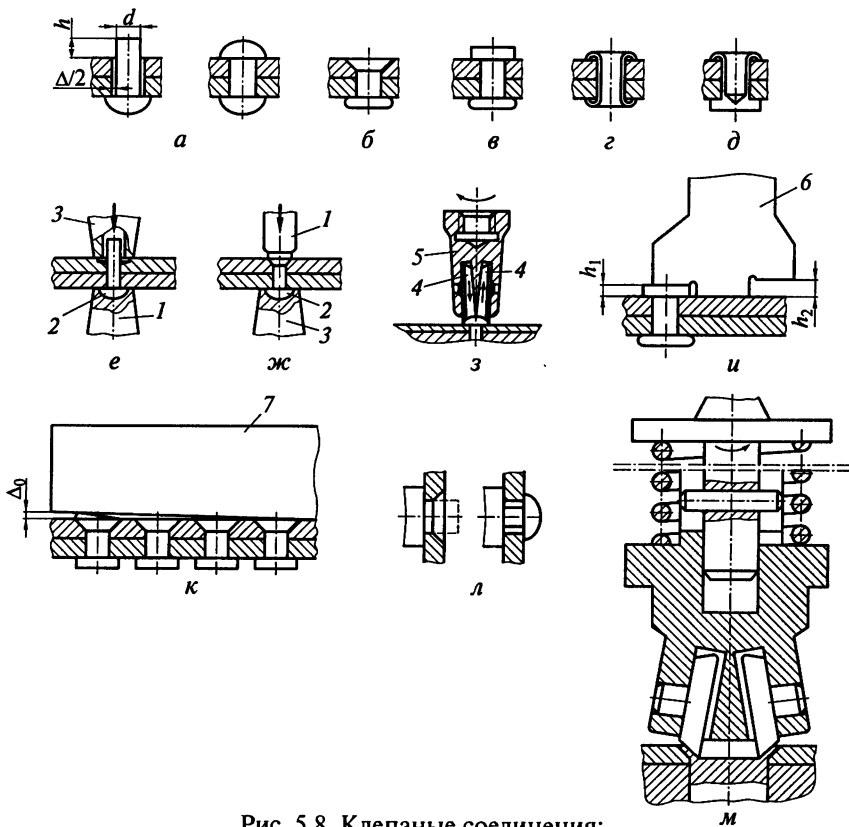


Рис. 5.8. Клепанные соединения:

a—в — стержневые заклепки; *г* — трубчатые заклепки; *д* — полутрубчатые заклепки; *е, ж* — схемы двусторонней клепки прямой и обратной соответственно; *з* — схема клепки ударами ползунов во вращающейся головке; *и, к* — методы контроля качества клепанных соединений; *л* — непосредственное соединение деталей склепыванием; *м* — раскатывание заклепки; *1* — поддержка; *2* — закладная головка; *3* — обжимка; *4* — ползуны; *5* — вращающаяся головка; *6* — шаблон (калибр); *7* — линейка; *d* — диаметр стержня заклепки; *h* — выступающая часть стержня заклепки; *h₁, h₂* — предельные значения высоты головки заклепки; Δ — диаметральный зазор; Δ_0 — величина выступающей части головки потайной заклепки

равной $(1,3 \dots 1,6)d$ в зависимости от формы головки. Для уменьшения смещения отверстий в соединяемых деталях клепку целесообразно выполнять не последовательно, а вразброс (см. рис. 5.1, *г*) или одновременно.

Замыкающую головку заклепки образуют ударом или прессованием двумя способами:

- прямой клепкой (рис. 5.8, *е*), при которой закладная головка *2* входит в углубление поддержки *1*, а выступающую часть стержня заклепки образуют обжимкой *3*;

• обратной клепкой (рис. 5.8, ж), применяемой для склепывания деталей в труднодоступных местах. При этом удары наносят по закладной головке 2 заклепки, а замыкающую головку формирует поддержка 1.

Применяют также оборудование, которое формирует замыкающую головку последовательными ударами ползунов 4 (рис. 5.8, з), расположенных во вращающейся головке 5.

Величина усилия холодной клепки обусловлена характеристикой материала заклепки: пределом прочности σ_b , размером стержня заклепки d , формой ее головки. При горячей клепке усилие составляет 65...80 кН на 1 см² сечения стержня заклепки. Нагревают стальную заклепку до температуры 1050...1100 °С. Клепку обычно ведут на клепальных машинах и прессах с использованием типовых и специальных приспособлений. При работе на прессах время выполнения одного соединения составляет 3 с. При горячей клепке пресс должен развивать усилие не менее 100*S*, кН, а при холодной клепке — не менее 250*S*, кН, где *S* — площадь поперечного сечения стержня заклепки, см². Применяют также пневматические и электрические клепальные молотки и подвесные клепальные пресс-скобы (пневматические, гидравлические и пневмогидравлические).

Процесс клепки хорошо автоматизируется: пробивка отверстий в пакете деталей, подача заклепок в отверстия и обжим головки. Время выполнения соединения диаметром до 4 мм составляет 0,5 с.

Прочность клепаного соединения в значительной степени зависит от размеров и формы замыкающей головки. Плоские головки заклепок контролируют по высоте и диаметру (рис. 5.8, и), а потайные — линейкой и шупом (рис. 5.8, к).

Чтобы сократить число деталей в клепаных конструкциях, нередко используют неподвижные соединения, получаемые расклепыванием одной из собираемых деталей (рис. 5.8, л). В этих случаях для обеспечения точности взаимного положения собираемых деталей необходимо применять специальные сборочные приспособления. При больших диаметрах расклепываемой части детали процесс клепки очень трудоемок и его часто заменяют раскатыванием (рис. 5.8, м), выполняемым раскатной головкой на вертикально-сверлильном станке. Частота вращения раскатной головки 120...150 мин⁻¹. По сравнению с клепкой трудоемкость раскатывания на 35...40 % меньше.

Сборка сварных и паяных соединений. Сварные соединения в машиностроении получают различными способами сварки, которые по виду используемой энергии делят:

на термическую (сварка дуговая, электрошлаковая, плазменная, газовая, индукционная);

термомеханическую (сварка контактная, диффузионная, индукционно-прессовая);

механическую (сварка трением, взрывом, ультразвуковая, холодная).

Для защиты металлов в зоне сварки используют флюс, защитные газы или комбинированную защиту.

Образование сварного соединения состоит из следующих операций:

- подготовка деталей под сварку — правка деталей, очистка свариваемых поверхностей и разделка кромок;
- сборка под сварку, при которой обеспечивают относительную ориентацию и точность положения свариваемых деталей при помощи элементов сборочно-сварочной оснастки (упоры, фиксаторы, установочные пальцы и т. п.);
- образование сварного соединения;
- термическая обработка для снятия остаточных напряжений, возникающих после сварки.

Для уменьшения остаточных напряжений, вызывающих коробление сварочных конструкций необходимо, чтобы конструкция свариваемых элементов соответствовала требованиям технологичности, предъявляемым при сварке:

- равнотолщинность свариваемых элементов (рис. 5.9, а, б) (допустимый перепад толщин $S_1/S_2 = 1 \dots 1,5$);
- разделка кромок односторонняя (рис. 5.9, в) или двусторонняя (рис. 5.9, г), если толщина свариваемых элементов более 3...4 мм;
- правильное расположение сварных швов — отсутствие их скупенности, потолочных и перекрещивающихся швов.

Выполнение сварных швов должно вестись в определенной последовательности. Если сварные швы взаимно-перпендикулярны (рис. 5.9, д), сначала проваривают все параллельные вертикальные швы 1—4, затем перпендикулярные им — горизонтальные 5, 6. Так как поперечная усадка шва в конце сварки больше, чем в начале, ребра следует приваривать маятниковым наложением шва (рис. 5.9, е). Если известно направление коробления (поводки), свариваемые детали перед сваркой изгибают в обратном направлении (рис. 5.9, ж, з). Для облегчения сварочных работ свариваемые элементы после сборки под сварку прихватывают несколькими сварными точками. Требуемое качество сварки обеспечивают выбором оптимальных режимов, применением качественных электродов, высокой квалификацией сварщика (при ручной сборке).

Для повышения производительности и качества при выполнении сборочно-сварочных работ в мелкосерийном производстве применяют универсальные сборные или сборно-разборные приспособления, скомпонованные из отдельных взаимозаменяемых стандартных элементов (плиты, стойки, угольники, кронштейны, прихваты, втулки, шпонки и т. д.), многократно используемых для сборки (сварки) изделий широкой номенклатуры. Применение та-

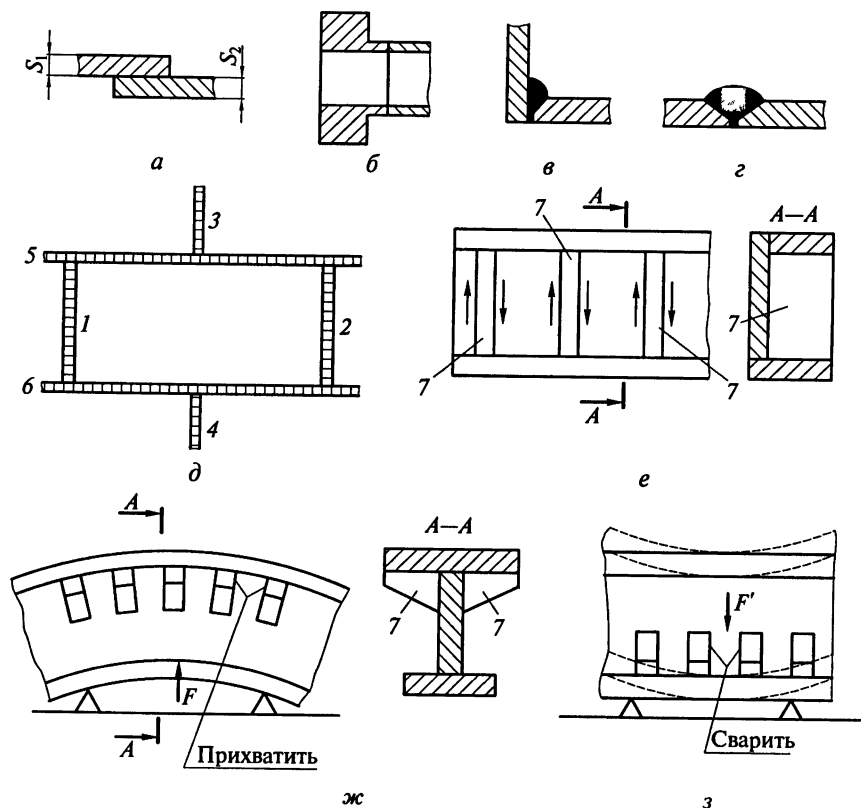


Рис. 5.9. Сварные соединения:

a — внахлестку; *б* — встык; *в* — в угол; *г* — встык с разделкой кромок; *д*—*з* — варианты рационального выполнения сварных швов; *1*—*б* — последовательность выполнения сварных швов; 7 — ребра; F — сила изгиба (предварительной деформации); F' — сила, возникающая от напряжений в сварных швах; S_1 , S_2 — толщина свариваемых листов

ких комплектов, состоящих из 2000—5000 элементов 200—500 наименований, сокращает сроки подготовки производства (сборка подобных приспособлений занимает всего несколько часов) и обеспечивает сборку изделий с точностью 0,3...0,8 мм.

В крупносерийном и массовом производстве широко применяют полуавтоматические и автоматические сварочные установки и автоматические линии. Так, на КамАЗе сваривают кабины автомобилей на многоточечных (до 150 точек) сварочных автоматах, встроенных в автоматические линии.

Качество сварных швов контролируют визуально (наружный осмотр), методами дефектоскопии, ультразвуком, рентгенотелевизионными методами и др.

Пайку при выполнении соединений проводят припоями, которые в зависимости от температуры плавления делят на мягкие (оловянисто-свинцовые с температурой плавления ниже 400 °С) и твердые (медные, медно-цинковые с температурой плавления 400... 1200 °С). Мягкие припои имеют предел прочности σ_B до 100 МПа, твердые — до 500 МПа и выше. Вид припоя выбирают с учетом условий работы машины, материала деталей и оговаривают в технических условиях на сборку узла.

Кроме припоя при пайке применяют флюсы для защиты места спая от окисления при нагреве собираемых деталей и лучшей смачиваемости места спая. В качестве флюсов для твердых припоев применяют буру, плавиковый шпат и их смеси с солями щелочных металлов, для мягких — канифоль, хлорид цинка и фосфорную кислоту. Пайку точных соединений проводят без флюсов в атмосфере защитных газов или вакууме. Для повышения прочности соединения необходимо обеспечить бóльшую поверхность прилегания сопрягаемых поверхностей, поэтому применяют контакт деталей внахлестку (рис. 5.10, *а, б*) или вскос (рис. 5.10, *в*), вводят дополнительные детали (рис. 5.10, *з*), создают расточки (рис. 5.10, *д*). От толщины и равномерности зазора Δ_0 по всему сечению сопрягаемых поверхностей (см. рис. 5.10, *д*) зависит прочность соединения: при пайке стальных деталей твердыми припоями рекомендуют $\Delta_0 = 0,03...0,05$ мм, мягкими припоями $\Delta_0 = 0,05...0,2$ мм, при пайке медных сплавов $\Delta_0 = 0,08...0,35$ мм.

Процесс пайки включает в себя следующие операции:

- сборка деталей;

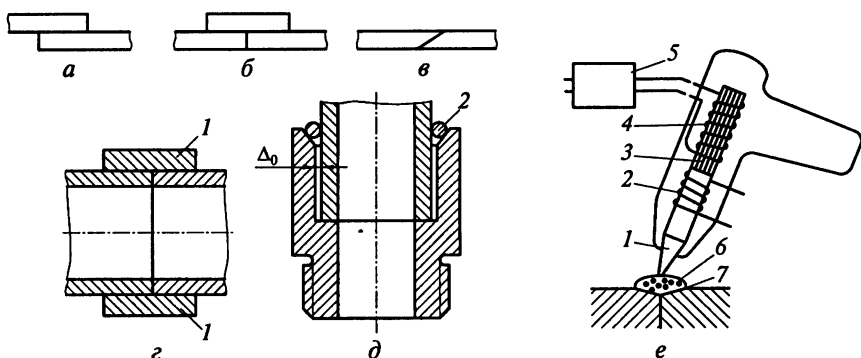


Рис. 5.10. Паяные соединения:

а — внахлестку; *б* — встык с накладкой; *в* — вскос; *з, д* — по цилиндрическим поверхностям: *1* — дополнительные детали; *2* — расточка; Δ_0 — радиальный зазор в сопрягаемых деталях под пайку; *е* — ультразвуковой паяльник с нагревательным элементом: *1* — наконечник; *2* — электрическая обмотка; *3* — ферромагнитный стержень; *4* — ультразвуковой преобразователь; *5* — генератор; *6* — припой; *7* — оксидная пленка

- нанесение флюса и припоя;
- нагрев места спая;
- промывка и зачистка шва.

Места под спай у соединяемых деталей необходимо осмотреть и при наличии коррозии зачистить, затем промыть и обезжирить. После выверки положения собираемых деталей для обеспечения равномерности зазора по всему сечению собранное под пайку соединение должно быть надежно закреплено, чтобы исключить смещения деталей при нагреве. Припой закладывают в место спая в виде фольговых прокладок, проволок, лент, дроби, паст вместе с флюсом, а также в расплавленном виде. При автоматизированной пайке припой в виде пасты вносят дозированно шприц-установками.

В зависимости от способа нагрева пайку подразделяют на газовую, погружением в ванну с солевым раствором, электрическую (дуговую, индукционную, контактную), ультразвуковую.

В единичном и мелкосерийном производстве местный нагрев производят паяльником или газовой горелкой. В серийном и массовом производстве широко применяют нагрев в ваннах, газовых печах, электронагрев и индукционный нагрев ТВЧ. При нагреве ТВЧ индуктор имеет форму, близкую к соединяемым деталям, поэтому детали разогревают в месте спая (это предохраняет их от окисления и коробления).

Пайка — трудоемкий процесс, поэтому на операциях пайки желательно предусматривать различные средства механизации. В массовом и серийном производстве применяют полуавтоматы и автоматы для газовой, электрической и других видов пайки.

Перспективным направлением является применение ультразвука при пайке металлов и неметаллических материалов. Оборудование (рис. 5.10, е) состоит из генератора 5 ультразвуковой частоты и электропаяльника с ультразвуковым преобразователем 4 с ферромагнитным стержнем 3. Частота колебаний наконечника 1 около 20 кГц. Данный способ удобен для пайки деталей из алюминия, так как высокочастотные колебания в расплавленном припое б разрушают оксидную пленку 7 металла, что позволяет вести пайку без применения флюса.

Сборка клеевых соединений. В конструкциях изделий клеевые соединения применяют как самостоятельные либо в комбинации с другими видами соединений: клеесварные, клеепрессовые, клеерезьбовые, клеепаяные. Применение клеев в сочетании с традиционными способами выполнения соединений позволяет повысить прочность последних в 1,5—3 раза, сократить число сварных швов или точек, заменить тугую резьбу на обычную и т. п. Клеевые соединения с успехом заменяют соединения с натягом (и не уступают им по прочности), шлицевые, шпоночные соединения, при этом существенно снижаются число деталей и требования к

качеству сопрягаемых поверхностей, что сокращает объем механической обработки.

Прочность клеевых соединений зависит от материала деталей, шероховатости сопрягаемых поверхностей и марки клея, толщины и площади клеевого слоя, равномерности его распределения по сечению сопрягаемых поверхностей, способу их очистки перед склеиванием. Оптимальная толщина клеевого слоя должна быть 0,05...0,15 мм. При большей толщине в клеевом слое в процессе отверждения могут появиться трещины. Рациональные параметры шероховатости сопрягаемых поверхностей Ra 2,5...3,2 мкм и более. Требуемую площадь склеиваемых поверхностей определяют исходя из допустимых напряжений для рассматриваемого вида нагружения деталей (сдвиг, равномерный отрыв, изгиб и т.п.) и при необходимости увеличивают, создавая косые стыки (рис. 5.11, а), соединения в замок (рис. 5.11, б), в переплет (рис. 5.11, в) и др. Марку клея выбирают в зависимости от материала соединяемых деталей и условий эксплуатации соединения: нагрузки, температура, агрессивность среды и пр. Клеи должны обеспечивать надежное молекулярное сцепление (адгезию) с поверхностями склеиваемых деталей, термостойкость, стойкость к воздействию кислот, щелочей, масла, бензина, воды, сохранение склеивающей способности в течение не менее 2 ч после их приготовления.

Клеи подразделяют на конструкционные (жесткие) и неконструкционные (эластичные). Конструкционные клеи обеспечивают высокую прочность (на сдвиг до 50...55 МПа, на отдир 2,5...2,7 МПа). Неконструкционные клеи менее прочны (на сдвиг до 5 МПа, на отдир до 0,7 МПа), но более дешевы. Кроме того, клеи подразделяют на жидкие, пастообразные, пленочные и порошкообразные.

По химическому составу клеи бывают эпоксидные, полиуретановые, фенолформальдегидные, клеи-расплавы, анаэробные и др. По способу отверждения различают клеи холодного и горячего отверждения.

Качество клеевого соединения зависит также от подготовки поверхностей деталей под склеивание. Оптимальные физико-механические свойства поверхностей обеспечивают подгонкой, очисткой и обезжириванием поверхностей. Очистка поверхности от грязи, окалины, масла, жира способствует ее лучшей смачиваемости клеем и повышению сцепления клея с материалом. Детали из низкоуглеродистой стали очищают в 25 %-ном растворе фосфорной кислоты или 10 %-ном растворе метилсиликата, нагретых до 60 °С, детали из коррозионно-стойкой стали — в растворе щелочи, алюминиевые — в растворе серной кислоты, медные и латунные — в азотной кислоте. Затем проводят тщательную промывку деталей в чистой горячей воде, сушку и обезжиривание бензином или ацетоном.

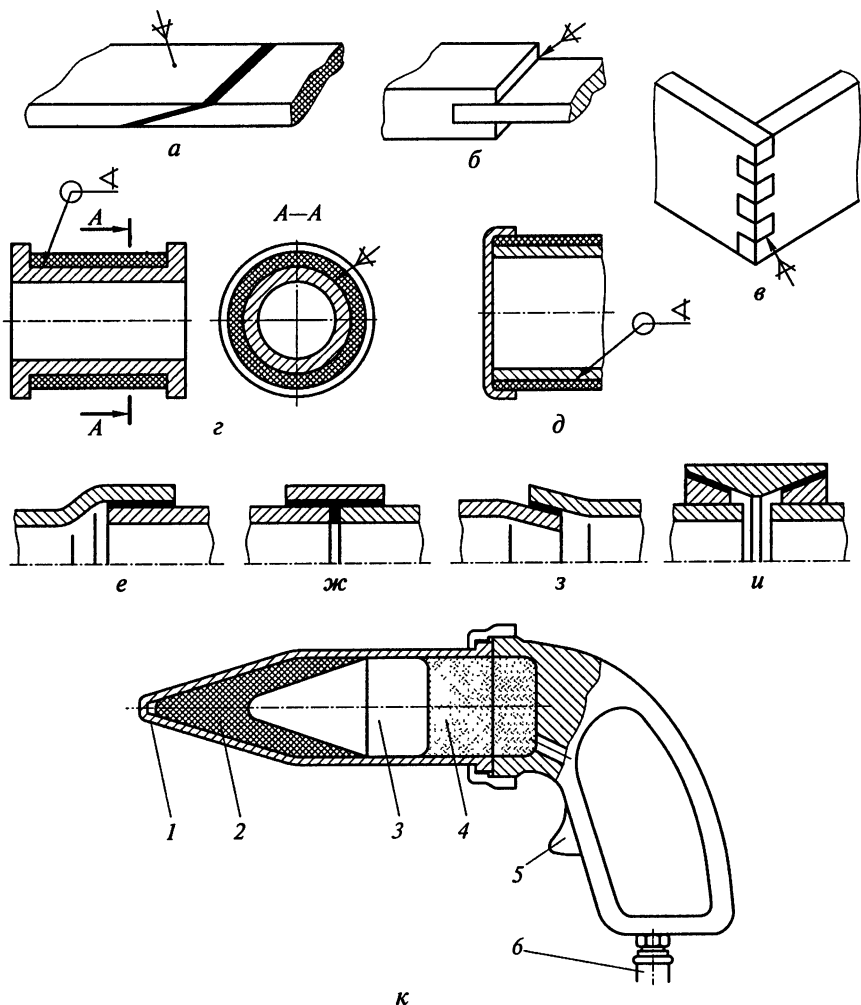


Рис. 5.11. Клеевые соединения:

a — вскос; *б* — в замок; *в* — в переплет; *г* — *е* — по цилиндрической поверхности; *ж* — встык и по цилиндрической поверхности; *з*, *и* — по коническим поверхностям; *к* — схема пневматического шприца для шовной накладки клея: 1 — сопло; 2 — клей; 3 — поршень; 4 — воздушная камера; 5 — курок; 6 — подвод сжатого воздуха

Клеи готовят (смешивают необходимые компоненты) в специальных помещениях с соблюдением правил безопасности труда.

Готовый клей выдается на сборочный участок в специальных, хорошо закрытых сосудах, изготовленных из коррозионно-стойкой стали.

На подготовленную поверхность клей наносят кистью, поливом, шпателем, роликом, окунанием, распылением из пульверизатора, шприцем, дозатором. На рис. 5.11, *к* приведена схема пневматического шприца для шовной накладке клея.

При использовании эпоксидных клеев после нанесения клеевого слоя выполняют его подсушивание (до 60 мин) для испарения из клея растворителей. После необходимой выдержки склеиваемые поверхности сжимают с помощью струбцин, прихватов, специальных приспособлений с определенным усилием (удельное давление 0,05... 2 МПа).

После отверждения клея его избыток на поверхности деталей удаляют металлическими щетками, наждачной бумагой или промывают растворителем.

На сборочных линиях эффективно применение клеев-расплавов, имеющих короткое время схватывания (5... 10 с), при этом клей, предварительно расплавленный при температуре 100... 160 °С, твердеет при температуре 20 °С. К достоинствам клеев-расплавов относят их невысокую стоимость, отсутствие пожароопасных и загрязняющих окружающую среду растворов, возможность сразу подвергать склеенные детали очистке и механической обработке. Клеи-расплавы обычно наносят пистолетом, в который подается клей, предварительно расплавленный в термостате, поддерживающем температуру 190... 320 °С.

Применение анаэробных клеев, имеющих небольшое время полимеризации (время схватывания от 1,5... 2 до 10... 15 мин в зависимости от марки), позволяет автоматизировать сборочный процесс. Клеи наносят специальными дозаторами, которые при установке в манипуляторе робота позволяют получить клеевой слой различной конфигурации.

Сборка резьбовых соединений. Резьбовое соединение (РС) образуется сопряжением двух деталей по винтовым поверхностям, из которых одна имеет наружную резьбу (болт, винт, шпилька), а другая — внутреннюю (гайка, муфта и другие детали с резьбовыми отверстиями). Сопряжение резьбовых поверхностей происходит по боковым сторонам профиля резьбы с исключением возможности контакта по вершинам и впадинам резьбы.

Процесс сборки РС состоит из следующих этапов:

- наживление резьбовых деталей на 2—3 нитки резьбы;
- свинчивание резьбовых деталей;
- затяжка соединения и стопорение для предотвращения самоотвинчивания.

Для удобства наживления на торцах резьбовых поверхностей (рис. 5.12, *а*) выполняют фаски под углом 45° с размером катета, большим, чем глубина резьбы. При механизации сборки РС наживление выполняют вручную, при автоматизации процесса все этапы проводят последовательно одним инструментом — гайковертом,

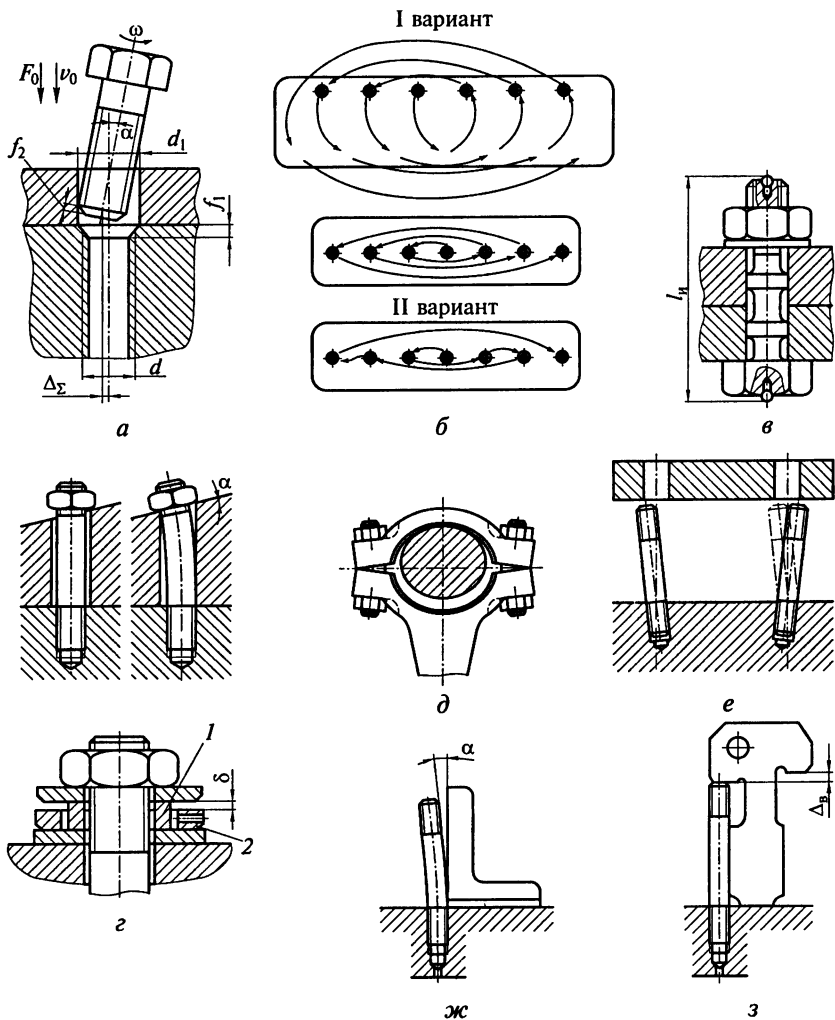


Рис. 5.12. Выполнение резьбовых соединений:

a — параметры: d — размер резьбы; d_1 — диаметр отверстия; f_1, f_2 — фаски на торцах резьбовых поверхностей; F_0, ν_0, ω — режимы сборочного процесса: осевая сила, осевая скорость и частота вращения соответственно; α — угол перекоса; Δ_z — погрешность положения сопрягаемых резьбовых деталей; *б* — последовательность затяжки: I вариант — от центра по спирали; II вариант — от центра к краю; *в, г* — контроль силы затяжки по удлинению болта и деформации индикаторной шайбы соответственно: 1 — индикаторная шайба; 2 — кольцо; l_n — длина измерения; α — угол перекоса шпильки; δ — зазор, определяющий величину деформации индикаторной шайбы 1; δ — погрешность установки шпилек; *е* — несовпадение оси шпильки с отверстием крышки; *ж* — контроль углового положения; *з* — контроль вылета шпильки: Δ_B — допуск по высоте шпильки

шпильковертом или винтовертом в зависимости от вида РС: болтовое, шпилечное или винтовое. Наиболее ответственный этап сборки РС — затяжка, величина которой зависит от сил, нагружающих соединение. Именно степень затяжки соединений при сборке играет существенную роль в повышении долговечности изделия. Наживление и свинчивание выполняют при поступательном и вращательном движении резьбовой детали, затяжку — ее вращением с определенным крутящим моментом, создающим силу сжатия стыка соединяемых деталей. Момент затяжки идет на преодоление моментов трения в резьбе и между торцами гайки (или головки болта) и детали. Сила затяжки РС $F_{\text{зат}}$ обусловлена значением напряжения при затяжке $\sigma_{\text{зат}}$, МПа, в теле болта или шпильки и площадью S , мм², их поперечного сечения:

$$F_{\text{зат}} = \sigma_{\text{зат}} S.$$

Минимальное напряжение затяжки определяют из условия не раскрытия стыка, максимальное — в зависимости от предела текучести материала болта или шпильки: $\sigma_{\text{зат max}} = (0,8 \dots 0,9) \sigma_T$. Качество сборки РС определяют величиной и стабильностью (постоянством) силы затяжки. Процесс сборки РС (особенно ответственных, где допустимый разброс силы затяжки не должен превышать $\pm 20\%$) обязан обеспечить требуемое качество. Однако для этого недостаточно создать стабильный момент затяжки, так как на точность силы затяжки помимо погрешностей, создаваемых резьбозавертывающим инструментом, влияют:

качество изготовления резьбовых деталей: погрешности шага резьбы, угла ее профиля, среднего диаметра, отклонение от перпендикулярности торца головки болта или гайки к оси резьбовой поверхности;

разброс значений коэффициента трения в резьбе и под торцем и податливости стыка;

условия выполнения РС — несовпадение и перекос сопрягаемых резьбовых поверхностей, влияние повторных затяжек, погрешности измерения силы затяжки и т. п.

Например, многократная затяжка РС позволяет стабилизировать силу трения в резьбе, что увеличивает силу затяжки на 30...40%. Применение густого смазочного материала с дисульфидом молибдена не только снижает коэффициент трения в 2 раза, но также компенсирует влияние погрешностей резьбы на величину и стабильность силы затяжки. Такую смазку можно применять для РС, работающих в условиях повышенных температур (до 850 °С), а также в космосе.

Групповые РС (крепление крышек, фланцев, разъемных корпусов и т. п.) в единичном и серийном производстве выполняют последовательно в определенном порядке для обеспечения качества затяжки стыка. Правильно выбранная последовательность за-

тяжки РС исключает перекосы и искривления деталей. Недовернутые гайка или болт (при затяжке головка болта или гайки поворачивается на угол $130 \dots 140^\circ$) вызывают перегрузку соседних РС, что может послужить причиной разрыва болтов или шпилек во время работы изделия. На рис. 5.12, б показана правильная последовательность затяжки РС, начиная со средних, а затем соседних справа и слева в шахматном порядке.

В крупносерийном и массовом производстве затяжку РС обычно выполняют одновременно, применяя многошпindelные резьбовозавертывающие устройства. В процессе разборки групповых РС целесообразен обратный порядок отвертывания гаек, что позволяет предотвратить перекося скрепляемых деталей. Рекомендуют сначала поочередно отпустить все гайки или болты, а затем отвернуть их полностью. Чтобы устранить опасность заедания резьбовых поверхностей вследствие трения, задиоров и давления, превышающего предел упругости материала, резьбовые детали выполняют из материалов разной твердости, применяют гальванические покрытия мягкими металлами: оловом, кадмием, цинком и др., используют смазку ЦИАТИМ-221 с добавкой дисульфита молибдена или графитовой пасты, если РС не соприкасаются с агрессивной средой.

Важное условие обеспечения нормальной статической и усталостной прочности РС — отсутствие изгибающих напряжений в теле болта или шпильки. В связи с этим неплотное прилегание гайки или головки болта (рис. 5.12, в), особенно в ответственных, тяжелонагруженных соединениях, недопустимо. Как показывает опыт, уже при угле перекося $\alpha = 30'$ шпильки и болты испытывают значительные дополнительные нагрузки; при малых длинах РС и $\alpha = 2^\circ$ напряжение изгиба превышает напряжение затяжки в 2 раза. Поэтому при сборке необходимо следить, чтобы торец гайки или головки болта и опорная часть прижимаемой ими детали были перпендикулярны оси резьбы, их допустимое биение должно составлять не более 0,01 мм на диаметре гайки или головки болта.

В длинных болтах и шпильках, особенно малого диаметра, при затяжке РС могут возникнуть дополнительные напряжения кручения. Чтобы избежать этого, на выступающих над гайкой концах таких болтов (шпилек) должны быть предусмотрены лыски, за которые их можно удерживать ключом при затяжке РС.

Инструменты, используемые для выполнения РС, очень разнообразны. При ручной сборке используют обычные и специальные гаечные ключи с контролем величины момента затяжки (динамометрические) и с автоматическим отключением по достижении требуемого момента затяжки (предельные), отвертки и шпильковерты. Для повышения производительности и облегчения труда сборщика ручной инструмент необходимо заменять механизированным. В сборочном производстве распространены уни-

версальные и специализированные ручные и стационарные резьбозавертывающие инструменты (гайковерты) с электрическим, пневматическим и реже с гидравлическим приводами, выполняемые:

с муфтами прямого привода, полностью передающими создаваемый крутящий момент на шпиндель;

ударно-импульсными муфтами, обеспечивающими передачу крутящего момента с помощью ударных импульсов, сообщаемых ведомой полумуфте;

ограничительными муфтами (кулачковыми и фрикционными), настроенными на определенный крутящий момент.

Пример пневматического гайковерта с прямым приводом показан на рис. 5.13, *а*. По достижении требуемого момента гайковерт тормозится в конце затяжки. Подобные конструкции имеют двухскоростные гайковерты, которые наворачивают гайку с большей скоростью, чем при затяжке, за счет чего производительность труда возрастает. Из набора шпинделей в одном корпусе создаются многошпиндельные головки, позволяющие выполнять одновременно групповые РС (до 18 шт.) на позиции сборочной линии.

Гайковерты с ударно-импульсными муфтами могут иметь как пневматический, так и электрический привод (рис. 5.13, *б*). Достоинство таких конструкций в создании значительных крутящих моментов (которые лишь незначительно воздействуют на руки рабочего). Они удобны при разборке РС, поврежденных коррозией.

Гайковерт с ограничительной муфтой при достижении требуемого момента отключается, и процесс затяжки РС прекращается. Такие гайковерты могут иметь пневматический и электрический приводы. Гидравлический привод применяют при затяжке РС больших размеров (более М20).

Меняя патроны гайковерта, можно получить шпильковерт — при использовании патрона для шпилек (рис. 5.13, *в*), гайковерт — при использовании торцевого ключа (рис. 5.13, *з*), винтоверт — при использовании отвертки (рис. 5.13, *д*, *е*). Контроль качества выполнения РС выполняют косвенно, так как непосредственно замерить силу затяжки в практических условиях невозможно. Силу затяжки оценивают:

по величине момента затяжки предельными или динамометрическими ключами при затяжке или при страгивании затянутого РС (поворот ключа в сторону завертывания). Существенное повышение надежности и качества РС дает применение автоматических микропроцессорных устройств, регистрирующих момент затяжки по реактивному моменту на корпусе шпинделя резьбозавертывающего инструмента в процессе затяжки с помощью датчиков. Сигнал с датчиков подается на усилитель и сравнивающее устройство с предварительно установленной величиной момента

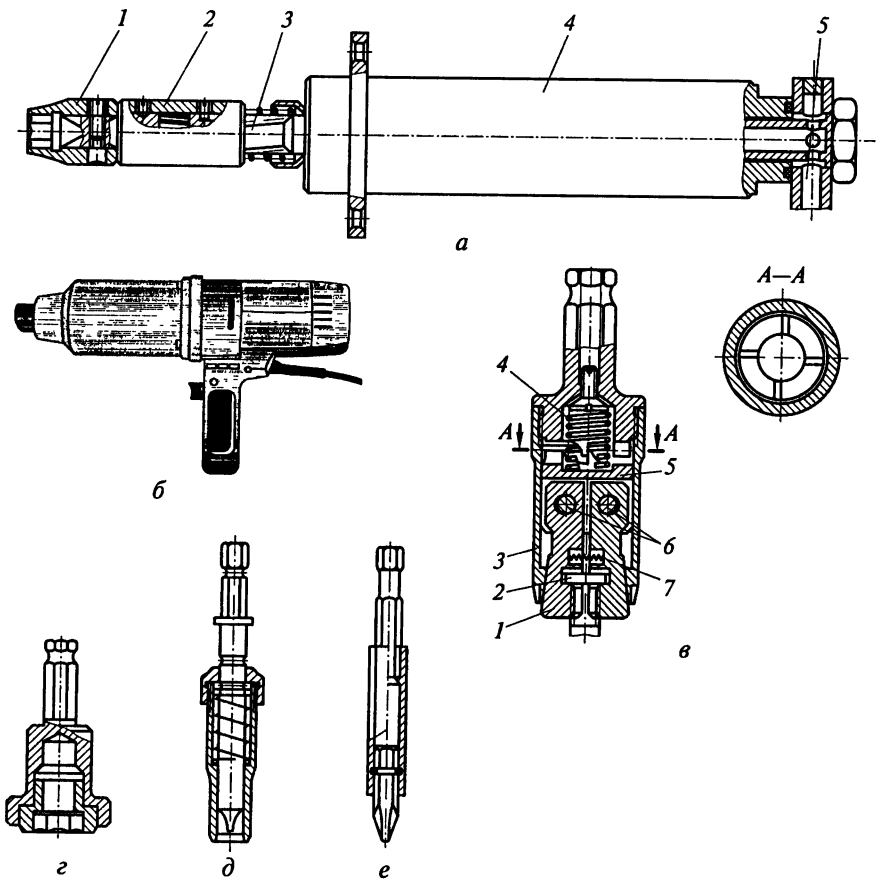


Рис. 5.13. Резбозавертывающие устройства:

a — пневматический гайковерт: 1 — патрон; 2 — насадка; 3 — шпindelь; 4 — корпус с двигателем; 5 — место подвода воздуха; *б* — электрический гайковерт с ударно-импульсной муфтой; *в* — патрон для заворачивания шпилек: 1 — губки; 2 — вкладыш; 3 — корпус; 4 — пружина; 5 — подвижная каретка; 6 — оси; 7 — раздвижная пружина; *г* — патрон для болтов и гаек; *д* — отвертка с ловителем; *е* — отвертка для крестообразных шлицов

затяжки. При достижении требуемого момента затяжки система обратной связи дает сигнал на отключение гайковерта. При использовании электромагнитных порошковых муфт время отключения гайковертов составляет 0,5...1 с, что уменьшает разброс крутящего момента до 5%;

удлинению стержня болта (шпильки) (см. рис. 5.12, *в*), которое пропорционально росту силы затяжки. Данный метод наиболее точный, обеспечивающий точность контроля силы затяжки в пределах $\pm(3...5)\%$ и используемый для ответственных РС. Однако

его применение ограничивается конструкцией РС — необходим свободный доступ измерительной скобы с индикатором к обоим концам болта или шпильки;

углу поворота гайки или головки болта. Метод обеспечивает точность контроля силы затяжки в пределах $\pm 20\%$. Его осуществляют ключами, снабженными специальной шкалой для измерения угла поворота при затяжке РС. Однако данный метод не гарантирует достоверности результатов для коротких болтов (шпилек);

деформации специальной пластичной индикаторной шайбы 1 (см. рис. 5.12, г), установленной между двумя обычными шайбами. Затяжку производят до тех пор, пока зазор δ не будет полностью устранен и контрольное кольцо 2 не окажется зажатым. Данный метод обеспечивает контроль силы затяжки в пределах $\pm 10\%$.

В последние годы, благодаря развитию микропроцессорной техники, большое распространение получили устройства активного контроля комбинированным методом по измерению в процессе затяжки момента затяжки и угла поворота гайки (головки болта). Данный метод, как и метод по пределу текучести материала болта (шпильки), основан на следующем положении: после обжатия витков резьбы РС отношение приращения момента $M_{зат}$ к приращению угла поворота $\varphi_{зат}$ есть величина постоянная: $\Delta M_{зат} / \Delta \varphi_{зат} = \text{const}$.

При установке шпилек в корпусные детали проверяют правильность их установки. Перекос шпильки (см. рис. 5.12, е), особенно в тяжелонагруженном соединении, — очень опасная погрешность, результатом которой может быть обрыв шпильки из-за перенапряжения, поэтому необходимо контролировать угол перекаса α (см. рис. 5.12, ж) и вылет шпильки (см. рис. 5.12, з), так как допуск на ее неперпендикулярность назначают исходя из степени точности и длины выступающей части шпильки.

Стопорение РС осуществляют различными способами: пружинными шайбами (шайбы Гровера), специальными стопорными шайбами с усиками, шплинтами, проволокой, анаэробными клеями, наносимыми на резьбовую поверхность одной из сопрягаемых деталей, и др. Анаэробные клеи используют для получения натяга в неподвижном соединении шпилька — корпус вместо радиального натяга по среднему диаметру резьбы или натяга по коническому сбегу резьбы.

5.5. СБОРКА ТИПОВЫХ УЗЛОВ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Качество сборки машин и механизмов определяется качеством сборки узлов и соединений, входящих в конструкцию, поэтому важно выбрать не только методы сборки, но и последователь-

ность их выполнения. Эта задача облегчается при использовании типовых процессов сборки характерных узлов, применяемых в машиностроении.

Сборка узлов с подшипниками качения. Подшипники качения являются опорами вращающихся деталей (валы, шестерни и др.) в изделиях. Легкость вращения и долговечность работы подшипников зависят от зазоров между телами качения (шариками, роликами), внутренними и наружными кольцами (рис. 5.14, а). Радиальные зазоры Δ бывают начальными, посадочными и рабочи-

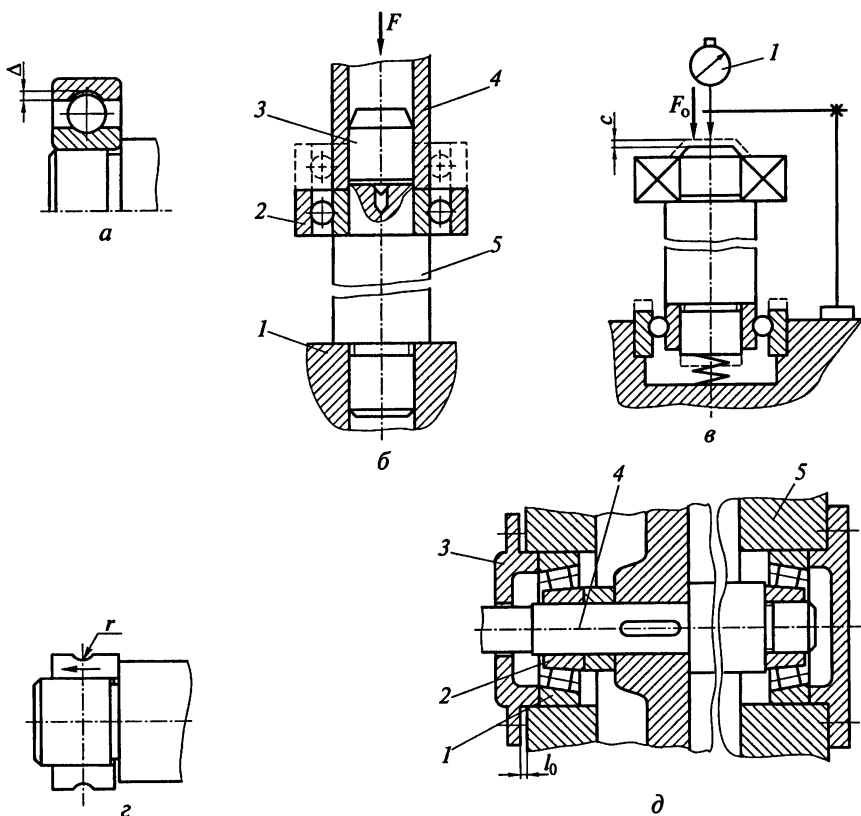


Рис. 5.14. Подшипники качения:

а — установка подшипника на вал: Δ — радиальный зазор; б — запрессовка подшипника на вал: 1 — ориентирующий элемент; 2 — подшипник; 3 — направляющий элемент; 4 — шток пресса; 5 — вал; F — сила запрессовки; в — определение осевого зазора в шариковом подшипнике: F_0 — сила; c — осевой зазор; 1 — индикатор; г — перекос подшипника: r — радиус желоба кольца подшипника; д — определение осевого зазора в роликовом подшипнике: 1 — наружное кольцо подшипника; 2 — внутреннее кольцо подшипника в сборе; 3 — крышка; 4 — вал; 5 — корпус; l_0 — осевое смещение

ми. Поскольку одно из колец подшипника устанавливают с натягом обычно на вращающуюся деталь (вал), а невращающееся кольцо по переходной посадке в неподвижную деталь (корпус), обеспечивающую возможность его поворота в процессе работы во избежание неравномерного износа, то размеры (диаметры) колец изменяются, а следовательно, уменьшается начальный зазор. В процессе работы под воздействием тепловых деформаций при нагреве колец подшипника и силовых нагрузок радиальный зазор также изменяется. Поэтому при сборке важно обеспечить максимальное приближение посадочного радиального зазора к его расчетному значению.

Сборка подшипниковых узлов состоит из следующих этапов:

- тщательная проверка посадочных мест вала и корпуса: точности размеров, формы, торцевого биения посадочных торцов, шероховатости поверхностей; небольшие погрешности исправляют шабрением;

- расконсервация подшипников и их контроль. После распаковки подшипников их промывают в растворе масла в бензине или в горячих ($75 \dots 85^\circ\text{C}$) антикоррозионных водных растворах. Имеющиеся на подшипнике следы коррозии удаляют порошком из оксида хрома. При сборке особо точных узлов проверяют биение (радиальное и торцевое) наружного кольца и начальный радиальный зазор Δ ;

- установка подшипника на вал с натягом, которую производят запрессовкой, используя специальные приспособления (рис. 5.14, б), имеющие направляющие Z и ориентирующие I элементы. Запрессовку необходимо осуществлять с применением оправок. Наносить удары непосредственно по подшипнику нельзя, так как при этом могут быть повреждены кольца, поломаны шарики и т.п. Силу запрессовки прикладывают к тому кольцу, которое устанавливают с натягом. Лучшие условия запрессовки создает наличие центрирующих поясков с торца посадочной шейки вала, шириной $1,5 \dots 3$ мм, обеспечивающих посадку подшипника в начале сопряжения с зазором. Более точный радиальный зазор обеспечивает сборка с нагревом подшипника или охлаждением вала. Подшипник нагревают в масляной электрованне (с контролем температуры масла) до температуры $60 \dots 100^\circ\text{C}$ в течение $15 \dots 20$ мин. Вал охлаждают в жидком азоте до -190°C .

После установки подшипник проверяют:

на легкость вращения (проворачиваемость) от руки;

радиальное и осевое биение наружного кольца. Очень важно измерить посадочный радиальный зазор в подшипнике между шариками и наружным кольцом. Его определяют по осевому зазору s , измеренному до и после приложения силы F_0 (рис. 5.14, в), с учетом размеров подшипника: радиуса желоба кольца r (рис. 5.14, г) и диаметра шариков;

плотность прилегания торца кольца подшипника к заплечикам вала. Если посадочный торец ступени вала неперпендикулярен оси вала, уменьшается площадь контакта и возникает неуравновешенная осевая реакция (см. рис. 5.14, *з*); это приводит к дополнительной деформации внутреннего кольца, что изменяет радиальный зазор Δ (см. рис. 5.14, *а*), вызывает в подшипнике дополнительные напряжения и уменьшает срок его эксплуатации. Плотность прилегания проверяется шупом.

Затем вал с подшипником устанавливают в корпус изделия.

В передачах многих изделий валы устанавливают на конические роликовые подшипники (рис. 5.14, *д*). Подшипники — разъемные; наружное кольцо *1* устанавливают отдельно в корпус *5*, а внутреннее кольцо *2* с роликами и сепаратором в сборе — на вал *4* с натягом. Зазоры в таких подшипниках не зависят от их посадки на валу или в корпусе; их обеспечивают при сборке регулированием положения наружного кольца его осевым смещением на величину l_0 , которое связано с радиальным зазором Δ .

На практике регулировку зазора осуществляют следующим образом: крышку *3* (см. рис. 5.14, *д*) затягивают до тугого вращения вала, что гарантирует выборку всех зазоров. Измеряют величину l_0 , подбирают и устанавливают прокладку соответствующей толщины и возвращают крышку *3* на место.

В сборочных единицах, подверженных воздействию больших инерционных сил, для уменьшения габаритных размеров и массы применяют игольчатые подшипники. Рабочие поверхности такого подшипника образуют поверхности сопрягаемых деталей — наружная поверхность вала и внутренняя поверхность корпуса или втулки. Боковыми ограничителями служат для роликов-иголок заплечики вала (рис. 5.15, *а*), или корпуса (рис. 5.15, *б*), или кольца (рис. 5.15, *в*). Игольчатые подшипники не имеют сепараторов, поэтому перекося игольчатых роликов устраняют прилеганием их друг к другу с очень малыми зазорами. Радиальный зазор в игольчатых подшипниках значительно больше, чем у других подшипников качения, и приблизительно равен радиальному зазору в подшипниках скольжения (0,02...0,13 мм в зависимости от диаметра соединения).

Сборку узлов с игольчатыми подшипниками начинают с подбора роликов по диаметру и длине. Точность размеров по диаметру составляет 0,005 мм, по длине — 0,1 мм (селективный метод сборки). Игольчатый подшипник, выполненный по схеме рис. 5.15, *а*, монтируют в процессе сборки. На поверхность вала наносят слой густого смазочного материала, устанавливают вал в монтажное полукольцо *2* (рис. 5.15, *з*). В образовавшуюся щель последовательно вводят игольчатые ролики, постепенно поворачивая вал. Когда комплект игольчатых роликов установлен на вал, надевают наружную деталь, смещая монтажное полукольцо *2*. Подшипники,

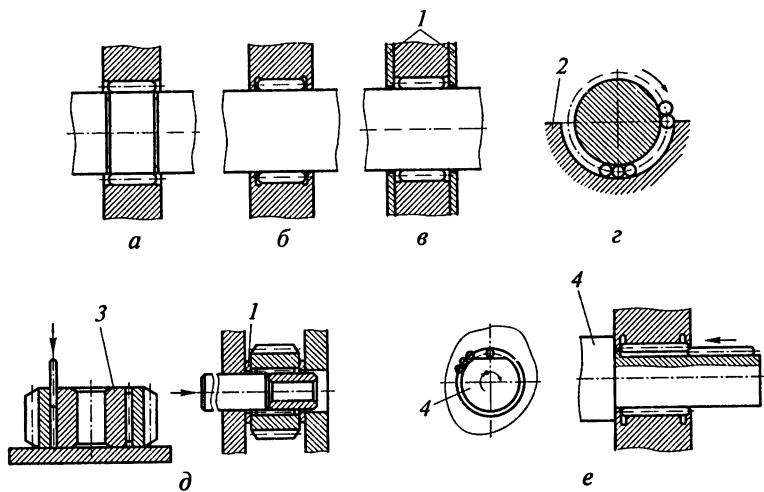
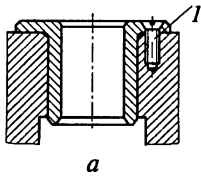


Рис. 5.15. Игольчатые подшипники:

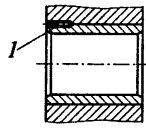
a — с ограничением заплечиками вала; *б* — с ограничением заплечиками корпуса; *в* — с кольцами; *г, д, е* — сборка узлов с монтажным полукольцом, с монтажной осью и ограничительными кольцами и с монтажной оправкой соответственно: *1* — ограничительные кольца; *2* — монтажное полукольцо; *3* — монтажная ось; *4* — монтажная оправка

выполненные по схемам рис. 5.15, *б, в*, собирают при помощи монтажной оси *3* (рис. 5.15, *д*), диаметр которой на 0,1...0,2 мм меньше, чем диаметр действительного вала или оси. Чтобы игольчатые ролики не рассыпались, целесообразно на поверхность отверстия нанести тонкий слой густого смазочного материала (или игольчатые подшипники могут быть намагничены). Игольчатые ролики устанавливают в зазор между осью и деталью последовательно по 2—3 шт. Для схемы, показанной на рис. 5.15, *б*, оправка *4* (рис. 5.15, *е*) должна иметь лыску, образующую зазор, в который последовательно устанавливают игольчатые ролики, поворачивая оправку. Последняя игла должна входить в подшипник свободно. После того как все иглы собраны, на место устанавливают рабочий вал или ось, которые вытесняют монтажную ось. Для схемы рис. 5.15, *в* перед тем как вытеснить монтажную ось, необходимо поставить ограничительные кольца *1*.

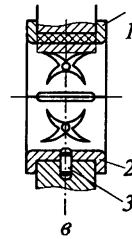
Сборка узлов с подшипниками скольжения. Подшипники скольжения могут быть цельными и разъемными. Цельный подшипник (рис. 5.16, *а, б*) представляет собой втулку, изготовленную из антифрикционного материала (чаще всего из бронзы) и запрессованную в корпус. Разъемный подшипник состоит из двух вкладышей с диаметральной разъемом (рис. 5.16, *в*). Надежная работа подшипников скольжения обусловлена правильным выбором диаметрального зазора между валом и втулкой, величина которого



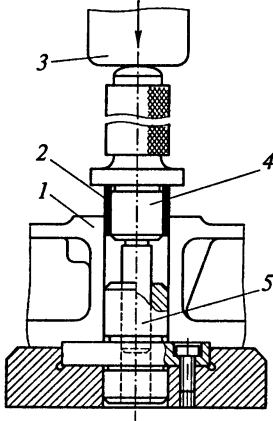
a



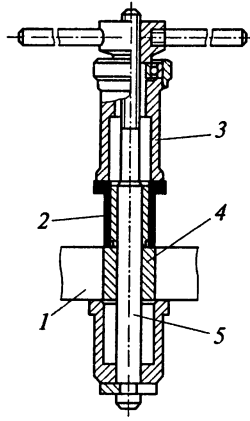
б



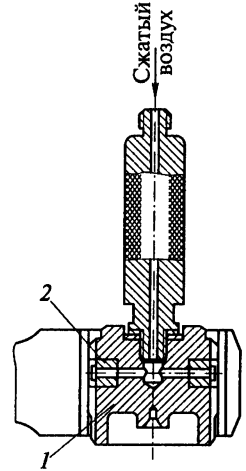
в



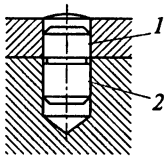
г



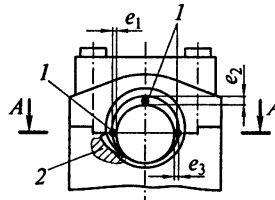
д



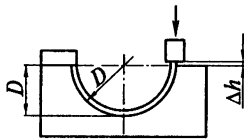
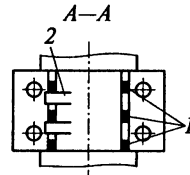
е



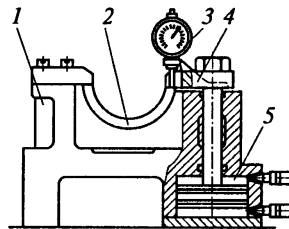
ж



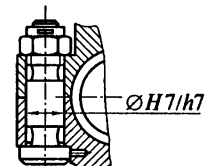
з



и



к



л

Рис. 5.16. Подшипники скольжения:

a, б — цельные: *1* — стопорные винты; *в* — разъемные: *1* — верхний вкладыш; *2* — нижний вкладыш; *3* — установочный штифт; *г, д* — запрессовка подшипников на прессе и винтовым приспособлением соответственно: *1* — корпус; *2* — втулка; *3* — шток пресса; *4* — оправка; *5* — стержень; *е* — контроль формы отверстия запрессованной втулки пневматическим калибром: *1* — пробка; *2* — сопло; *ж* — установочный штифт подшипников: *1* — посадка с зазором; *2* — посадка с натягом; *з* — фиксация тонкостенных вкладышей: *1* — проволочки; *2* — паз корпуса; *е₁–е₃* — толщина проволочек; *и* — проверка высоты тонкостенных вкладышей: *D* — диаметр вкладыша; Δh — измеряемый размер; *к* — приспособление для контроля: *1* — корпус; *2* — вкладыш; *3* — индикатор; *4* — упор; *5* — пневмоцилиндр; *л* — фиксация крышки подшипника точным болтом

←

определяется характером посадки, качеством точности и равномерностью этого зазора по всему сечению профиля. Равномерность зазора зависит от точности формы и положения (соосности) сопрягаемых поверхностей. От равномерности зазора в соединении зависит равномерность толщины масляного слоя, которая обуславливает качество сборки узла — правильное положение вала в механизме и нормальную работу подшипников. Для распространенных размеров подшипников зазор составляет 0,06...0,1 мм. Монтажный зазор при сборке узла составляет примерно 30 % расчетного значения, что обеспечивает устойчивую работу подшипника с учетом его износа. Внутренняя поверхность втулки имеет точность по 7-му или 6-му квалитетам (*H7, H6*) с шероховатостью *Ra* 0,8...1,6 мкм. Поскольку втулки устанавливаются в корпусную деталь с натягом, различным по величине, после установки их часто приходится дополнительно фиксировать от проворота стопорными винтами (см. рис. 5.16, *a*). Осевую фиксацию втулки обеспечивают буртом или штифтом.

Возникающие деформации при сборке (с натягом) втулки с корпусом изменяют диаметр ее внутреннего отверстия, поэтому после установки втулки в корпус необходима дополнительная отделочная обработка внутреннего диаметра для обеспечения заданной точности отверстия.

Сборка узлов с неразъемными подшипниками скольжения происходит в два этапа:

- установка подшипника в отверстие корпуса;
- установка вала в подшипники скольжения.

Перед выполнением первого этапа проводят подготовительные работы: осмотр сопрягаемых поверхностей собираемых деталей, их протирку, зачистку острых углов, заусенцев.

Процесс установки подшипника скольжения в корпус включает в себя его запрессовку, окончательную обработку отверстия после запрессовки, закрепление подшипника от проворачивания. Запрессовку в зависимости от конструкции узла, размеров соединения и величины натяга выполняют продольным прессованием при нор-

мальной температуре либо тепловой сборкой с нагревом корпуса или охлаждением втулки. Ввиду малой жесткости подшипника скольжения возможна потеря его устойчивости при продольной запрессовке. Чтобы предотвратить перекося подшипника, деформацию, задиры поверхности и даже поломку (при малой толщине стенок), применяют специальные приспособления. На рис. 5.16, *г, д* показаны эскизы запрессовки подшипников скольжения на прессе и с использованием винтового устройства с направляющими и центрирующими элементами. При наличии в корпусе и в подшипнике отверстий под штифт или смазочный материал при запрессовке подшипника скольжения необходимо обеспечить его ориентацию в угловом положении для точного совпадения этих отверстий. Очень часто из-за малой величины натяга прочность фиксации подшипника в корпусе оказывается недостаточной. В этом случае при достаточной толщине стенки подшипника или наличии фланца устанавливают стопорные винты *1* (см. рис. 5.16, *а, б*). При этом резьбовое отверстие в корпусе или подшипнике обрабатывают при сборке по отверстию в сопрягаемой детали (или ведут одновременную совместную обработку). В тонкостенных подшипниках скольжения производят дополнительно развальцовку дорнованием или раскатыванием.

После запрессовки возможна деформация поверхности отверстия подшипника скольжения и уменьшение его диаметра, особенно при больших натягах в соединении подшипник скольжения — корпус, поэтому после запрессовки проверяют:

погрешность формы поверхности (некруглость, конусность) индикаторным нутромером в двух взаимно-перпендикулярных направлениях в двух-трех сечениях по длине. В крупносерийном и массовом производстве такой контроль осуществляют пневматическими калибрами (рис. 5.16, *е*), выполненным в виде пробки *1* с соплами *2*, имеющими отверстия диаметром 1,4...1,5 мм. Погрешности формы в сечении оценивают по расходу воздуха;

плотность прилегания торца буртика подшипника к плоскости корпуса щупом;

неперпендикулярность плоскости торца подшипника (особенно если он воспринимает осевые нагрузки) к оси его отверстия специальным индикаторным приспособлением;

соосность отверстий нескольких подшипников скольжения (опор вала в корпусной детали) специальным индикаторным приспособлением (см. рис. 3.26, *и*);

выпучивания, вмятины визуально.

Исправление дефектов производят механической обработкой: формы отверстия развертыванием, прошивкой или калибровкой шариком (после чего, как уже отмечалось, не требуется дополнительная фиксация тонкостенного подшипника скольжения от проворота);

несоосности отверстий совместным развертыванием многоступенчатой разверткой за один проход;

неперпендикулярности торца буртика к оси отверстия подторцовыванием фрезой или резцовой головкой.

Для этих операций предусматривают припуск на соответствующих поверхностях подшипников, о чем указывают на чертеже детали.

Установка вала в отверстия подшипников скольжения ведется при сборке всего узла (редуктора, шатуна с поршнем и пальцем и т. п.). Вал, ось или палец устанавливают с зазором, причем после сборки требуется их фиксация в осевом направлении.

В современных конструкциях неразъемные втулки часто заменяют полимерными материалами (например, фторопласт), которые заливают в отверстие корпуса.

Полимерные материалы образуют с корпусом неразъемное соединение и могут работать в условиях сухого трения при соответствующих скоростях вращения вала. После заливки и отверждения отверстие обрабатывают до требуемой точности и шероховатости поверхности.

Разъемные подшипники скольжения (вкладыши) применяют в разъемных корпусах (например, в опорах коленчатого вала двигателя автомобилей). Вкладыши получают из ленты, покрытой антифрикционным сплавом, или изготавливают литыми из антифрикционных материалов. В быстроходных автомобильных двигателях используют триметаллические вкладыши со стальным основанием, металлокерамическим или медно-никелевым подслоем и баббитовой заливкой. Вкладыши из ленты получают отрезкой и гибкой; литые вкладыши обрабатывают, причем цилиндрические поверхности с точностью по 6—7-му квалитетам, и проверяют правильность формы по краске с помощью специальных эталонов. Вкладыши устанавливают в разъемное отверстие крышки и корпуса с небольшим натягом или по посадке с небольшим зазором. При монтаже вкладыша в ложементе на обе плоскости вкладыша накладывают деревянную или алюминиевую планку и по ней наносят легкие удары. Чтобы исключить возможность перемещения, нижние вкладыши 2 (см. рис. 5.16, в) фиксируют установочными штифтами 3. Посадку штифтов в корпус производят с натягом 0,04...0,07 мм, а вкладыш устанавливают на штифт с зазором 0,1...0,3 мм (рис. 5.16, ж). Фиксацию тонкостенных вкладышей можно производить посредством проволочек 1 (рис. 5.16, з), выштампованных в месте разъема (при их отгибе в паз корпуса) или отбортовкой вкладыша.

Перед установкой вкладышей в корпус и крышку все сопрягаемые поверхности должны быть тщательно осмотрены, а при наличии на них заусенцев — зачищены. Необходимо проверить совпадение масляных каналов в корпусе и крышке с отверстиями во

вкладышах: их несовпадение, превышающее 0,2 диаметра каналов, не допускается. Чтобы облегчить выполнение этого требования, на сопрягаемых поверхностях деталей у торцев масляных каналов делают небольшие расточки. Масляные каналы в корпусе и крышке перед установкой вкладышей должны быть тщательно промыты керосином при помощи шприца. В единичном производстве после подгонки вкладышей по месту на них следует нанести метки. Натяг вкладыша обеспечивают увеличением размера одного из вкладышей и его возвышением над плоскостью разъема на величину Δh (рис. 5.16, *и*).

Высоту вкладышей проверяют на специальном приспособлении (рис. 5.16, *к*), с помощью которого создаются условия, аналогичные условиям работы вкладыша при окончательной затяжке крышки с корпусом после установки вкладышей. Шток пневмоцилиндра 5 через упор 4 передает на вкладыш 2 усилие, равное тому, что действует на вкладыш при затяжке болтов или шпилек при монтаже крышки с корпусом. Размер гнезда (сменная часть в корпусе 1 приспособления), куда устанавливают вкладыш, равен наружному диаметру вкладыша D (см. рис. 5.16, *и*). По предварительно установленному в гнезде эталону-вкладышу отмечают положение стрелки индикатора 3 (см. рис. 5.16, *к*), которое не должно меняться, если их высота Δh (см. рис. 5.16, *и*) соответствует техническим требованиям; в противном случае стрелка индикатора отклоняется. В крупносерийном и массовом производстве такой проверке подвергают все вкладыши. Контрольный автомат позволяет проверять 15 000 дет. в смену. Однозначность положения крышки относительно корпуса при совместной механической обработке отверстия под вкладыши (по 6—7-му квалитетам точности с шероховатостью Ra 0,8... 1,6 мкм) и при дальнейшей их сборке с вкладышами обеспечивают установкой фиксирующих штифтов с натягом, пазами или точными болтами, установленными в крышке и корпусе по посадке (рис. 5.16, *л*).

Крепежные болты или гайки на шпильках должны быть затянуты с одинаковой силой затяжки, контролируемой по моменту затяжки или удлинению болта (шпильки), если конструкция деталей позволяет применить этот метод контроля. В противном случае при монтаже узла может произойти искажение формы посадочных поверхностей вкладышей и нарушение нормальной работы подшипника. Разброс силы затяжки стыка не должен превышать 5 % ее расчетного значения.

Сборка узлов с разъемными подшипниками скольжения производится в следующей последовательности:

- подготовительные работы — осмотр деталей, зачистка заусенцев, протирка поверхностей сопряжения;
- разборка корпуса с крышкой, которые поступают на сборку в собранном виде (комплект). После разборки крышка должна

находиться рядом с корпусом, так как она не взаимозаменяема с другими корпусами;

- установка верхнего вкладыша в крышку, нижнего — в корпус с небольшим натягом или зазором. Плотность прилегания вкладыша в гнезда корпуса и крышки проверяют по краске. В мелкосерийном производстве плотность прилегания обеспечивают пришабриванием сопрягаемых поверхностей вкладыша и гнезда, в серийном и массовом — подбором вкладышей по краске; нижний вкладыш закрепляют от смещения;

- смазывание шеек вала краской и установка вала в подшипниках; установка крышек и затяжка болтов или гаек с требуемым моментом затяжки; поворот вала на два-три оборота рычагом;

- разборка подшипников и осмотр. Необходимо, чтобы 80...85 % поверхности контакта было занято равномерно распределенными отпечатками (количество пятен на площади $25 \times 25 \text{ мм}^2$ не менее 15). Если это требование не обеспечивается, производят повторное шабрение вкладышей и контроль;

- проверка на легкость вращения вала. Если вал вращается туго, находят тормозящее соединение последовательной разборкой крышек опор. Заклинивание вала во вкладышах опоры устраняют пришабриванием поверхности сопряжения вкладыша по шейке вала.

Величину и равномерность зазора между валом и вкладышами определяют щупом или свинцовыми проволочками. Метод проволочек точнее, так как позволяет определить изменение зазора по длине соединения. Проволочки 1 (см. рис. 5.16, з) располагают по образующей вала и кромкам вкладыша. Соединение затягивают, а затем разбирают. Микрометром замеряют толщину проволочек e_1 , e_2 , e_3 . По разности среднеарифметических толщин определяют действительный диаметральный зазор. Если его величина меньше минимально допустимого значения, производят шабрение вкладышей; если больше максимально допустимого значения, производят подгонку плоскости разъема. В обоих случаях снимают слой металла, равный разнице между расчетным и фактическим зазором.

После сборки узлы подшипников скольжения прирабатывают сначала на малых оборотах и небольших нагрузках, подавая в них смазочный материал. Во время приработки следят за температурой нагрева подшипников. Повышение температуры свидетельствует о некачественной сборке.

Для предотвращения коррозии вкладышей, возникающей от контакта с руками рабочего, следует сборку таких узлов вести в хлопчатобумажных перчатках или смазывать руки специальной эмульгирующей смазкой.

Сборка узлов с зубчатыми и червячными передачами. В конструкциях машин и изделий широко распространены зубчатые и червячные передачи. Для зубчатых цилиндрических (прямозубых, косозубых), конических (с прямыми и круговыми зубьями) и червячных

(с цилиндрическими и глобоидными червяками) передач стандартами установлено 12 степеней точности, от 1 до 12 в порядке убывания точности. В машиностроении наиболее часто применяют 6—9-ю степени точности. Для каждой степени точности зубчатых колес установлены нормы кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев. Важнейший фактор, определяющий эксплуатационные качества зубчатой передачи, — боковой зазор между зубьями колес c_0 (рис. 5.17, а), который измеряют:

для цилиндрических зубчатых колес в сечении, перпендикулярном направлению зубьев и плоскости, касательной к основной окружности;

конических — по нормали к поверхности зубьев у большего основания делительного конуса.

Зазор c_0 в зацеплении необходим для компенсации возможных погрешностей размеров зубьев, неточности расстояния между осями зубчатых колес, их угла перекоса (отклонение от параллельности осей), изменения размеров и формы зубьев при нагреве в процессе работы передачи. Нормы гарантированного бокового зазора c_0 для каждого типа сопряжений регламентированы стандартом, их пять: Н — с нулевым гарантированным зазором; Е, Д — с уменьшенным гарантированным зазором; В, А — с увеличенным гарантированным зазором.

Поступающие на сборку зубчатые и червячные колеса, червяки и другие детали передач должны быть полностью обработаны, промыты и высушены. На рабочих поверхностях зубьев колеса или червяка не должно быть заусенцев, забоин, задиров, царапин и других повреждений.

Цилиндрические зубчатые колеса с внешним зацеплением составляют в конструкциях изделий 75...80 % общего количества передач.

Сборка цилиндрических зубчатых колес состоит из двух этапов:

- установка зубчатого колеса на вал;
- установка валов с зубчатыми колесами в корпус.

Процесс установки зубчатого колеса на вал зависит от типа его крепления на валу. Наиболее распространенный тип крепления — это установка зубчатого колеса на вал со шпонкой (рис. 5.17, б, в) либо на шлицевую шейку вала (рис. 5.17, г) по переходным посадкам. Установку колес производят прессованием. В мелкосерийном производстве для колес небольших размеров, незакаленных, устанавливаемых с небольшими натягами, применяют специальные мягкие оправки и молоток. Зубчатые колеса больших размеров, термически обработанные, а также с большими натягами посадки на вал устанавливаются только прессом с использованием приспособлений. Основное требование, предъявляемое к приспособлению, — обеспечение точного направления напрессовываемого зубчатого колеса и устранение его перекоса на посадочной

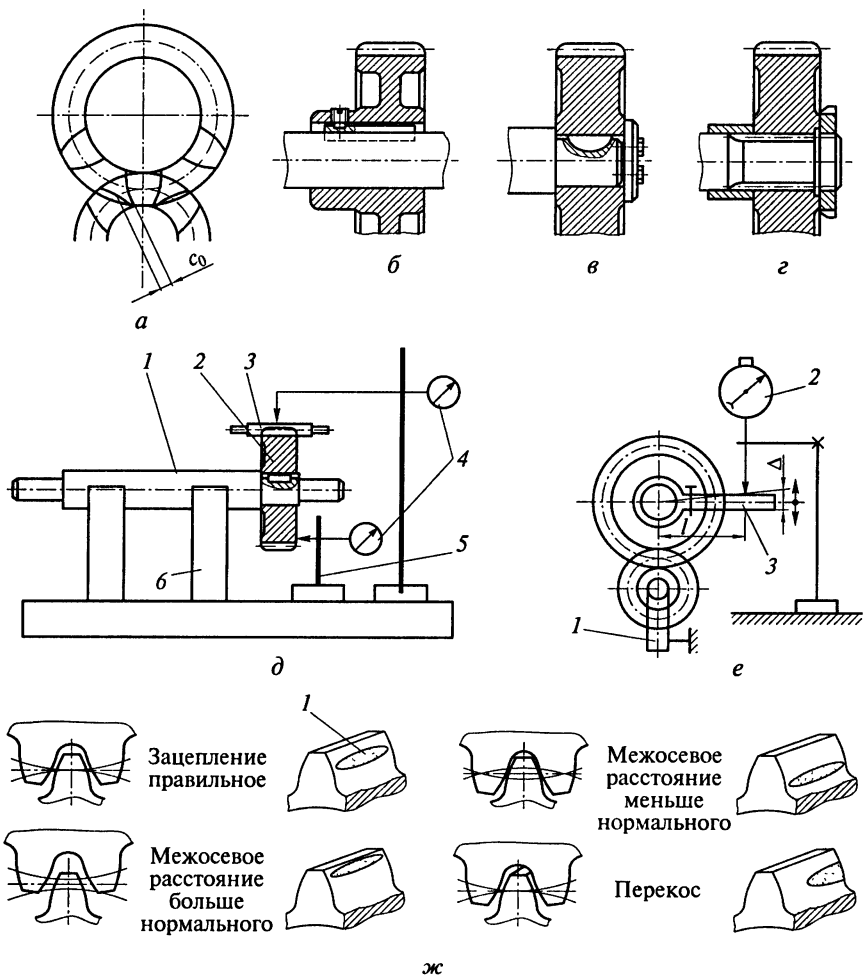


Рис. 5.17. Цилиндрические зубчатые колеса:

a — боковой зазор в зацеплении: c_0 — боковой зазор; *b*—*г* — примеры установки зубчатых колес на валы; *д* — контроль радиального биения основной окружности и торца зубчатого колеса: 1 — вал; 2 — зубчатое колесо; 3 — цилиндрический калибр; 4 — индикаторная головка; 5 — стойка; 6 — призма; *e* — контроль бокового зазора в зацеплении: 1 — стопор; 2 — индикаторная головка; 3 — рычаг; *l* — длина рычага; Δ — разность показаний; *ж* — примеры расположения пятна контакта зубьев при различных условиях зацепления: 1 — пятно контакта

шейке. Для этих же целей на заходной части посадочной шейки вала делают фаски под углом $5 \dots 10^\circ$ или расточку на $2 \dots 3$ мм по посадке $f9$ или $g8$ для центрирования зубчатого колеса с валом перед прессованием. После установки зубчатого колеса возможны следующие дефекты сборки:

- искажение профиля зубчатого венца;
- качание зубчатого колеса; проверяют легким обстукиванием напрессованного колеса киянкой;
- радиальное смещение колеса за счет возможного зазора переходной посадки или биения шейки вала; проверяют в специальном приспособлении, схема которого показана на рис. 5.17, д. Вал l устанавливают в призмах $б$ на контрольной плите, во впадины зубьев колеса 2 закладывают цилиндрический калибр 3 и индикаторной головкой 4 , закрепленной на стойке 5 , замеряют отклонение по всей основной окружности зубьев, поворачивая колесо и перекладывая калибр через два зуба. Радиальное смещение будет равно половине разности максимального и минимального отклонения индикатора измерительной головки;
- перекос колеса на валу; проверяют, измеряя торцевое биение колеса 2 индикаторной головкой 4 (см. рис. 5.17, д);
- неплотное прилегание к упорному буртику вала; проверяют щупом.

Наиболее просто сцепление зубчатых колес происходит при установке валов в разъемные корпуса, так как сопряжение осуществляют по касательной к зубчатому венцу. При установке вала в отверстия неразъемного корпуса осевой подачей необходимо поворачивать вал, чтобы исключить торцевой упор зубчатых колес.

У цилиндрических зубчатых колес 7-й степени точности и грубее необходимый боковой зазор обеспечивают методом полной взаимозаменяемости. У более точных колес необходимый зазор обеспечивают обработкой собираемых деталей с повышенной точностью и малым допуском на межосевое расстояние. Иногда делают совместную притирку зубьев сопряженных колес на специальных станках. Затем их маркируют и отправляют на сборку комплектом. Боковой зазор c_0 зубчатого зацепления можно определить, используя приспособление, схема которого представлена на рис. 5.17, е. На вал одного колеса устанавливают оправку, с рычагом 3 , вал второго колеса контрят стопором 1 . Разность Δ показаний индикаторной головки 2 при покачивании оправки с рычагом 3 , отнесенная к длине l рычага, дает в угловом выражении величину бокового зазора. С учетом радиуса R_0 делительной окружности зубчатого венца получим

$$c_0 = \Delta R_0 / l.$$

Окончательный контроль зубчатого зацепления производят по пятну контакта. На зубья меньшего по размеру зубчатого колеса (шестерню) наносят тонкий слой краски (лазурь). При вращении шестерни на боковой поверхности зубьев парного колеса располагаются следы прилегания — контактное пятно. Нормы контакта (размеры пятна по высоте и длине) регламентированы стандартами. Пятна контакта должны располагаться равномерно по поверх-

ности зуба, занимая не менее 60 % его площади. Расположение пятна контакта при правильном зацеплении зубьев колес показано на рис. 5.17, ж. При увеличенном межосевом расстоянии зубчатых колес пятно контакта смещено к вершине зуба, при уменьшенном — к ножке зуба, при перекосе зубчатых колес — к одному из торцев зубца.

Быстроходные зубчатые зацепления часто подвергают обкатке на специальных установках — стендах с измерением передаваемых крутящих моментов. В результате обкатки происходит приработка зубьев, которая обеспечивает правильное распределение нагрузки, что увеличивает КПД передачи. Одновременно проверяют уровень шума, который обусловлен взаимодействием многих погрешностей, допущенных при сборке передачи. Уровень шума может быть 80...105 дБ при окружных скоростях на зубчатых венцах 5...9,5 м/с. Контроль шумовых характеристик осуществляют в специальных камерах.

Конические зубчатые колеса имеют зуб переменной толщины, что усложняет не только изготовление, но и сборку конических зубчатых передач. При правильном зацеплении образующие конусы делительных окружностей обоих колес сходятся в одной точке O (рис. 5.18, а), однако погрешности обработки деталей передачи и их сборки приводят к осевому смещению вершин и перекосу осей конусов во всех трех плоскостях. В процессе сборки возможно регулирование только осевого смещения при помощи звена-ком-

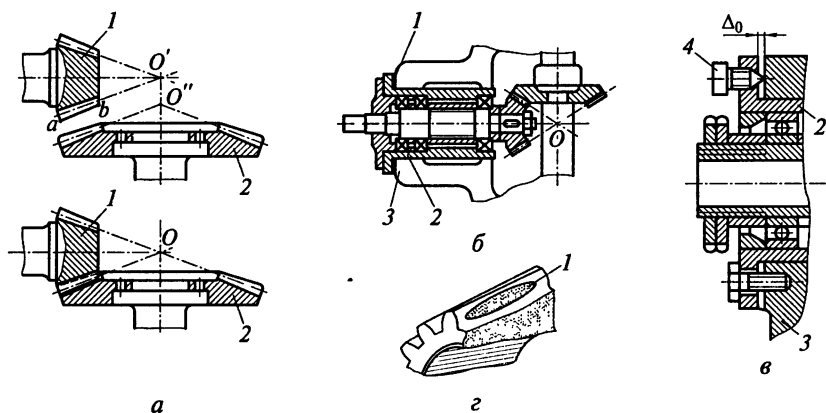


Рис. 5.18. Конические зубчатые колеса:

а — схема сборки: 1, 2 — конические зубчатые колеса; O' , O'' — предельные положения вершины начального конуса зубчатого колеса 1; O — точка пересечения вершин начальных конусов конических зубчатых колес; б, в — регулировка положения зубчатых колес прокладкой-компенсатором и перемещением винта соответственно: 1 — прокладка; 2 — стакан; 3 — корпус; 4 — винт; Δ_0 — боковой зазор; з — правильное расположение пятна контакта: 1 — пятно контакта

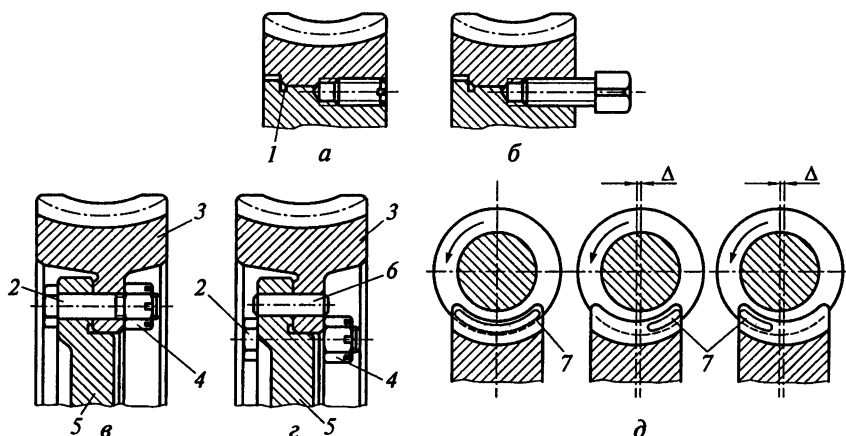


Рис. 5.19. Сборные червячные колеса:

a, б — сборка с запрессовкой и стопорением винтами; *в, г* — крепление венца болтами; *д* — расположение пятна контакта при контроле на краску червячной передачи; 1 — бурт; 2 — болт; 3 — венец; 4 — гайка; 5 — ступица; 6 — штифт; 7 — пятна контакта; Δ — осевое смещение

пенсатора размерной цепи, связывающей зубья конических колес. Замыкающим звеном этой размерной цепи является допуск на несовпадение вершин образующих конусов колес, величина которого оговорена в стандарте и обусловлена степенью точности и размерами зубчатого колеса. При сборке трудно определить углы между мнимыми линиями, каждая из которых начинается в мнимой точке (начальная окружность), поэтому в конических зубчатых передачах боковой зазор регулируют в процессе сборки. На практике его осуществляют двумя способами, контролируя правильность зацепления по пятну контакта:

- подбором толщины регулировочных колец и прокладок 1 (рис. 5.18, б). Необходимая толщина прокладки, указанная в технических требованиях на сборку, подбирается из стальных или латунных прокладок толщиной 0,05...1,5 мм (с шагом 0,05 мм). Возможен второй вариант установки прокладки: сборочные единицы устанавливают в корпус без прокладок; добиваются совмещения зубчатых колес, контролируя его по пятну контакта; измеряют зазор между торцом стакана 2 и торцом фланца корпуса 3; подбирают равную ему по толщине прокладку 1, устанавливают ее и затягивают крепежные детали крышек и стакана;

- перемещением подвижного компенсатора (винта) 4 (рис. 5.18, в). О качестве прилегания боковых поверхностей зубьев судят по размерам и расположению пятна контакта (рис. 5.18, г).

Качество зацепления проверяют при обкатке под нагрузкой. Отсутствие нагрева, стука и повышенного шума свидетельствует о качественной сборке передачи.

Сборку червячных передач начинают со сборки венца со ступицей, если червячное колесо выполнено сборным (рис. 5.19, *а—з*). Венец напрессовывают при помощи приспособления или пресса на ступицу (см. рис. 5.19, *а, б*) в холодном, а чаще нагретом состоянии до упора в бурт. Затем сверлят крепежные отверстия (смещая их оси на 1...2 мм к оси колеса от поверхности сопряжения, чтобы исключить увод оси сверла), нарезают в них резьбу, заворачивают стопорные винты различной конструкции. Посадку в сопряжении венца со ступицей выбирают из условия отсутствия деформации венца при запрессовке. После запрессовки червячное колесо проверяют на биение с установкой в центральной оправке.

При креплении венца 3 со ступицей 5 возможна установка точных болтов 2 (см. рис. 5.19, *в*). При этом после совмещения крепежных отверстий и предварительного скрепления деталей временными болтами эти отверстия поочередно совместно развертывают в двух деталях после проверки колеса на биение. Затем устанавливают болты в отверстия по посадке и затягивают гайки 4 предельным ключом. В червячном колесе (см. рис. 5.19, *з*) болты 2 ставят с зазором, положение венца 3 на ступице 5 фиксируют штифтами 6 (2—3 шт.), отверстия под которые развертывают в сборе. Штифты в отверстия запрессовывают.

Монтаж червячных зубчатых колес на валах и их контроль осуществляют так же, как при сборке цилиндрических колес.

Сборку червячной передачи начинают с установки червяка в сборе с подшипниками в корпус. Затем устанавливают червячное колесо, качество зацепления контролируют по пятну контакта. Краску наносят на червяк и при его вращении получают отпечатки на боковых сторонах зубьев червяка. При правильном зацеплении червяка и колеса краска должна покрывать поверхность зуба червячного колеса не менее чем на 60...70 % по длине и высоте. Если средняя плоскость колеса смещена на расстояние Δ относительно оси червяка вправо или влево, пятно контакта также будет сдвинуто (рис. 5.19, *д*). Регулировку осевого положения червячного колеса осуществляют теми же методами, что и осевого положения конических колес.

Наибольшее влияние на боковой зазор между зубьями червяка и червячного колеса оказывает погрешность межосевого расстояния. Величину бокового зазора контролируют по схеме рис. 5.17, *е*, при этом червячное колесо закрепляют. Поворачивая оправку с рычагом 3, установленную на валу червяка, замеряют угловой люфт (угол холостого хода) червяка. Величина люфта связана определенным соотношением с величиной бокового зазора.

Окончательно собранную червячную передачу нередко проверяют на легкость проворачивания. Максимальный и минимальный крутящие моменты, необходимые для вращения червяка, не

должны отличаться от среднего значения момента более чем на 10 % для точных передач и на 25 % — для обычных.

Собранные червячные передачи обкатывают под нагрузкой, проверяя уровень нагрева и шума.

Сборка узлов с плоскими направляющими скольжения. Плоские направляющие скольжения широко применяют в конструкциях машин, особенно в технологическом оборудовании (станки, кузнечные прессы и т.п.). Обычно узлы сопрягаются по сложному профилю, состоящему из нескольких плоскостей, расположенных под углами 30; 60; 55; 90°. На рис. 5.20 показаны примеры различных направляющих. При сборке необходимо обеспечить плотность прилегания сопрягаемых поверхностей в любом рабочем положении деталей (т.е. на всем пути перемещения подвижной детали), отсутствие люфтов и зазоров по боковым поверхностям, легкость и плавность перемещения подвижной детали.

Процесс сборки узлов с плоскими направляющими скольжения начинают с пригонки плоскостей контакта деталей (способы выполнения пригоночных работ рассмотрены в подразд. 5.2). Чаще всего профиль направляющих наиболее трудоемкой детали (станина) шлифуют, а сопряженной (каретка) — пришабривают к нему. После проверки плотности прилегания поверхностей по краске (число пятен на площади 25 × 25 мм² должно быть не менее 10 для узлов нормальной точности и 18—25 — для прецизионных).

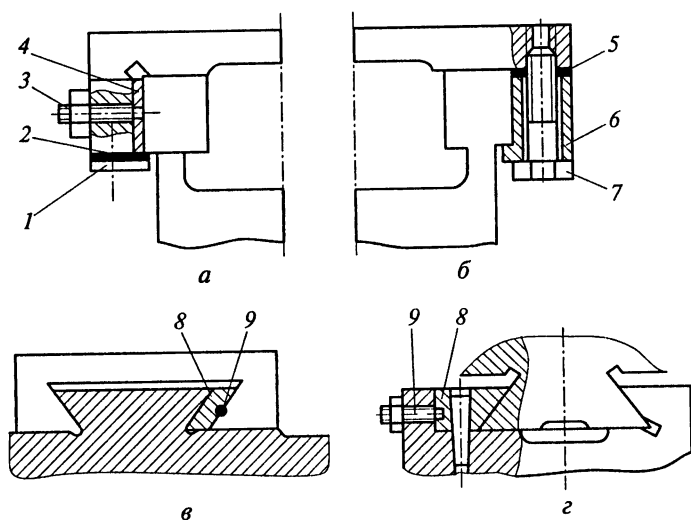


Рис. 5.20. Плоские направляющие скольжения:

а, б — прямоугольные; в, г — типа «ласточкин хвост»; 1 — нижняя планка; 2, 5 — прокладки; 3, 7, 9 — стопорные винты; 4, 8 — клинья; 6 — боковая стойка

При сборке узлов с прямоугольными направляющими (рис. 5.20, а) боковой зазор выбирают подгонкой клина 4, размер которого определяют по фактическому боковому зазору. Плавность перемещения по всей длине обеспечивают пришабриванием клина или боковой поверхности подвижной детали (каретки). Клин фиксируют на подвижной детали винтами. Затем устанавливают нижнюю планку 1 и прокладками 2 обеспечивают плотное прилегание горизонтальных поверхностей и одновременно плавное перемещение подвижной детали.

Направляющие малонагруженных узлов делают с боковыми стойками (рис. 5.20, б), что упрощает процесс изготовления деталей. После установки боковых стоек б подбирают прокладки 5, обеспечивая плотность прилегания плоскостей в подвижном стыке и плавность перемещения. Боковой зазор регулируют перемещением стоек б в пределах зазора в отверстиях под крепежные болты. После регулировки положения стойки б окончательно закрепляют болтами, обеспечивая равномерность их затяжки (правило затяжки резьбовых соединений см. в подразд 5.3). Сборку заканчивают шлифованием боковых стоек.

Плотность прилегания направляющих типа «ласточкин хвост» (рис. 5.20, в, г) по всем поверхностям обеспечивают пришабриванием поверхностей с проверкой по краске. Особое внимание уделяют шабрению клиновой стороны, выдерживая уклон 1:50 или 1:100.

В конструкции, показанной на рис. 5.20, в, плавность перемещения детали обеспечивают регулировкой положения клина 8 по ее длине. Клин выполняют длиннее, чем деталь, и после регулировки его обрезают и стопорят винтом 9. В конструкции на рис. 5.20, г эту задачу выполняют подбором и пригонкой клина 8, которую затем крепят от сдвига к подвижной детали.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируют виды соединений в конструкциях изделий?
2. Дайте краткую характеристику видам неразъемных соединений.
3. Дайте краткую характеристику и область применения подготовительных работ при сборке.
4. Как и какими инструментами выполняют шабрение поверхности?
5. Чем отличается обработка крепежных отверстий при сборке от обработки в механическом цехе?
6. Какие инструменты используют для разметочных работ при сборке?
7. Какова область применения методов тепловой сборки соединений с натягом? Объясните причины, ограничивающие ее использование.
8. Какие погрешности могут возникать при выполнении соединений с натягом продольной запрессовкой? Перечислите методы их устранения.
9. Какие конструкторско-технологические мероприятия необходимы для уменьшения коробления деталей при сварке?

10. От чего зависит выбор припоя при пайке деталей? Какие виды припоев вам известны?

11. В чем преимущества клеевых соединений? Что представляют собой анаэробные клеи? Назовите область их применения.

12. Какие методы неразрушающего контроля применяют для оценки качества неразъемных соединений?

13. Из каких этапов состоит процесс выполнения резьбового соединения? В чем особенность каждого этапа?

14. Какие погрешности влияют на величину и постоянство силы затяжки резьбового соединения?

15. Назовите методы контроля качества выполнения (силы затяжки) резьбовых соединений.

16. Укажите последовательность выполнения затяжки групповых резьбовых соединений.

17. Укажите виды инструмента для сборки резьбовых соединений.

18. От чего зависит величина радиального зазора в подшипниках качения различного типа?

19. Как исправляют погрешности, вызванные запрессовкой в корпус подшипников скольжения?

20. Перечислите технологические методы сборки, обеспечивающие качество сборки узлов с разъемными подшипниками скольжения.

21. Какие погрешности установки зубчатых колес на валу влияют на положение и величину пятна контакта сопрягаемых зубьев?

22. Укажите методы, обеспечивающие точность взаимного положения конических и червячных колес при сборке.

23. Как обеспечивают плотность прилегания поверхностей и легкость перемещения деталей в узлах с плоскими направляющими скольжения?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вереина Л. И.* Справочник токаря: Учеб. пособие для нач. проф. образования. — М.: Издательский центр «Академия», 2002. — 448 с.
2. *Зуев В. М.* Термическая обработка металлов: Учебник для техн. училищ. — М.: Высш. шк., 1981. — 296 с.
3. *Ковшов А. Н.* Технология машиностроения: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. — М.: Машиностроение, 1987. — 320 с.
4. *Корсаков В. С.* Основы конструирования приспособлений в машиностроении: Учебник для вузов. — М.: Машиностроение, 1983. — 227 с.
5. Материаловедение: Учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др.; Под ред. Б. Н. Арзамасова и Г. Г. Мухина. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. — 648 с.
6. *Новиков В. Ю., Схиртладзе А. Г.* Технология станкостроения: Учеб. пособие для техникумов. — М.: Машиностроение, 1990. — 256 с.
7. *Новиков М. П.* Основы технологии сборки машин и механизмов. — М.: Машиностроение, 1981. — 592 с.
8. Сборка и монтаж изделий в машиностроении: В 2 т. — Т. 1 / Под ред. В. С. Корсакова, В. К. Замятина. — М.: Машиностроение, 1983. — 480 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. — М.: Машиностроение, 1986. — Т. 1 — 656 с.; Т. 2 — 496 с.
10. Станочные приспособления: Справочник: В 2 т. / Под ред. Б. Н. Вардашкина, А. А. Шатилова. — М.: Машиностроение, 1984. — Т. 1 — 592 с.; Т. 2 — 656 с.
11. Технологичность конструкций изделий: Справочник / Т. К. Алферова, Ю. Д. Амиров, П. И. Волков и др.; Под ред. Ю. Д. Амирова. — М.: Машиностроение, 1985. — 386 с.
12. Технология конструкционных материалов: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Т. И. Барсукова, Л. Н. Бухаркин, А. С. Васильев и др.; Под ред. А. М. Дальского. — М.: Машиностроение, 1995. — 685 с.
13. Технология машиностроения: Учебник для вузов: В 2 т. / В. М. Бурцев, А. С. Васильев, О. М. Деев и др.; Под ред. А. М. Дальского, Г. Н. Мельникова. — М.: Машиностроение, 1998. — Т. 1 — 564 с.; Т. 2 — 640 с.
14. Технология сборочного производства в машиностроении: Учеб. пособие / И. В. Абрамов, В. Г. Осетров, И. К. Пичугин и др. — Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. — 460 с.
15. Технологические процессы механической и физико-механической обработки в авиадвигателестроении: Учеб. пособие / В. Ф. Безъязычный, М. Л. Кузменко, А. В. Лобанов и др.; Под общ. ред. В. Ф. Безъязычного. — М.: Машиностроение, 2001. — 289 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ	5
1.1. Производственный и технологический процессы (термины и определения)	5
1.2. Точность изготовления изделий в машиностроении	8
1.3. Качество поверхностей деталей машин	19
1.4. Технологичность конструкции изделия и его элементов	29
Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК	32
2.1. Основные понятия	32
2.2. Литые заготовки	33
2.3. Заготовки, получаемые обработкой давлением (ковкой и штамповкой)	41
2.4. Заготовки из проката	57
2.5. Сварные и комбинированные заготовки	60
2.6. Заготовки, получаемые методом порошковой металлургии	63
Глава 3. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ	66
3.1. Основные виды обработки резанием и применяемое технологическое оборудование	66
3.2. Определение припусков на механическую обработку	72
3.3. Требования, предъявляемые к конструкции деталей при механической обработке	75
3.4. Токарная обработка наружных поверхностей тел вращения	76
3.5. Обработка внутренних цилиндрических поверхностей резанием	86
3.6. Обработка плоскостей резанием	100
3.7. Обработка зубчатых и шлицевых поверхностей	108
3.8. Шлифование поверхностей тел вращения, плоских, зубчатых и шлицевых поверхностей	118
3.9. Методы отделочной обработки: хонингование, супер- финиширование, доводка (притирка) полирование	129
3.10. Методы и средства контроля качества изготовления деталей	136
Глава 4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК	142
4.1. Термическая обработка стальных заготовок	142

4.2. Термическая обработка чугунных заготовок	153
4.3. Химико-термическая обработка заготовок из сплавов	157
Глава 5. СБОРКА ИЗДЕЛИЙ	164
5.1. Виды соединений и их характеристика	164
5.2. Требования, предъявляемые к конструкции изделия при сборке	169
5.3. Подготовка деталей к сборке	170
5.4. Процессы сборки неподвижных неразъемных и разъемных соединений	180
5.5. Сборка типовых узлов машин и механизмов	201
Список литературы	221

Учебное издание

Холодкова Альбертина Григорьевна
Общая технология машиностроения
Учебное пособие

Редактор *Е. А. Зубкова*
Технический редактор *Н. И. Горбачева*
Компьютерная верстка: *В. А. Крыжско*
Корректоры *Е. В. Соловьева, С. Ю. Свиридова*

Диапозитивы предоставлены издательством

Изд. № А-1170-1/1. Подписано в печать 24.12.2004. Формат 60×90/16.
Бумага тип. № 2. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,0.
Тираж 30 000 экз. (1-й завод 1—10 000 экз.). Заказ № 14336.

Лицензия ИД № 02025 от 13.06.2000. Издательский центр «Академия».

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.004796.07.04 от 20.07.2004
117342, Москва, ул. Бутлерова, 17-Б, к. 360. Тел./факс: (095) 330-1092, 334-8337.

Отпечатано на Саратовском полиграфическом комбинате.

410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.

Для подготовки квалифицированных кадров в учреждениях начального профессионального образования предназначены следующие учебники и учебные пособия:

- Б. И. Черпаков, Т. А. Альперович
Металлорежущие станки
- Г. Г. Чернышов
**Сварочное дело:
Сварка и резка металлов**
- Т. А. Багдасарова
Токарь-универсал
- Т. А. Багдасарова
Токарное дело: Рабочая тетрадь

ISBN 5-7695-1923-1



9 785769 151923 9

