

Профессиональное образование

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В. Ю. Новиков, А. И. Ильянков

# ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В двух частях

Часть 2

Учебник



  
ACADEMIA

**В. Ю. НОВИКОВ, А. И. ИЛЬЯНКОВ**

# **ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**УЧЕБНИК**

**В ДВУХ ЧАСТЯХ**

**Часть 2**

*Рекомендовано*

*Федеральным государственным учреждением  
«Федеральный институт развития образования»  
в качестве учебника для использования  
в учебном процессе образовательных учреждений,  
реализующих программы среднего профессионального  
образования по специальности «Технология машиностроения»*

*Регистрационный номер рецензии 439*

*от 28 ноября 2010 г. ФГУ «ФИРО»*

4-е издание, стереотипное



Москва

Издательский центр «Академия»

2014

УДК 621(075.32)

ББК 34.4я723

Н731

Рецензент —

преподаватель ГБОУ г. Москвы «Политехнический колледж № 8  
имени дважды Героя Советского Союза И. Ф. Павлова»,  
канд. техн. наук *Н. М. Твердынин*

### **Новиков В. Ю.**

Н731      Технология машиностроения : в 2 ч. — Ч. 2 : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. Ю. Новиков, А. И. Ильянков. — 4-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2014. — 432 с.

ISBN 978-5-4468-1527-2

Рассматривается многообразие методов обработки заготовок при изготовлении деталей машин, изложены принципы и методики построения технологических процессов изготовления деталей, основы современной технологии сборки машин и сборочных единиц, приведены обоснование экономической выгоды автоматизации технологических процессов, реализуемых в условиях мелкосерийного и массового производства, и рекомендации по наладке различных типов станков с ЧПУ, в том числе в условиях автоматизированного производства.

Учебник может быть использован при изучении общепрофессиональной дисциплины «Технология машиностроения» в соответствии с ФГОС СПО для специальности «Технология машиностроения».

Для студентов учреждений среднего профессионального образования. Может быть полезен студентам высших учебных заведений и специалистам промышленных предприятий.

УДК 621(075.32)

ББК 34.4я723

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

ISBN 978-5-4468-1527-2 (ч. 2)  
ISBN 978-5-4468-1525-8

© Новиков В. Ю., Ильянков А. И., 2012  
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012  
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012

Данный учебник является частью учебно-методического комплекта по специальности «Технология машиностроения».

Учебник предназначен для изучения общепрофессиональной дисциплины «Технология машиностроения».

Учебно-методические комплекты нового поколения включают в себя традиционные и инновационные учебные материалы, позволяющие обеспечить изучение общеобразовательных и общепрофессиональных дисциплин и профессиональных модулей. Каждый комплект содержит учебники и учебные пособия, средства обучения и контроля, необходимые для освоения общих и профессиональных компетенций, в том числе и с учетом требований работодателя.

Учебные издания дополняются электронными образовательными ресурсами. Электронные ресурсы содержат теоретические и практические модули с интерактивными упражнениями и тренажерами, мультимедийные объекты, ссылки на дополнительные материалы и ресурсы в Интернете. В них включен терминологический словарь и электронный журнал, в котором фиксируются основные параметры учебного процесса: время работы, результат выполнения контрольных и практических заданий. Электронные ресурсы легко встраиваются в учебный процесс и могут быть адаптированы к различным учебным программам.

Учебно-методический комплект по дисциплине «Технология машиностроения» включает в себя электронные образовательные ресурсы «Технология машиностроения. Основные методы разработки технологических процессов в машиностроении», «Технология машиностроения. Принципы проектирования технологических процессов изготовления машин».

Во второй части учебника «Технология машиностроения» на конкретных примерах сборки узлов и изготовления деталей показано использование метода разработки технологического процесса изготовления машины, изложенного в первой части, для решения практических задач.

Метод представляет собой общий подход к разработке технологии изготовления любых машин и деталей и позволяет при подготовке специалистов отойти от разделения технологии по отраслям, поскольку содержание технологии изготовления изделий определяется не их отраслевой принадлежностью, а зависит от служебного назначения изделий, требований к их точности и количественного выпуска.

Разработку технологического процесса изготовления любой машины следует начинать с анализа норм точности и технических требований.

Далее в определенной последовательности и с учетом количественного выпуска нужно разработать технологический процесс сборки машины и ее узлов. Технология изготовления каждой детали машины предусматривает строго определенную последовательность с учетом общих положений и правил, что обеспечивает согласованность решений, принимаемых на различных этапах разработки технологического процесса.

Главы, посвященные разработке технологических процессов изготовления корпусных деталей, валов, деталей зубчатых передач, изложены по единому плану в соответствии с методом разработки технологического процесса изготовления детали и применительно к особенностям конструкции и количественному выпуску.

В учебнике описаны пути и средства автоматизации производственных процессов как в массовом, так и в мелкосерийном производстве с применением гибких произ-

водственных систем (ГПС), отражена прогрессивная технология отечественных и зарубежных машиностроительных предприятий.

К началу изучения курса «Технология машиностроения» студенты должны знать устройство и эксплуатационные характеристики основных типов металлорежущих станков, в том числе — станков с числовым программным управлением (ЧПУ), а также технологические возможности различных методов обработки материалов, типы и эксплуатационные возможности режущих инструментов.

# МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОСНОВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

## 1.1. ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ (ВАЛОВ)

**Метод обработки** — это условное название процесса обработки поверхности, используемого в технологическом процессе изготовления детали. Это название указывает на специфичность цели, с которой производится обработка. Общие представления о методе обработки дают применяемые для обработки станок и режущий инструмент. Каждый метод обработки имеет определенные возможности и ограничения. Выбирая тот или иной метод обработки конкретной поверхности заготовки, прежде всего, обращают внимание на требования, предъявляемые к готовой детали и условиям производства:

- точность обработки поверхности;
- шероховатость поверхности;
- время обработки поверхности (производительность);
- допускаемая величина припуска на обработку и др.

**Общие сведения.** Поверхности тел вращения представляют собой наиболее распространенный вид обрабатываемых поверхностей заготовок, торцы которых подрезают или фрезеруют, а если по технологическому процессу намечена дальнейшая обработка заготовок в центрах, центрируют.

**Обработка на токарных станках.** При токарной обработке заготовку можно установить:

- в центрах;
- в самоцентрирующих патронах и цангах;

- в самоцентрирующих патронах с использованием заднего центра;
- на оправках, устанавливаемых в центрах;
- в специальных зажимных приспособлениях и др.

При установке заготовки 4 в центрах 1 и 5 (рис. 1.1, а) используют центровые отверстия, обработанные на предыдущих операциях. Для передачи крутящего момента от шпинделя станка к заготовке применяют поводковое устройство, которое может состоять из поводка 2 и хомутика 3, закрепляемого на конце заготовки.

При установке заготовки 4 (рис. 1.1, б) в самоцентрирующем патроне 7 ее свободный конец целесообразно поддерживать задним центром 8. При продольной подаче  $S_{\text{прод}}$  резец 6 снимает припуск А на радиус заготовки.

При обработке длинных заготовок 4, установленных в центрах 1 и 6, резцом 7 с продольной подачей  $S_{\text{прод}}$  (рис. 1.2) для уменьшения прогиба заготовки от сил резания  $P_{\text{рез}}$  применяют люнет 5, который поддерживает заготовку, ограничивая ее прогиб. Передача

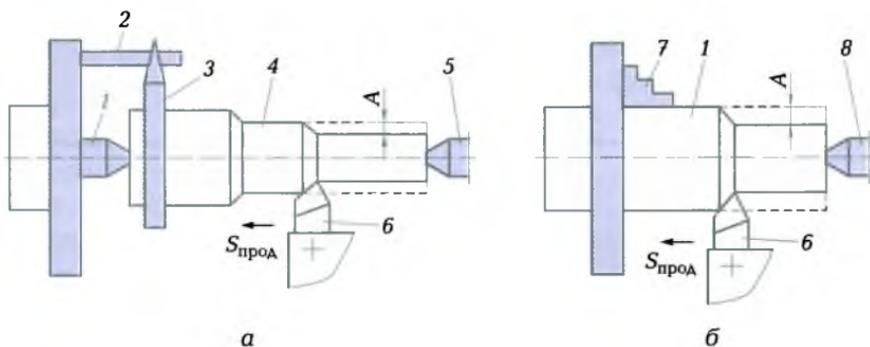


Рис. 1.1. Схемы установки заготовки на токарном станке:  
а — в центрах; б — в самоцентрирующем патроне

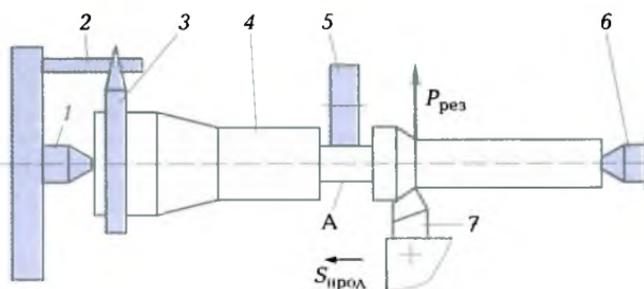


Рис. 1.2. Схема использования люнета при обтачивании

крутящего момента от шпинделя станка к заготовке осуществляется при помощи поводка 2 и хомутика 3. Кулачки подвижного люнета устанавливают по ранее обработанной (прошлифованной) поверхности А заготовки, а корпус люнета или закрепляют неподвижно в определенном месте на суппорте станка, или люнет перемещается, находясь во время снятия припуска напротив резца.

Черновую обработку наружных поверхностей выполняют как на обычных, так и на многорезцовых станках (в зависимости от вида производства).

Уменьшение машинного времени может быть достигнуто в результате применения трех основных технологических приемов:

- деления длины обработки;
- деления длины наибольшей ступени;
- деления величины припуска.

Так, при обработке наружной поверхности трехступенчатого вала (рис. 1.3, а) на универсальном токарном станке расчетная длина  $l$  рабочего хода составит сумму длин этих ступеней ( $l' + l'' + l'''$ ), к которой следует прибавить длину, необходимую для врезания и перебега резца.

На многорезцовом токарном станке, снабженном соответствующей технологической оснасткой (многорезцовая державка и не-

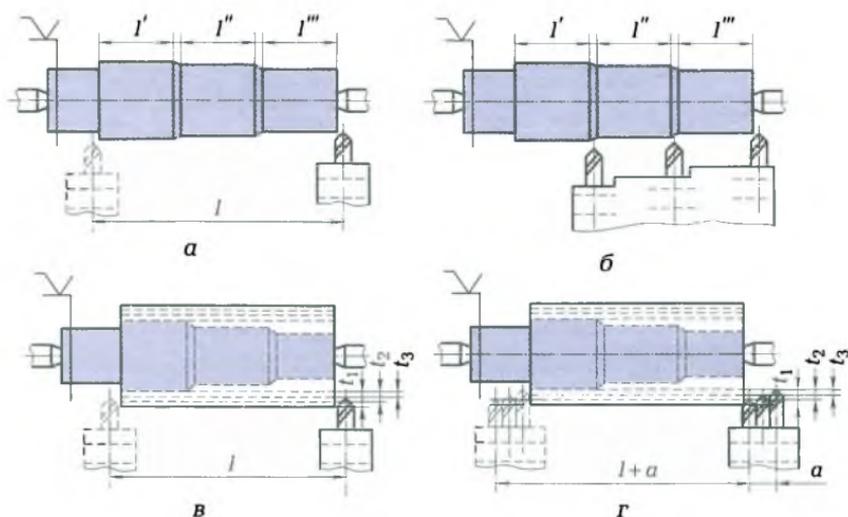


Рис. 1.3. Схемы обработки наружной поверхности ступенчатого вала: а — на универсальном токарном станке; б — на многорезцовом токарном станке; в — за несколько рабочих ходов; г — с применением нескольких резцов

сколько резцов), можно произвести эту же работу с уменьшением длины рабочего хода примерно в 3 раза, так как каждый резец при этом будет обрабатывать только свою ступень (рис. 1.3, б). Это соответственно позволяет уменьшить примерно в 3 раза основное время обработки. Чем больше частей, на которые разделена длина обработки (в зависимости от числа резцов, одновременно участвующих в работе), тем больше сокращается основное время. Помимо сокращения основного времени этот метод обработки позволяет сократить время вспомогательных приемов, так как при этом отпадает необходимость настройки резца на обработку каждой ступени вала (резцы устанавливаются в многорезцовой державке станка с перепадами, определяемыми разностью радиусов цилиндрических поверхностей обрабатываемых ступеней).

Заготовку ступенчатого вала можно обрабатывать по наружной поверхности с большим припуском по условиям, определяемым стойкостью резца и мощностью универсального токарного станка, за несколько рабочих ходов (в случае, показанном на рис. 1.3, в, — за три рабочих хода с глубиной резания  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ ).

При обработке на том же станке с применением нескольких резцов число рабочих ходов может быть сокращено до одного. Так, установка трех резцов (рис. 1.3, г) дает возможность снять весь припуск за один рабочий ход при весьма незначительном увеличении его длины ( $l + a$ ).

В случаях, когда весь припуск может быть снят за один проход при максимальной нагрузке на резец, применение метода деления припуска позволяет разгрузить каждый из работающих резцов, пересмотреть режимы резания и уменьшить машинное время.

Наибольший удельный вес в обработке наружных поверхностей вращения занимает обработка на станках токарно-револьверной группы, которые составляют 25...50 % общего станочного парка машиностроительного предприятия.

**Обработка на токарно-револьверных станках** применяется преимущественно при изготовлении деталей из пруткового материала. Эти станки снабжены револьверной головкой с вертикальной или горизонтальной осью поворота, имеющей 6 или 8 позиций для закрепления на них различных инструментов, устанавливаемых при наладке операции в строго определенное положение.

Кроме того, большинство типов револьверных станков содержат суппорт, что позволяет совмещать отдельные переходы во времени.

На револьверных станках целесообразно обрабатывать короткие валы или детали типа втулок, имеющие относительно слож-

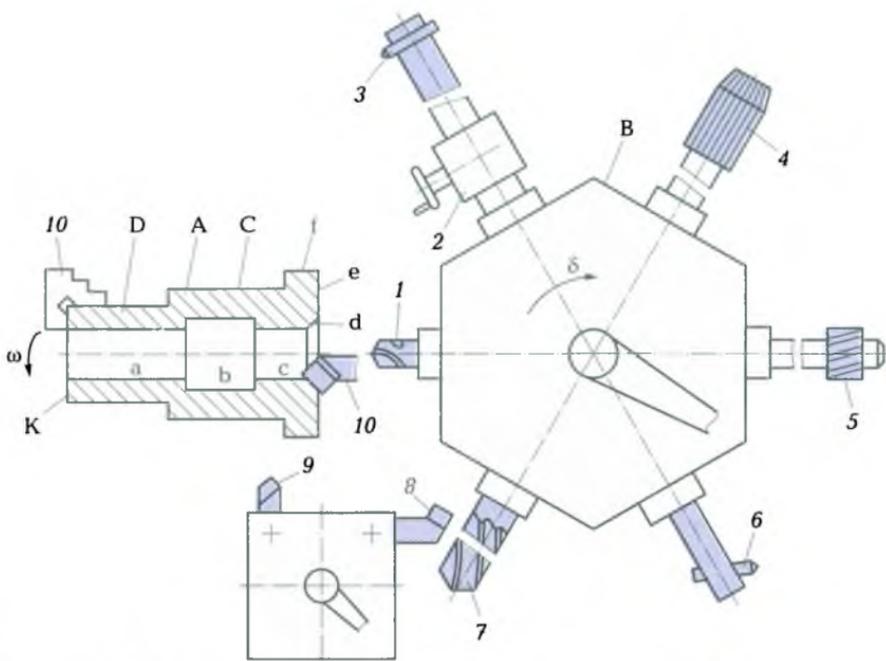


Рис. 1.4 Схема наладки на токарно-револьверном станке

ные очертания, что позволяет задействовать все позиции револьверной головки с максимальной концентрацией операции. Кроме обтачивания производят нарезание наружной резьбы.

На рис. 1.4 приведен пример наладки операции для обработки штучной заготовки А на револьверном станке с вертикальной осью поворота револьверной головки В в направлении  $\delta$ . Заготовка, обработанная с одной стороны (поверхности С, D, К) на предыдущей операции, закреплена в приспособлении 10, вращающемся с угловой скоростью  $\omega$ . Операция состоит из следующих основных переходов.

1. Обтачивание плоской поверхности е резцом 8.
2. Обработка цилиндрической поверхности f резцом 9.
3. Зацентровка под сверление коротким сверлом 1.
4. Сверление сквозного отверстия с и а сверлом 7.
5. Растачивание отверстий с и а резцом б.
6. Зенкерование цилиндрической поверхности с зенкером 5.
7. Развертывание цилиндрической поверхности с разверткой 4.
8. Растачивание поверхности b резцом 3, используя ручной поперечный суппорт 2.
9. Обработка фаски d резцом 10.

По точности обработка на револьверном станке при сверлении, зенкеровании и развертывании отверстий сравнима с обработкой на токарных станках, а при обтачивании и растачивании точность ниже на 1—2 квалитета по сравнению с токарными станками.

Точность взаимного положения торцевых поверхностей зависит от точности и очередности настройки упоров, которые автоматически отключают продольную подачу. При настройке упоров необходимо соблюдать принцип совмещения баз. Упор, определяющий положение конкретной обрабатываемой поверхности, следует настраивать от поверхности, с которой обрабатываемая поверхность связана операционным размером.

На рис. 1.5 показан пример очередности настройки упоров с соблюдением принципа совмещения баз, при котором погрешность взаимного положения торцевых поверхностей будет минимальной.

После настройки упора, определяющего положение торцевой поверхности А (величина выдвижения прутка 2), следует настраивать упоры для резцов 1 (размер К) и 5 (размер М). Упор для резца 3 (размер С) настраивают после настройки упора для резца 1, а упор для резца 4 (размер В) настраивают после настройки упора для резца 3. Отступление от принципа совмещения баз приведет к появлению в указанных размерах дополнительной погрешности от несовмещения баз.

Револьверные станки можно использовать более рационально, применив особые типы наладки: дублированную наладку, двойную или постоянную наладку.

При дублированной наладке в свободные гнезда револьверной головки вставляют второй комплект режущего инструмента. Этот

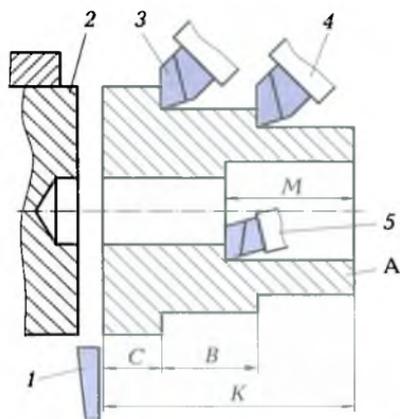


Рис. 1.5. Схема очередности настройки упоров

прием исключает холостые повороты головки для смены позиции и увеличивает вдвое время до переточки режущего инструмента.

При двойной наладке в гнездах револьверной головки устанавливают режущий инструмент для обработки двух разных заготовок. Этот вариант целесообразен при изготовлении деталей небольшими партиями.

При постоянной наладке за станком закрепляют несколько схожих операций, чтобы при переходе к обработке другой заготовки требовалось заменить лишь некоторые резцы, не меняя саму державку для резца.

Наиболее распространенным видом обработки наружных поверхностей тел вращения на токарных станках является обтачивание при продольном перемещении суппорта с режущим инструментом (рис. 1.6, а).

Фасонное обтачивание, т.е. обработку поверхностей деталей со сложной конфигурацией (сферических, ступенчатых, конических и др.), осуществляют при одновременном перемещении режущего инструмента в продольном и поперечном направлениях (рис. 1.6, б), а также при обработке фасонными резцами. Фасонное обтачивание по копиру, контур которого соответствует контуру обрабатываемой заготовки (рис. 1.6, в), значительно упрощает обработку заготовок.

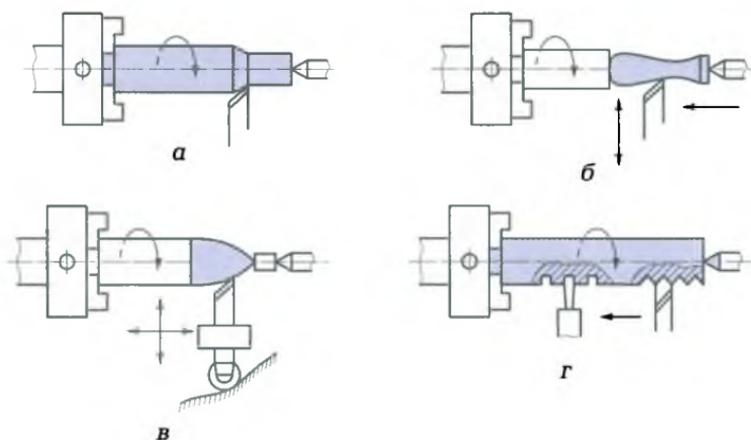


Рис. 1.6. Схемы обработки наружных поверхностей тел вращения на токарных станках:

а — обтачивание; б — фасонное обтачивание при одновременном перемещении инструмента в продольном и поперечном направлениях; в — фасонное обтачивание по копиру; г — нарезание резьбы

Нарезание резьбы (рис. 1.6, г) также является весьма распространенной операцией. На современных токарных станках можно нарезать метрические, дюймовые и другие резьбы, а также многозаходные резьбы разных профилей.

Токарная обработка состоит из черновых (обдирочных) и чистовых операций. В ряде случаев применяют также получистовую и отделочную (тонкую) обработку. При черновых операциях снимают как можно большую часть припуска с приданием заготовке формы, приближающей к форме детали. Достигаемая при этом шероховатость поверхности не превышает  $Ra\ 2,5$  мкм. Получистовое точение позволяет повысить шероховатость обрабатываемой поверхности до  $Ra\ 2,5 \dots 1,25$  мкм, при этом достигается более высокая точность обработки. При чистовых операциях заготовке придают окончательную форму с шероховатостью поверхности  $Ra\ 1,25 \dots 0,63$  мкм. Тонкое точение может заменить шлифование, являясь, таким образом, отделочной операцией, и позволяет получить шероховатость обработанной поверхности  $Ra\ 1,25 \dots 0,63$  мкм.

Простейшей формой фасонного обтачивания является обработка конической поверхности. Узкие конические поверхности, например фаски, обрабатывают путем установки резца с прямолинейной режущей кромкой на заданный угол. Конус можно обработать также при повороте верхних салазок суппорта на угол, равный половине угла при вершине конуса.

При небольшом значении угла при вершине конус можно обработать методом поперечного смещения задней бабки. Однако этот метод является приближенным, так как при смещении задней бабки вместе с ней смещается и заготовка, в результате чего ее длина проектируется на плоскость, проходящую через линию центров станка, с искажением.

В крупносерийном и массовом производстве широко применяют различные токарные полуавтоматы и автоматы. Основными технологическими схемами обработки на этих станках являются:

- **параллельная** — при обработке изделия в каждой позиции участвует несколько инструментов, работающих одновременно: начало и окончание работы отдельных инструментов могут не совпадать, но необходимо, чтобы в течение некоторого времени все инструменты работали одновременно;
- **последовательная** — в обработке изделия участвует несколько инструментов, вступающих в действие последовательно; следующий инструмент вступает в работу только после окончания работы предыдущего;

- **параллельно-последовательная** — в обработке изделия участвует несколько групп инструментов; в группах инструменты работают параллельно, а сами группы инструментов — последовательно;
- **ротационная** — в обработке изделия участвует один инструмент или группа инструментов при одновременном ротационном движении заготовок и инструментов; каждая деталь обрабатывается инструментами, которые не участвуют в обработке других деталей;
- **непрерывная** — в обработке изделия участвует один или несколько инструментов при непрерывной подаче заготовок.

Ротационная и непрерывная технологические схемы обработки существенно различаются между собой: при ротационных схемах имеет место отвод и подвод инструментов (возвратно-поступательное движение), в станках непрерывного действия направление транспортирования совпадает с движением подачи. При благоприятных условиях в станках непрерывного действия контакт инструмента с обрабатываемой деталью поддерживается непрерывно, что невозможно в станках ротационного типа.

На основе технологических признаков токарные полуавтоматы и автоматы подразделяют на следующие виды:

- автоматы фасонно-отрезные и фасонно-продольного точения;
- токарно-револьверные автоматы;
- токарные одношпиндельные автоматы;
- токарные многошпиндельные автоматы и полуавтоматы;
- копировальные автоматизированные станки.

**Обработку на фасонно-отрезных автоматах** применяют для обтачивания коротких фасонных заготовок, нарезания наружной резьбы, а также для сверления центрального отверстия. Обтачивание фасонных поверхностей и отрезку заготовки от прутка производят режущим инструментом, закрепленным на поперечных суппортах, число которых составляет от двух до пяти. С продольного суппорта сверлят отверстия и нарезают резьбу. На рис. 1.7, а показаны типовые детали, обрабатываемые на фасонно-отрезных автоматах, а на рис. 1.7, б — технологическая схема обработки детали на станке, оснащенном дополнительным приспособлением для центрирования, сверления и развертывания.

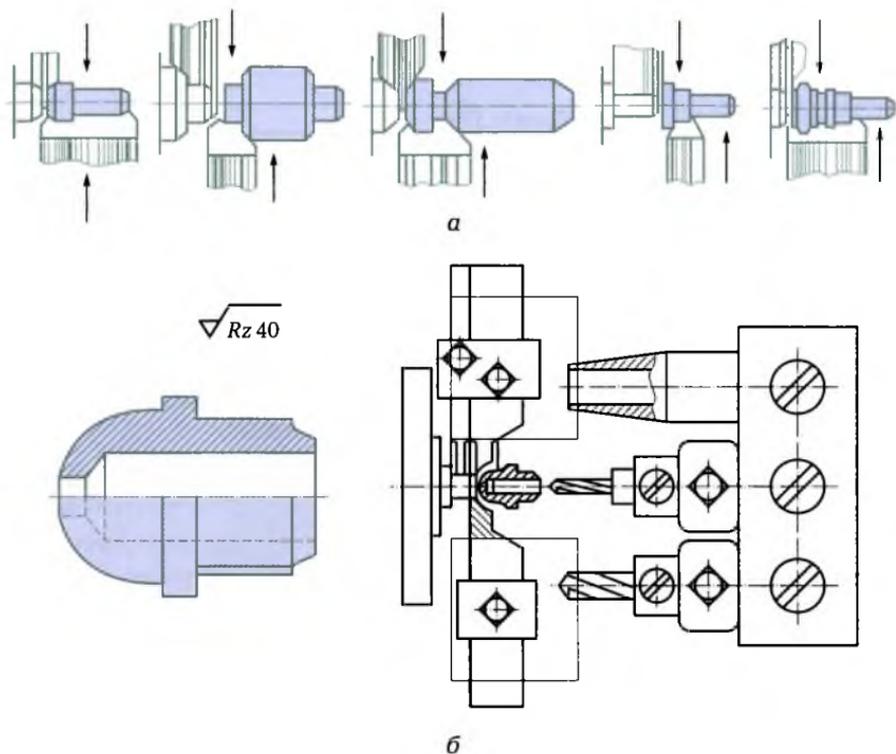


Рис. 1.7. Схемы обтачивания фасонных поверхностей на фасонно-отрезных автоматах:

а — обработка типовых деталей; б — обработка на станке, оснащенном дополнительным приспособлением для центрирования, сверления и развертывания

**Обработка на фасонно-токарных автоматах** для продольного точения отличается от обработки на фасонно-отрезных автоматов тем, что на них обтачивают заготовку поперечно-перемещающимися резцами при продольной рабочей подаче обрабатываемого прутка. Продольная подача осуществляется перемещением шпиндельной бабки. На рис. 1.8 показаны типовые детали, обрабатываемые на автоматах фасонно-продольного точения.

**Обработка на токарно-револьверных автоматах** отличается от обработки на обычных токарно-револьверных станках тем, что все действия их рабочих органов полностью автоматизированы. Такие автоматы снабжены шестипозиционной револьверной головкой с горизонтальной осью вращения, перпендикулярной оси вращения шпинделя, и тремя поперечными суппортами — передним, задним и верхним.

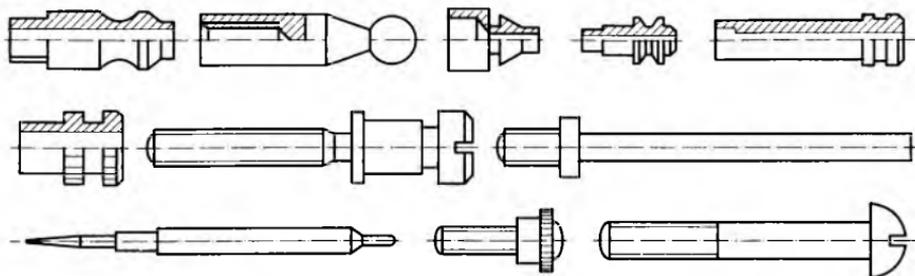


Рис. 1.8. Типовые детали, обрабатываемые на автоматах фасонно-продольного точения

На рис. 1.9, а приведены типовые детали, обрабатываемые на токарно-револьверных автоматах, а на рис. 1.9, б — технологическая схема наладки станка для обработки детали (колпачка) из пруткового материала. Загрузочный этап I на рисунке не показан. После подачи до упора и закрепления прутка инструментами, установленными в первых трех гнездах, производится рассверливание заготовки, после чего инструментами, установленными в гнездах 4 и 5, производится обтачивание поверху и растачивание отверстия заготовки, а в гнездах 6—8 — то же, с нарезкой заготовки. Затем инструментами, установленными в гнездах 9 и 10, производится подрезка в размер с окончательным оформлением отверстия, а в гнезде 11 — отрезка с поддержкой от упора, размещенного в гнезде 12. Движением револьверной головки и поперечных суппортов на револьверных автоматах управляет распределительный вал с постоянными и сменными кулачками.

На револьверных автоматах можно производить обтачивание с продольной и поперечной подачами, нарезание резьбы, сверление отверстий и другие операции.

Многорезцовые токарные станки применяют для повышения производительности за счет совмещения переходов, т.е. за счет концентрации операций. Эти станки снабжены независимыми друг от друга суппортами, каждый из которых может нести несколько резцов. Передний суппорт имеет только продольную подачу, а задний суппорт — только поперечную.

Каждый из суппортов можно использовать различными способами. Например, если продольный суппорт А используется по способу «деления припуска», то резцы 1, 2 и 3 (рис. 1.10) вступают в работу один за другим. Каждый резец устанавливают на заданный диаметр ( $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ), и каждый резец снимает определенную часть

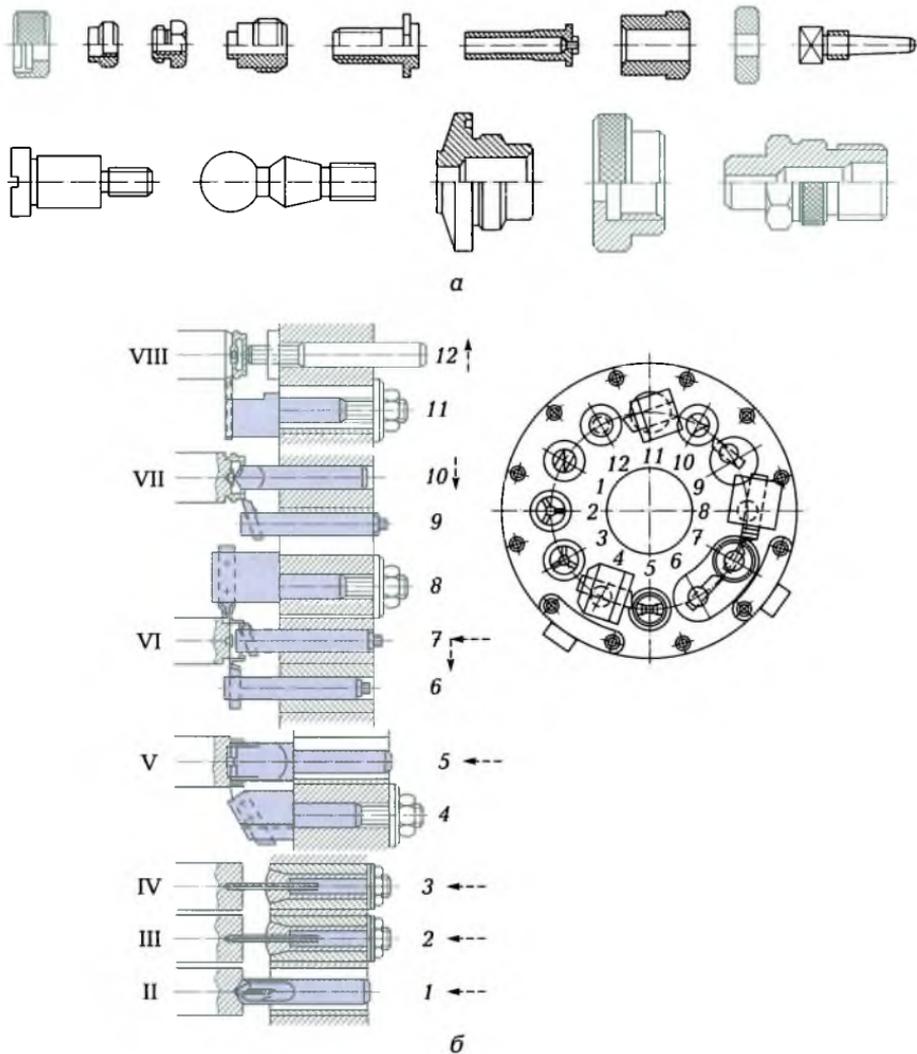


Рис. 1.9. Типовые детали (а) и этапы наладки (б) токарно-револьверного автомата для обработки детали из пруткового материала:

1—12 — номера гнезд; II—VIII — этапы наладки

( $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ) общего припуска на обработку при продольной подаче  $S_{\text{прод}}$ .

Поперечный суппорт В используют для проточки узких канавок или фасок. Обработку заготовки ведут, используя поперечную подачу  $S_{\text{поп}}$ , фасонными резцами 5 и 6, профиль которых соответствует заданному профилю поверхности.

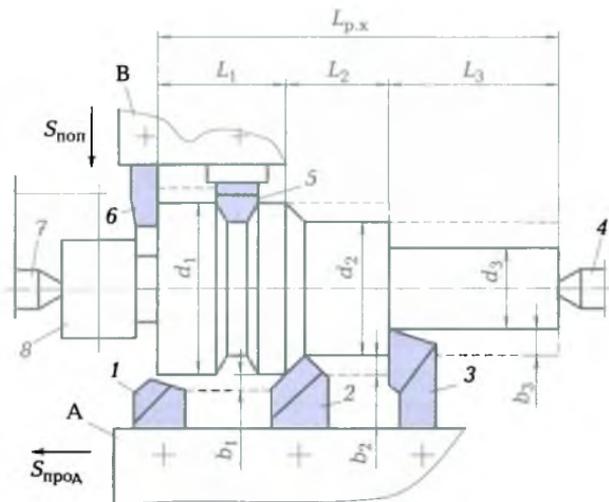


Рис. 1.10. Схема обработки на многолезцовом станке

При наладке операции заготовка 8 установлена в центрах 7 и 4, а взаимное положение резцов определяется геометрией готовой детали. Длина  $L_{р.х}$  рабочего хода продольного суппорта равна сумме длин обрабатываемых ступеней:

$$L_{р.х} = L_1 + L_2 + L_3.$$

Из анализа схемы обработки очевидно, что данный способ целесообразно применять при изготовлении деталей с постепенно уменьшающимися диаметрами ступеней, диаметры которых больше диаметров центров.

**Токарные одношпиндельные полуавтоматы** подразделяют на патронные и центровые. Между ними нет резких конструктивных различий, так как центровые станки без особых изменений могут быть превращены в патронные, и наоборот. Во всех вариантах одношпиндельные полуавтоматы имеют по два или три суппорта, но при обработке длинных деталей число суппортов может быть увеличено. Суппорты имеют поперечное, продольное и сложное прямолинейное или криволинейное перемещение.

На патронных полуавтоматах иногда обрабатывают внутренние конусы и выточки, которые получают при одновременном или последовательно продольном и поперечном перемещениях режущего инструмента. На таких станках обрабатывают детали диаметром от 75 до 1 000 мм.

В крупносерийном и массовом производстве наиболее распространены одношпиндельные многорезцовые центровые полуавтоматы.

На рис. 1.11, а приведена технологическая схема обработки заготовки на центровом одношпиндельном полуавтомате. В державке продольного (верхнего) суппорта 1 установлены два проходных резца 2 и 6; резец 2, обтачивающий коническую поверхность А заготовки, работает по копиру 7. На поперечном (нижнем) суппорте 4, имеющем радиальную подачу, установлены фасонные резцы 3 и 5.

На рис. 1.11, б приведена технологическая схема обработки в патроне наружного кольца конического роликоподшипника на одношпиндельном полуавтомате.

**Токарные многшпиндельные автоматы** и полуавтоматы подразделяют на горизонтальные с вращающейся или неподвижной заготовкой и вертикальные непрерывного или последовательного действия.

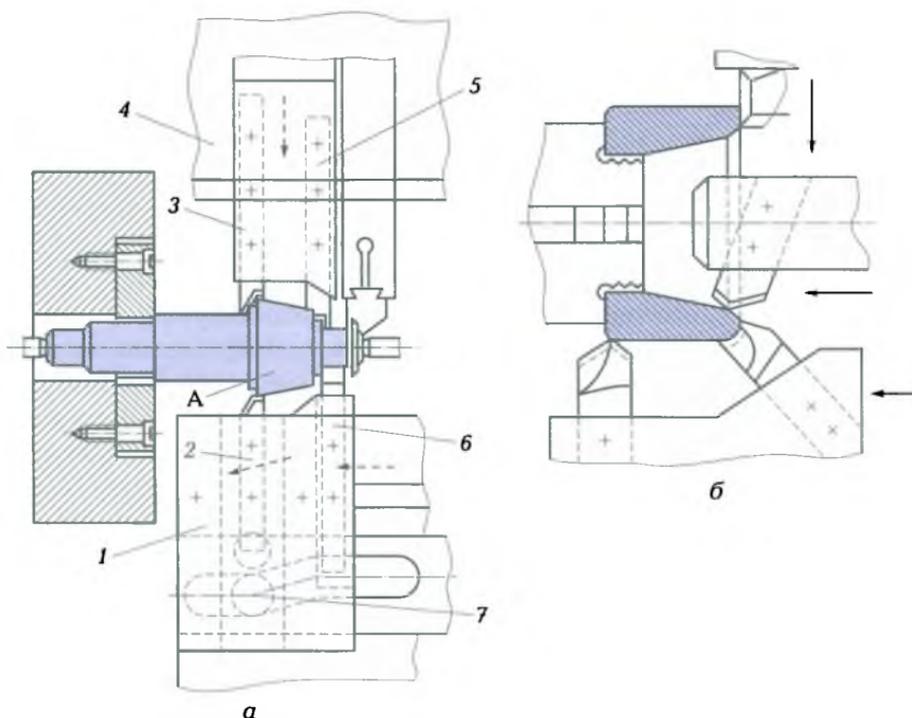


Рис. 1.11. Технологические схемы обработки на центровом (а) и патронном (б) одношпиндельных полуавтоматах

Горизонтальные многошпиндельные полуавтоматы с вращением обрабатываемой заготовки широко распространены в промышленности; полуавтоматы с неподвижной обрабатываемой заготовкой и вращающимися режущими инструментами встречаются реже.

Вертикальные многошпиндельные полуавтоматы непрерывного действия (ротационные) предназначены для обработки заготовок, установленных в центрах или закрепленных в патронах. На каждой позиции, кроме установочной, производят одну и ту же операцию. Режущие инструменты, установленные на всех суппортах, налажены одинаково. Таким образом, станок представляет собой как бы несколько одношпиндельных вертикальных многорезцовых полуавтоматов, шпиндели которых размещены на вращающейся карусели. Загрузка шпинделей суппортов происходит при непрерывно вращающемся столе, при этом все суппорты непрерывно продолжают работу, кроме суппорта, находящегося в загрузочной позиции, шпиндель которого не вращается.

Многошпиндельные вертикальные полуавтоматы последовательного действия, изготавливаемые с шестью, восемью и более шпинделями, в основном предназначены для патронных работ.

Заготовки закрепляют в патронах шпинделей станка. На пяти позициях в последовательности выполнения технологических переходов одновременно обрабатывают пять заготовок, каждая из которых, перемещаясь из одной позиции в другую, проходит полный цикл обработки.

По окончании цикла обработки заготовка подходит к шестой позиции, т.е. оказывается в загрузочно-разгрузочной зоне, где вращение шпинделя прекращается, что дает возможность снять обработанную заготовку и установить в патрон новую.

На многошпиндельных полуавтоматах одновременно можно обрабатывать две различные или одинаковые заготовки с двух сторон. В этих случаях две позиции являются загрузочно-разгрузочными, а шпиндели переключаются через позицию (двойная индексация карусели).

На рис. 1.12 приведена технологическая схема обработки заготовки на вертикальном многошпиндельном шестипозиционном полуавтомате. На позиции I снимают готовую деталь и устанавливают новую заготовку. На последующих позициях (II—VI) обрабатывают наружные и внутренние поверхности деталей.

На горизонтальных многошпиндельных токарных автоматах обрабатывают главным образом детали из прутков. При оснащении автоматов специальными загрузочными устройствами на них можно изготавливать детали из штучных заготовок.

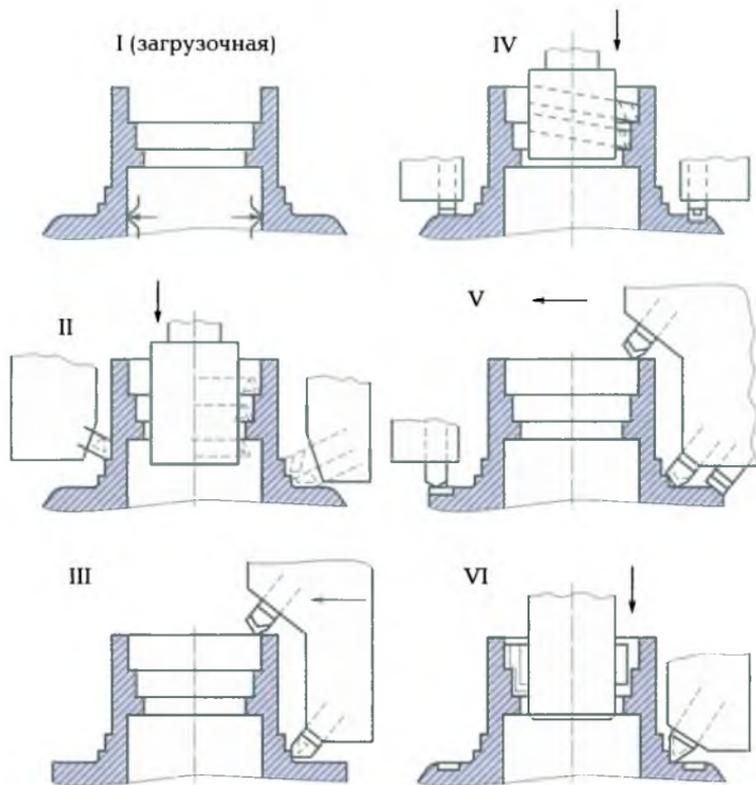


Рис. 1.12. Технологическая схема обработки заготовки на вертикальном шестипозиционном полуавтомате

Многошпиндельные автоматы чаще всего имеют четыре или шесть шпинделей, значительно реже — пять и восемь.

На рис. 1.13 приведены примеры обработки заготовок из прутка на многошпиндельном автомате. На рис. 1.13, а показана обработка заготовки на четырехшпиндельном автомате параллельным методом. Как видно из схемы, на каждом автомате все переходы операции повторяются и в конце цикла автомат изготовит одновременно четыре заготовки.

На рис. 1.13, б показана обработка заготовки на четырехшпиндельном автомате последовательным методом. Как видно из схемы, на каждом шпинделе выполняют отдельные переходы и за весь цикл автомат обрабатывает одну заготовку.

Обработка заготовки на восьмишпиндельном автомате по параллельно-последовательному методу показана на рис. 1.13, в. Из схемы видно, что на каждом шпинделе обеих параллельных

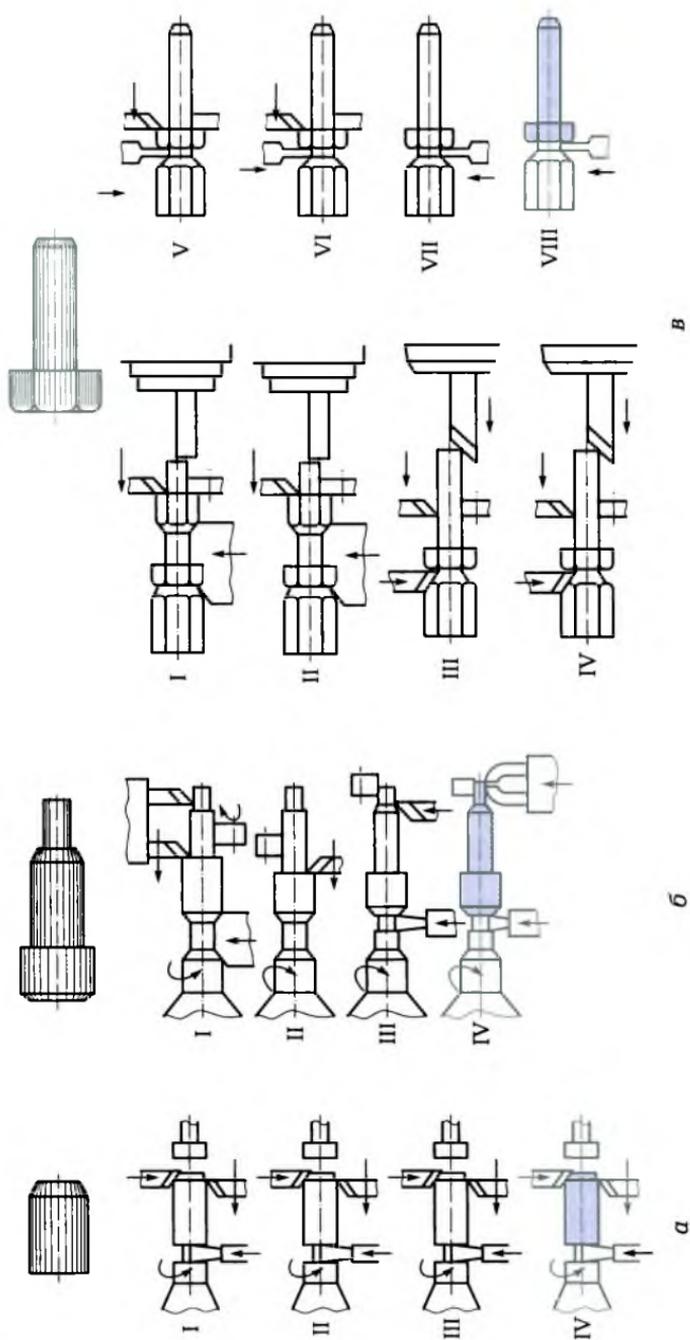


Рис. 1.13. Примеры обработки заготовок из прутка на многошпиндельном автомате параллельным (а), последовательным (б) и параллельно-последовательным (в) методами:  
 I—VIII — номера позиций

групп выполняется отдельный переход и в конце цикла автомат производит две заготовки одновременно.

При обработке на многошпиндельных автоматах стремятся к максимальному совмещению переходов и примерно одинаковой длительности обработки на всех позициях; это достигается расчленением наиболее длительных переходов на ряд позиций с выбором соответствующей величины подачи, применением многоинструментных наладок, комбинированных инструментов и т. п.

На рис. 1.14 приведен пример наладки четырехшпиндельного автомата для изготовления фасонных гаек. В этой наладке материал подается до упора по длине на две гайки. Фасонные резцы на позициях I и III обтачивают гайки по профилю и одновременно протачивают начальную канавку под отрезной резец. На позициях II и IV гайки отрезают. Сверление производят комбинированными (ступенчатыми) сверлами.

**Обработка на карусельных станках** применяется при изготовлении крупногабаритных и тяжелых деталей типа дисков и колец. Заготовка базируется в горизонтальном положении, а в остальном операция выполняется так же, как на токарном или большом револьверном станке. Высокая жесткость карусельного станка позволяет снимать большой припуск за один проход резца.

Наличие нескольких суппортов и револьверной головки у карусельных станков позволяет проектировать операции с высокой степенью концентрации (несколько основных переходов), что уменьшает число перестановок тяжелых крупногабаритных заготовок.

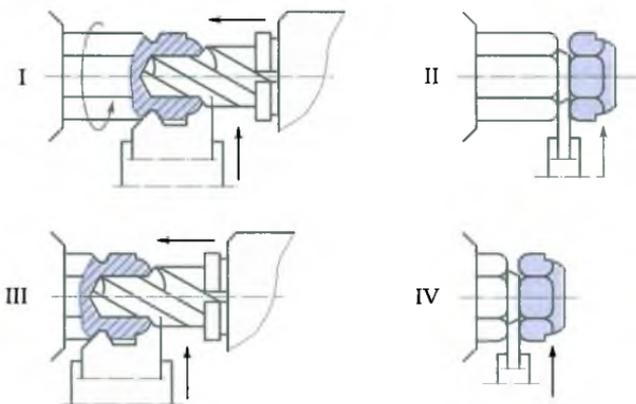


Рис. 1.14. Пример наладки четырехшпиндельного автомата для изготовления фасонных гаек

**Обработка на шлифовальных станках** применяется при изготовлении деталей, материал заготовок для которых имеет высокую твердость. Обработка производится абразивным инструментом, режущим элементом которого являются мелкие частицы (зерна) абразивных материалов. При шлифовании получают высокую точность обработанных поверхностей и высокий класс чистоты поверхности (малую шероховатость). В зависимости от геометрии детали (протяженность поверхности, жесткость) применяют различные методы шлифования.

Шлифовальные абразивные круги состоят из мелких зерен абразивных материалов, сцементированных между собой связующим веществом — связкой. Твердость абразивных материалов значительно выше твердости закаленной стали.

Материалы, применяемые для изготовления абразивного инструмента, подразделяют на природные и искусственные. К природным абразивам относятся алмаз, корунд, наждак, гранит, кварц, кремний, полевой шпат, пемза и др.

Для изготовления шлифовальных кругов в основном применяют искусственные абразивные материалы, которые обладают более высокими качествами по сравнению с естественными в отношении однородности и чистоты и дешевле последних.

Шлифовальные круги изготавливают из следующих искусственных абразивных материалов: нормального и белого электрокорунда, черного и зеленого карбида кремния.

**Электрокорунд** — это кристаллический оксид алюминия ( $Al_2O_3$ ), получаемый плавкой в электрических печах бокситовой руды. **Белый электрокорунд** содержит несколько больше оксида алюминия, его режущая способность выше, чем у нормального электрокорунда. **Карбид кремния** — это химическое соединение кремния и углерода, получаемое путем сплавления в электрических печах кварцевого песка с угольным порошком. **Зеленый карбид кремния** имеет большую твердость и вообще является более качественным абразивом по сравнению с черным карбидом кремния. Для заточки твердосплавного инструмента применяют в основном зеленый карбид кремния.

Указанные абразивы в настоящее время получили преимущественное распространение в машиностроении.

Для стандартизованных шлифовальных кругов применяют шесть видов связок: керамическую, бакелитовую, вулканитовую, силикатную, глифталевую и металлическую. Наибольшее распространение в машиностроении получила **керамическая связка**, которую приготавливают из огнеупорной глины, полевого шпата и

кварца. Достоинства керамической связки — огне- и водостойкость, большая производительность.

**Бакелитовая (органическая) связка** — синтетическая смола. Круги на бакелитовой связке прочны и упруги, но плохо переносят воздействие смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Другой вид органической связки — **вулканитовая связка**, состоящая из каучука и серы. Круги на вулканитовой связке прочны и водостойки, позволяют работать с большой скоростью вращения, но сравнительно быстро засаливаются.

**Силикатная связка** предназначена для кругов, работающих без охлаждения, когда обрабатываемая поверхность не должна перегреваться. Эти круги водо- и щелочестойки.

**Глифталевая связка** применяется для волокнистых упругих кругов при тонком и отделочном шлифовании деталей из закаленных сталей.

**Металлическая связка** бывает вольфрамокобальтовая, железоникелевая, медно-оловянная и применяется для кругов из алмаза. Круги обладают большой износостойкостью и производительностью и позволяют работать с высокими температурами.

Важнейшим параметром, определяющим режущие свойства шлифовального круга, является его **зернистость** (обозначаемая номером), т. е. размеры зерен (иначе крупность зерен) абразивных материалов, из которых состоит круг.

Твердость шлифовального круга характеризуется силой, которую нужно приложить к зерну, чтобы вырвать его из связки. Чем больше эта сила, тем тверже круг. Слишком мягкие круги быстро изнашиваются, если круг излишне тверд, он быстро забивается снимаемой стружкой и вследствие этого сильно нагревает обрабатываемую заготовку. Поэтому для шлифования твердой стали применяют мягкие круги, так как их затупившиеся зерна легко вырываются из связки, обнажая нижележащие зерна с острыми кромками — круг как бы самозатачивается; наоборот, при шлифовании мягкой стали примеряются твердые круги, так как их стойкость больше. Для шлифования меди и латуни используют мягкие крупнозернистые круги, так как мелкозернистые круги быстро засаливаются. Согласно ГОСТ Р 52587—2006 «Инструмент абразивный. Обозначения и методы измерения твердости» предусмотрены восемь классов твердости абразивных кругов, причем каждый класс подразделяется по степени твердости (табл. 1.1).

По форме абразивные круги бывают кольцевыми (рис. 1.15, а), чашечными коническими (рис. 1.15, б), чашечными цилиндрическими (рис. 1.15, в), тарельчатыми (рис. 1.15, г) с коническим про-

**Таблица 1.1. Обозначения кругов различной твердости**

Класс твердости круга	Подразделения классов твердости
Весьма мягкий	F, G
Мягкий	H, I, J
Среднемягкий	K, L
Средний	M, N
Среднетвердый	O, P, Q
Твердый	R, S
Весьма твердый	T, U
Чрезвычайно твердый	V, W, X, Y, Z

филем (рис. 1.15, *г*) и прямого профиля (рис. 1.15, *е*). Для шлифования резьб применяют специальные профильные круги. Всего согласно ГОСТ Р 52781—2007 «Круги шлифовальные и заточные. Технические условия» предусмотрено 22 типа абразивных кругов.

Шлифовальные круги подвергают правке для восстановления режущей способности, потерянной в результате засаливания и затупления, для исправления геометрической формы изношенного круга и обеспечения правильного расположения рабочей поверхности круга относительно оси его вращения после установки на шлифовальном станке.

Под **правкой** круга понимают процесс удаления с его поверхности слоя изношенных абразивных зерен. Правку абразивных кругов производят техническими алмазами; алмазно-металлическими карандашами или кристаллами алмаза, запаянными в стальные оправы; применяют также заменители алмазов: твердосплавные диски, специальные абразивные диски, металлические диски и звездочки.

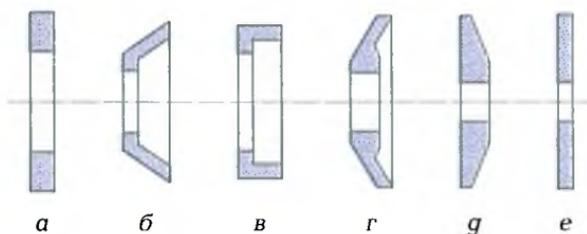


Рис. 1.15. Формы абразивных кругов (а—е)

При круглом наружном шлифовании наружных поверхностей применяют разнообразные методы обработки:

- шлифование методом продольной подачи;
- глубинное шлифование;
- шлифование методом врезания;
- бесцентровое шлифование и др.

Так как при шлифовании снимают незначительный слой металла, то шлифуют поверхности обычно после их чистового обтачивания. Величина назначаемого припуска под шлифование зависит от качества предшествующей механической обработки, например, точение под шлифование, и от искажения формы детали при термообработке, предшествующей шлифованию. В Приложении 1 приведены рекомендуемые нормы припусков и параметры точности при обработке на круглошлифовальных станках.

При всех видах шлифования стремятся выбрать максимальную скорость абразивного круга (скорость резания), но ее ограничивает прочность самого шлифовального круга. При простом шлифовании скорость круга составляет 30...35 м/с, а при скоростном (круг особой прочности) — до 75 м/с.

**Шлифование наружных цилиндрических поверхностей методом продольной подачи.** При этом методе шлифования заготовку 6 чаще всего устанавливают (базируют) в центрах 1 и 7 (рис. 1.16). Крутящий момент  $M_{кр}$  от шпинделя 2 станка к заготовке может передаваться через хомутик 4 и поводок 3. Заготовка вращается с круговой подачей  $\omega_{заг}$ . Ширину  $B$  шлифовального круга 5, вращающегося с угловой скоростью  $\omega_{кр}$ , выбирают меньше длины  $L$

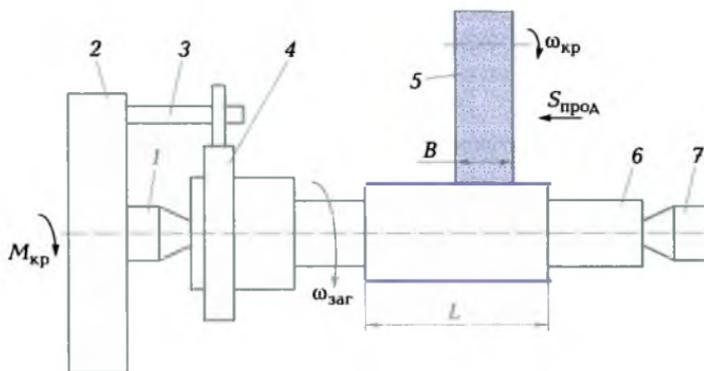


Рис. 1.16. Схема шлифования с продольной подачей

обрабатываемой поверхности. Шлифование ведут с малой глубиной резания (0,05...0,2 мм), а припуск на шлифование снимают за несколько проходов, состоящих из рабочих и холостых ходов (выглаживание). Продольную подачу  $S_{\text{прод}}$  задают на один оборот заготовки в долях ширины  $B$  шлифовального круга ( $S_{\text{прод}} = (0,3 \dots 0,8)B$ ).

Объем снимаемого материала за единицу времени зависит также от скорости вращения заготовки, максимальная величина которой ограничивается засаливанием шлифовального круга. Обычно скорость вращения заготовки выбирают в пределах 15...60 м/мин с учетом глубины резания и подачи. При шлифовании толщина снимаемого слоя металла соизмерима с величиной деформации (прогиба) заготовки, которая силами резания отжимается от шлифовального круга. Поэтому при шлифовании различают рабочие и холостые ходы, при которых заготовку шлифуют без подачи на глубину. Расчетное время на шлифование умножается на коэффициент доводки (1,2...1,5), который определяют как отношение общего числа ходов к числу рабочих ходов.

**Метод глубинного шлифования** является разновидностью шлифования с продольной подачей. При глубинном шлифовании заготовка 1 также может устанавливаться в центрах (рис. 1.17). Глубину  $h$  резания назначают до 0,3 мм с условием снятия припуска на шлифование за один проход. Небольшую продольную подачу  $S_{\text{прод}}$  задают в долях ширины  $B$  абразивного круга 2 ( $S_{\text{прод}} = (0,1 \dots 0,15)B$ ). Заготовка вращается с круговой подачей  $\omega_{\text{заг}}$ , а круг вращается с угловой скоростью  $\omega_{\text{кр}}$ . При этом методе шлифования абразивный круг сильно изнашивается, поэтому переднюю кромку  $C$  шлифовального круга правят по специальному профилю, чтобы замедлить изнашивание круга.

**Шлифование наружных цилиндрических поверхностей методом врезания (поперечной подачи).** При шлифовании этим методом заготовка 6 также может устанавливаться в центрах 1 и 7 (рис. 1.18). Ширину  $B$  абразивного круга выбирают несколько

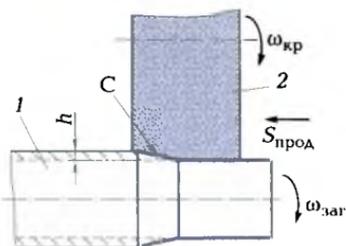


Рис. 1.17. Схема глубинного шлифования

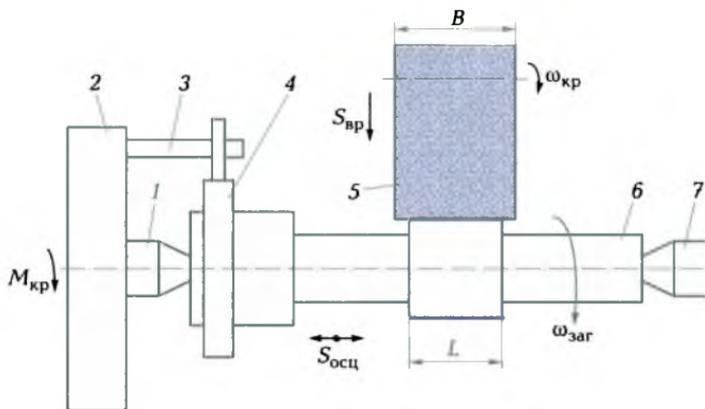


Рис. 1.18. Схема шлифования методом врезания

больше длины  $L$  обрабатываемой поверхности. Заготовка вращается с круговой подачей  $\omega_{заг}$ , а абразивный круг вращается с угловой скоростью  $\omega_{кр}$ . Поперечная подача  $S_{вр}$  (врезание) на один оборот заготовки  $6$  составляет  $0,001...0,005$  мм. Поперечная подача прекращается при снятии слоя металла на глубину припуска.

Для исключения копирования поверхностью детали мелких неровностей шлифовального круга применяют небольшое продольное возвратно-поступательное относительное перемещение  $S_{осц}$  заготовки и шлифовального круга (осциллирующее движение). Это движение исключает появление поперечных рисок на обработанной поверхности детали и улучшает качество обработанной поверхности.

Наружное круглое шлифование с продольной подачей применяют для обработки заготовок значительной длины, шлифованием с поперечной подачей обрабатывают небольшие детали, где ширина круга перекрывает длину обрабатываемой поверхности, шлифованием с глубинной подачей обрабатывают короткие, но жесткие детали.

На круглошлифовальных станках возможна обработка заготовок с конической поверхностью. При обработке пологого конуса верхняя часть стола станка может быть повернута на нужный угол к оси шпинделя шлифовального круга. Заготовки с большим углом конуса шлифуют при повернутой на заданную величину бабке шлифовального круга.

Угловое расположение круга рекомендуется при одновременном шлифовании шейки вала и торца. При такой технологической схеме торец заготовки шлифуется периферией круга, что уменьшает

контакт круга с заготовкой, обеспечивает улучшение качества обработанной поверхности и исключает возможность прижогов.

На рис. 1.19 приведена схема обработки заготовки 3 с угловым расположением шлифовального круга 1. Обрабатываемую заготовку зубчатого колеса устанавливают на оправке 2 в поводковом патроне 5 и базируют по отверстию и впадинам зубьев. Торцовый поджим зубьев к шарикам 4 обеспечивается штоком 6 пневматического цилиндра 7.

При наружном бесцентровом шлифовании обрабатываемую заготовку, лежащую на направляющем ноже, пропускают между двумя абразивными кругами: шлифующим (рабочим) и ведущим. Поворот оси ведущего круга на определенный угол в вертикальной плоскости обеспечивает перемещение обрабатываемой заготовки вдоль оси шлифующего круга при одновременном вращении заготовки вокруг своей оси.

Применяют также метод бесцентрового шлифования с поперечной подачей шлифующего круга. В этом случае оси шлифующего и ведущего круга строго горизонтальны.

Достоинством бесцентрового шлифования является его высокая производительность, превышающая в несколько раз производительность центрового шлифования. Однако наряду с этим переналадка бесцентрового станка для шлифования деталей других размеров требует значительного времени, поэтому бесцентровое шлифование выгодно применять в условиях крупносерийного производства. Кроме того, при наружном бесцентровом шлифовании деталей с обработанным отверстием нельзя добиться концентричности внешней поверхности к внутренней.

На рис. 1.20 дан общий вид бесцентрово-шлифовального станка. При бесцентровом шлифовании обрабатываемую заготовку 2 уста-

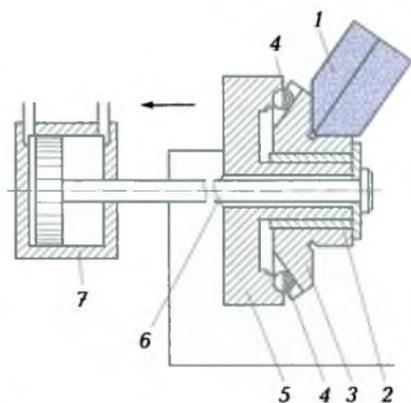


Рис. 1.19. Схема обработки поверхностей круглым наружным шлифованием с угловым расположением шлифовального круга

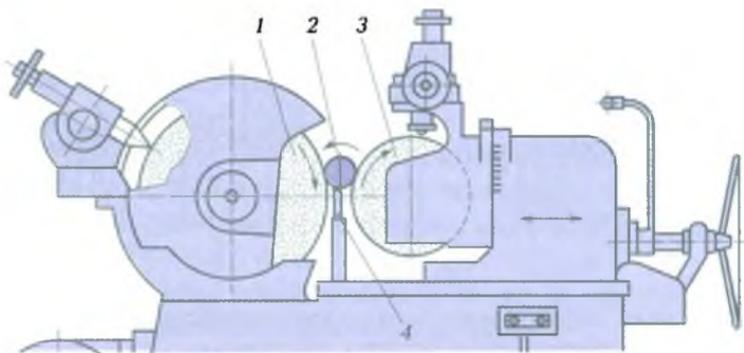


Рис. 1.20. Общий вид бесцентрово-шлифовального станка

навливают на опорном ноже 4 между двумя кругами — шлифующим 1 и ведущим 3, вращающимися в одном направлении, но с разной частотой вращения. Скорость вращения обрабатываемой заготовки близка к скорости вращения ведущего круга. Скорость вращения шлифующего круга составляет 30... 40 м/с. Так как трение между ведущим кругом (повернутым на угол  $\alpha = 1...7^\circ$ ) и шлифуемой заготовкой больше, чем между заготовкой и шлифующим кругом, обрабатываемая заготовка захватывается ведущим кругом.

На бесцентрово-шлифовальных станках шлифуют заготовки, имеющие цилиндрические и фасонные, а также короткие конические поверхности.

На рис. 1.21 приведена схема обработки на бесцентрово-шлифовальном станке гладких цилиндрических деталей с буртиками: стержня клапана (рис. 1.21, а) и толкателя клапана (рис. 1.21, б). Как правило, цилиндрические детали с буртиками шлифуют до упора 4, устанавливаемого с прижимом к центру обрабатываемой заготовки 2. Опорный торец заготовки должен быть чистым и без забоин.

В том случае, если заготовку (фасонную или ступенчатую) нельзя продвигать между кругами, применяют шлифование по методу врезания. Обрабатываемую заготовку кладут на опорный нож после отвода ведущего круга от шлифующего. Затем продвижением ведущего круга на заготовку ее прижимают к шлифующему кругу. После шлифования ведущий круг отводят от заготовки, которую выталкивают.

Если шлифуемая заготовка может быть пропущена полностью между ведущим и шлифующим кругами (т. е. если она не имеет заплечиков и уступов), ее шлифуют с продольной подачей (напро-

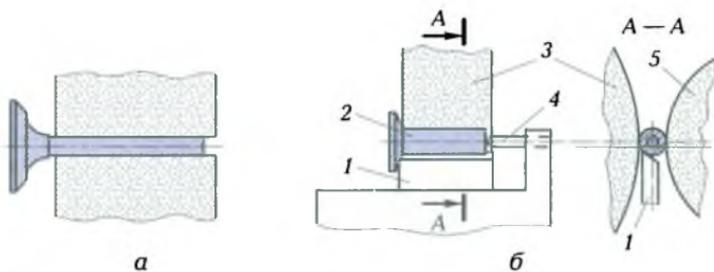


Рис. 1.21. Схемы обработки на бесцентрово-шлифовальном станке гладких цилиндрических деталей с буртиком:

а — стержня клапана; б — толкателя клапана; 1 — поддерживающий конус; 2 — заготовка; 3, 5 — шлифовальные круги; 4 — упор

ход). В этом случае легко осуществить автоматизацию станка, установив на нем автоматическое загрузочное устройство.

Создание абразивной промышленностью высокопрочных пористых кругов на керамической связке, допускающих в процессе шлифования скорость вращения круга 50 м/с и более, способствовало внедрению в производство высокопроизводительного **скоростного шлифования**. При такой скорости вращения круга значительно уменьшаются глубина резания на одно зерно, а следовательно, и изнашивание круга, повышается его стойкость и улучшается шероховатость обработанной поверхности на один-два класса. При скоростном шлифовании повышается не только скорость вращения заготовки до 50 м/с, но и продольная и поперечная подачи.

Для скоростного шлифования применяют круги плоского прямого профиля с той же твердостью, что и при обычном шлифовании. Производительность повышается в 1,5—2 раза при одновременном снижении расхода круга на деталь приблизительно на 40 %.

При обработке шлифованием возможно применение устройств, позволяющих измерять диаметральные размеры дорабатываемой детали непосредственно в процессе осуществления операции.

На рис. 1.22 приведена схема прибора для контроля диаметров валов в процессе шлифования. Измерительное устройство состоит из трех основных частей: масляного амортизатора 1, индикаторной державки 4 и сменной скобы 7, устанавливаемой в державке 4. Наконечники 6 и 8 сменной скобы являются упорными; подвижный наконечник 5 воспринимает отклонения шлифуемой шейки изделия 9 и передает их индикатору 3. Нижний упорный наконечник 8 касается изделия не в диаметральной плоскости на-

конечника 5, а в точке, смещенной примерно на  $15^\circ$  в направлении вращения шлифуемого вала, что делает более надежной и устойчивой посадку всей индикаторной скобы на изделие. Измерительное устройство закрепляется на кожухе 2 шлифовального круга 10.

Если вместо индикатора 3 или в дополнение к нему закрепить в скобе электроконтактный датчик, можно автоматизировать управление станком.

В последнее время все больше применяется обработка поверхностей **шлифованием абразивными лентами**.

Достоинствами шлифования абразивными лентами являются:

- уменьшение тепловыделения, что повышает стойкость абразивной ленты и почти полностью исключает коробление обрабатываемых деталей;
- более однородная поверхность абразивной ленты по сравнению с поверхностью шлифовального круга в результате равномерного нанесения зерен с их вертикальным расположением на поверхности ленты методом осаждения в электростатическом поле;
- повышенное число режущих зерен на единицу поверхности по сравнению с шлифовальным кругом, что способствует повышению производительности;
- отсутствие вибраций и ударной нагрузки, что обеспечивает более высокое качество обработанной поверхности.

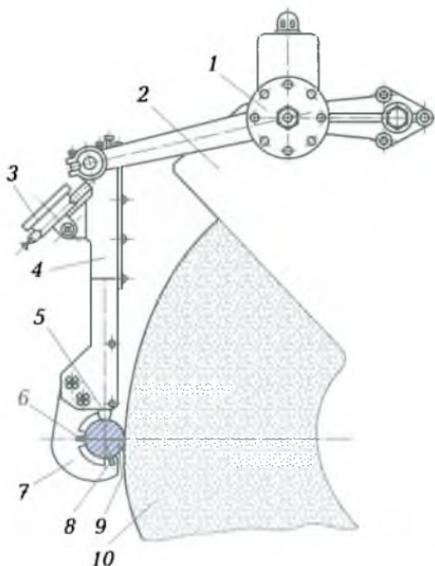


Рис. 1.22. Схема прибора для контроля диаметров валов в процессе шлифования

Абразивными лентами можно обрабатывать как черные, так и цветные металлы, а также неметаллические материалы.

Абразивные ленты изготавливают из ткани (например, саржи) или бумаги, на поверхность которой наносят с помощью клея (мездрового и др.) слой абразивных зерен: нормальный и белый электрокорунд для обработки стали, ковкого чугуна и бронзы и карбид кремния для обработки серого чугуна, латуни и алюминиевых сплавов.

Многослойные ленты применяют редко из-за сложности изготовления и высокой себестоимости.

Толщина ленты (со слоем абразива) обычно не превышает 21 мм. Ширину ленты выбирают в зависимости от длины обрабатываемой поверхности, в частности при шлифовании поверхностей тел вращения (валов) ширину принимают равной их длине. Длина абразивной ленты также зависит от размеров обрабатываемых заготовок и требований, предъявляемых к производительности процесса шлифования, так как чем больше длина абразивной ленты, тем большее число зерен участвует в процессе резания за один оборот ленты при той же ширине ленты. В практике производства применяют абразивные ленты шириной от 10 до 3 000 мм и длиной от 500 до 7 000 мм.

Способы шлифования абразивной лентой различаются по тому, как она прижимается к обрабатываемой поверхности.

На рис. 1.23 приведены схемы различных способов шлифования абразивной лентой.

В зависимости от формы обрабатываемой поверхности шлифовать можно свободным участком ленты, на ведущем контактном круге или на промежуточном контактном круге, профиль которого абразивная лента копирует.

Обработка свободным участком ленты является наиболее производительной, так как в этом случае абразивная лента имеет увеличенную поверхность контакта, охватывая наибольшую часть обрабатываемой заготовки, что позволяет шлифовать все поверхности, кроме цилиндрических и криволинейных с небольшим радиусом кривизны.

Обработка на контактном круге требует больших усилий для обеспечения той же производительности. Производительность при шлифовании в этом случае обратно пропорциональна диаметру контактного круга, однако круги диаметром меньше 150 мм применять не рекомендуется.

Иногда вместо контактного круга используют две опоры, располагаемые с обеих сторон обрабатываемой заготовки, в этом случае увеличиваются угол обхвата заготовки абразивной лентой, а

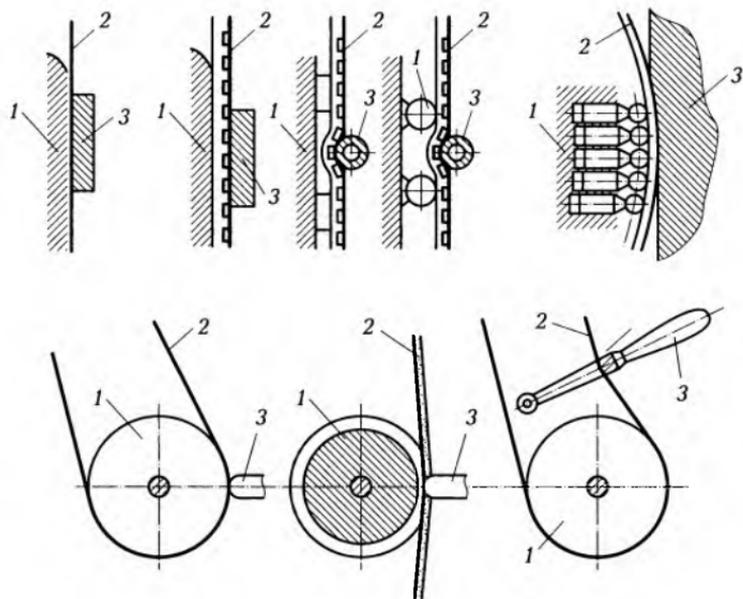


Рис. 1.23. Схемы шлифования абразивной лентой:

1 — прижим; 2 — абразивная лента; 3 — обрабатываемая заготовка

следовательно, и площадь контакта. Натяжение абразивной ленты регулируется натяжными роликами.

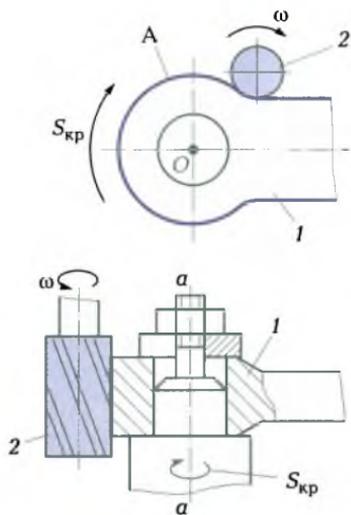
Давление обрабатываемой поверхности на абразивную ленту при обработке заготовок из стали и чугуна рекомендуется устанавливать в пределах 0,05...0,2 МПа, а из цветных сплавов и алюминия — не более 0,04 МПа.

Скорость резания при обработке поверхностей абразивными лентами выбирают в зависимости от обрабатываемого материала, характера обработки (черновой или чистовой) и других факторов. При черновом шлифовании наружных поверхностей тел вращения заготовок из стали при пределе прочности при растяжении  $\sigma_b \leq 800$  МПа рекомендуют скорость резания 25...30 м/с, заготовок из чугуна и бронзы при  $\sigma_b > 800$  МПа — 15...20 м/с, из алюминия — 45...50 м/с.

#### **Обработка незамкнутых цилиндрических поверхностей.**

Незамкнутые цилиндрические поверхности, которые невозможно обработать обтачиванием, обрабатывают фрезерованием или протягиванием. Одним из вариантов является обработка на вертикально-фрезерном станке с поворотным столом или приспособлением. Центр  $O$  цилиндрической поверхности  $A$  заготовки 1

Рис. 1.24. Схема обработки незамкнутой цилиндрической поверхности



(рис. 1.24) при ее установке совмещают с осью  $a-a$  поворота стола или приспособления. Концевая фреза 2 вращается со скоростью резания  $\omega$  и обкатывается по профилю неполной окружности при повороте стола со скоростью круговой подачи  $S_{кр}$ , снимая слой материала и образуя участок цилиндрической поверхности.

**Отделка наружных цилиндрических поверхностей.** Известно, что надежность и долговечность работы машины зависят от многих технологических факторов, в том числе от точности и шероховатости поверхностей готовых деталей, т. е. от методов отделки поверхностей (финишных операций), которые обеспечивают требуемые параметры поверхностей готовых деталей. Отделочные методы обработки наружных цилиндрических поверхностей являются высокоточными методами обработки. К ним относятся:

- тонкое точение;
- притирание;
- суперфиниширование;
- выглаживание;
- полирование.

Общим у перечисленных методов обработки можно назвать следующее:

- на этих операциях снимают очень малый припуск, соизмеримый с допуском на окончательный размер;
- на всех операциях (кроме тонкого точения) обеспечивается лишь точность самой поверхности (точность размера).

Различием у перечисленных методов обработки является:

- необходимое оборудование;
- инструмент, применяемый для обработки;
- получаемые результаты обработки поверхности.

**Тонкое точение.** При тонком точении обработку ведут алмазными (твердосплавными) резцами с малой продольной подачей, высокой скоростью резания и незначительной глубиной резания. Скорость резания ограничивается лишь стойкостью резцов, числом оборотов шпинделя и вибрацией, возникающей на максимальных оборотах вращения шпинделя. Тонкое точение используют для обработки деталей из цветных материалов и сплавов, чугуна, углеродистых сталей.

Используют станки не только определенного назначения, но и токарные станки с необходимыми кинематическими параметрами и точностью. Установка и закрепление заготовок такое же, как и при обычном точении, но с более высокой точностью. Тонкое точение алмазным резцом позволяет получить следующую точность:

- по диаметру — на уровне 5-го качества;
- по форме — овальность и конусность не хуже 0,003... 0,005 мм;
- по шероховатости —  $Ra$  0,25 мкм.

В Приложении 2 приведены режимы тонкого обтачивания.

**Притирание.** Притирание — это тонкая и точная абразивная обработка, применяемая для получения точных поверхностей с хорошими показателями по круглости. Операции притирания выполняют с помощью притиров, абразивного порошка и смазки. В зависимости от механизации процесса притиры бывают ручными и машинными.

Для **притирания** применяют притиры, изготовленные из мягких материалов: чугуна, цветных металлов и сплавов, пластмасс, зеркального стекла и др.

К основным притирочным материалам относятся естественный корунд, нормальный и белый электрокорунд, карбид кремния, оксид хрома, порошки алмаза и карбида бора. Размеры абразивных зерен или микропорошков влияют на съем металла и шероховатость поверхности в процессе притирки и доводки, поэтому выбор притирочных материалов зависит от заданных требований.

Притирку производят:

- свободным абразивом, внедряющимся в процессе обработки в поверхность притира в результате трения с некоторым давлением обрабатываемой поверхности и поверхности притира;
- предварительно внедренным в поверхность притира абразивом;

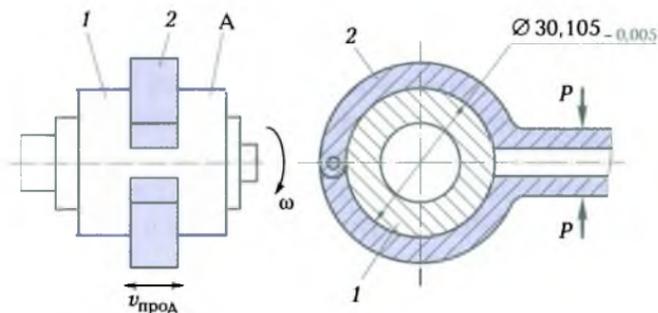


Рис. 1.25. Схема притирания наружной цилиндрической поверхности

- свободным невнедряющимся абразивом при применении относительно мягкого абразивного материала (например, венской извести (смесь оксидов кальция и магния), оксида хрома и др.);
- химическими пастами (например, ГОИ) в среде керосина для снятия оксидов с обрабатываемой поверхности.

В качестве СОЖ применяют керосин, бензин и машинное масло.

Наряду с машинной используют ручную притирку (например, одновременную обработку парных сопрягаемых деталей). В этом случае сопряженные поверхности двух деталей взаимно притираются одна к другой, выполняя функции притириров.

Для притирания наружной цилиндрической поверхности притир можно сделать в виде двух полуцилиндров (с возможностью их сближения), охватывающих притираемую поверхность. При машинно-ручном притирании наружной цилиндрической поверхности А (рис. 1.25) вращение заготовки 1 с небольшой окружной скоростью  $\omega$  производят механически, а притир 2 вручную сжимают с усилием  $P$ , удерживают от поворота и перемещают вдоль оси заготовки с небольшой скоростью  $v_{\text{прод}}$ .

Точность и производительность притирания во многом зависят от зернистости и вида абразива, смазки и режима обработки. Погрешность по форме получается 0,001 мм, а шероховатость — 14-го класса. Припуск на обработку должен быть не более 0,01 мм, иначе процесс притирания будет очень продолжительным по времени.

**Суперфиниширование.** Это процесс отделочной обработки, направленный на еще большее уменьшение шероховатости поверхности, получаемой после окончательного шлифования. В одних

случаях отделку поверхности производят абразивными брусками, которые с незначительным усилием прижаты к обрабатываемой поверхности. В других случаях обработку производят абразивными кругами, вращающимися с окружной скоростью до 2,5 м/с. Абразивные бруски 1 (рис. 1.26) закрепляют в головке 2, обеспечивающей их прижатие с небольшим усилием к обрабатываемой поверхности А. Заготовка 3 и режущий инструмент 1 при этом имеют как минимум три относительных движения:

- медленное вращательное движение заготовки 3 с окружной скоростью  $v_{\text{окр}} = 0,05 \dots 2,5$  м/с;
- незначительное колебательное движение  $v_{\text{осц}}$  головки с абразивными брусками вдоль оси заготовки с амплитудой 2...6 мм и частотой 200...1000 колебаний в минуту;
- перемещение с небольшой скоростью  $v_{\text{прод}}$  головки с абразивным инструментом по поверхности вдоль оси заготовки.

Обработка ведется на станках определенного назначения или на токарных станках с применением специальной головки. Присутствие смазки (смесь керосина с маслом) обязательно. В процессе обработки снимают очень малый слой металла (0,005...0,0075 мм).

**Доводку** заготовки осуществляют абразивным бруском или абразивным кругом.

На рис. 1.27 приведена схема доводки кулачков распределительного вала. В данном случае обрабатывающим инструментом служит шлифовальный круг 1, который во время работы находится в контакте с поверхностью кулачка 2 распределительного

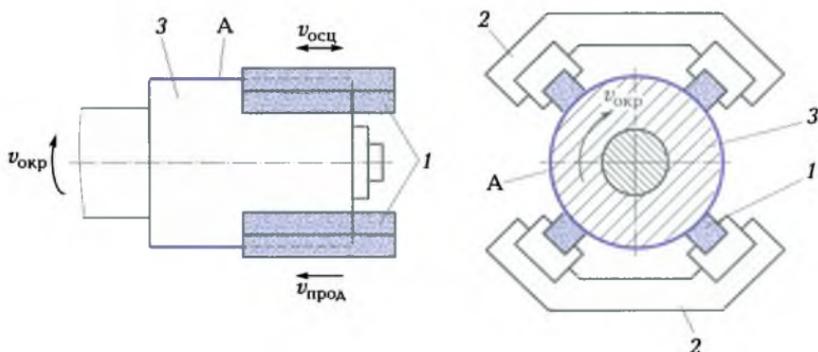
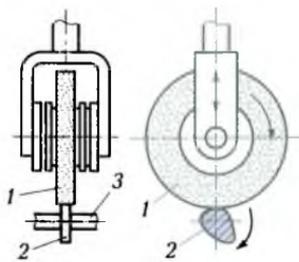


Рис. 1.26. Схема суперфиниширования

Рис. 1.27. Схема доводки кулачков



вала 3. Распределительный вал совершает одновременно вращательное и колебательное движения, а также поступательное движение вдоль образующей, благодаря чему осуществляется тонкая доводка обрабатываемой поверхности.

**Выглаживание.** Выглаживание — это процесс обработки поверхности инструментом с очень малой шероховатостью, оказывающим давление на обрабатываемую поверхность без снятия стружки. Обработка происходит в условиях, когда между инструментом и обрабатываемой поверхностью происходит трение скольжения или трение качения. При этом изменяются не только геометрические параметры поверхности, но и показатели ее поверхностного слоя. В зависимости от поставленной цели обработки различают три вида выглаживания:

- выглаживание, основной целью которого является повышение точности размера поверхности и уменьшение ее шероховатости — так называемая калибровка;
- выглаживание в целях снижения шероховатости поверхности — так называемая отделка;
- выглаживание в целях достижения упрочнения поверхностного слоя материала — так называемое упрочнение.

Выглаживание — калибровку называют жестким выглаживанием. Инструментом при выглаживании наружной цилиндрической поверхности В заготовки 2 является закрепленный в оправке 1 шарик б (рис. 1.28, а), оказывающий на обрабатываемую поверхность значительное давление и перемещающийся вдоль оси обрабатываемой поверхности с небольшой скоростью  $v_{\text{прод}}$ .

При упругом выглаживании ролик 3 (рис. 1.28, б) воздействует на обрабатываемую поверхность В с ограниченным усилием, создаваемым упругим элементом (пружиной) 4. Ролик 3 вместе с оправкой 5 перемещается вдоль оси обрабатываемой поверхности с небольшой скоростью  $v_{\text{прод}}$ .

Применяют и вибрационное выглаживание, когда шарикку сообщают дополнительное колебательное движение с частотой свыше 1 000 колебаний в минуту и амплитудой от 2 мм.

При выглаживании — отделке глубина деформации поверхностного слоя находится в пределах шероховатости поверхности. Диаметр цилиндрической поверхности уменьшается на 10...30 % от высоты неровностей  $Ra$  профиля до выглаживания. Этот вид выглаживания в определенных условиях может заменить шлифование или полирование.

Выглаживание — упрочнение применяют для ответственных деталей в целях повышения прочности. Чаще всего применяют обкатывание или раскатывание роликами в условиях трения качения. При этом виде выглаживания деформация материала происходит на значительную глубину, превышающую высоту неровностей поверхности. Задача о повышении точности и снижении шероховатости при этом не ставится, так как это сопутствует процессу упрочнения.

Особым видом выглаживания является алмазное выглаживание, при котором рабочей части алмаза придают сферическую форму радиусом 1,5...4 мм. Малый коэффициент трения скольжения по различным металлам и высокая твердость алмаза позволяют получить хорошие результаты при выглаживании заготовок с высокой твердостью ( $HRC \geq 60$ ). Режимы обработки при этом следующие: продольная подача — 0,04...0,1 мм/об заготовки, скорость обработки — 40...50 м/мин.

**Полирование.** Полированием называют обработку поверхности с помощью эластичного круга, изготовленного из войлока,

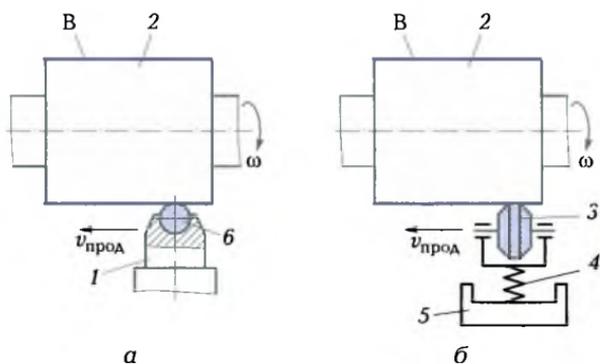


Рис. 1.28. Схемы выглаживания наружной цилиндрической поверхности: а — жесткое выглаживание шариком; б — упругое выглаживание роликом

кожи или ткани, на поверхность которого нанесена полировальная паста, содержащая абразив. Полирование можно проводить с помощью мелкой абразивной шкурки.

Если полирование применяют в целях удаления следов предшествующей обработки и получения блестящей поверхности, то на точность самой поверхности особого внимания не обращают. Если же полируют высокоточную деталь, то назначают определенный припуск на обработку и контролируют размер, как до полирования, так и после него.

## 1.2. ОБРАБОТКА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ Тел ВРАЩЕНИЯ (ОТВЕРСТИЙ)

**Виды отверстий.** Обработка отверстий, занимающая в общем объеме механической обработки значительное место, осуществляется при вращательном и поступательном движениях инструмента или заготовки.

Отверстия можно подразделить следующим образом:

- на крепежные отверстия в различных деталях (отверстия для крепежных болтов, винтов, шпилек, заклепок и т.п.). Точность изготовления таких отверстий невысокая (11-й, 12-й квалитет и грубее). Такие отверстия обычно сверлят на одно- или многошпиндельных сверлильных станках;
- ступенчатые или гладкие отверстия различной конфигурации и точности в деталях, представляющих собой тела вращения; их обрабатывают сверлом (в ряде случаев с последующим зенкованием или развертыванием) или резцом совместно с токарной обработкой наружных цилиндрических поверхностей;
- ответственные отверстия в корпусных деталях, точность обработки которых определяет правильность работы и долговечность узлов машины (например, редуктора) или качество работы всей машины (например, отверстия для шпинделей в корпусных деталях станков и т.п.). Точность изготовления таких отверстий обычно соответствует 7-му, 8-му квалитетам и выше. Обрабатывают такие отверстия на различных станках универсального или специального назначения;

- глубокие отверстия с отношением длины  $L$  к диаметру  $d$  больше пяти ( $L/d > 5$ ), например отверстия шпинделей станков, пустотелых валов и т. п. Такие отверстия обрабатывают на станках специального назначения;
- конические и фасонные (с криволинейной образующей) отверстия, которые обрабатывают инструментом с коническими или криволинейными режущими кромками либо растачиванием с копирным приспособлением;
- профильные (некруглого сечения) отверстия обрабатывают протягиванием, прошиванием или долблением.

В зависимости от назначения отверстий к ним могут предъявляться следующие требования:

- выдерживание размера отверстия по диаметру с заданной точностью;
- прямолинейность оси отверстия и образующей его поверхности;
- правильность цилиндрической формы отверстия (отсутствие конусности, овальности и огранки);
- перпендикулярность торцовым поверхностям детали.

Обработка отверстий круглого сечения производится на сверлильных, расточных, токарных, карусельных, револьверных станках, токарно-револьверных полуавтоматах и автоматах, протяжных и шлифовальных станках.

Для достижения точности при обработке отверстий применяют увеличенное число рабочих ходов, чтобы таким образом постепенно довести погрешности первоначальной обработки до допустимых размеров. Так, если для обтачивания гладкого вала по 8-му, 9-му квалитетам точности достаточно два рабочих хода, то для обработки отверстия того же диаметра и с той же точностью понадобится не менее четырех операций или переходов: сверление двумя сверлами, зенкерование и одно- или двукратное развертывание.

При обработке отверстий даже с относительно большим числом переходов в обычных условиях не удастся достигнуть высокой точности по соосности обрабатываемого отверстия и какой-либо наружной цилиндрической поверхности обрабатываемой заготовки. Поэтому, когда требуется обеспечить соосность отверстия с другими поверхностями с высокой степенью точности, необходимо сначала окончательно обработать отверстие, а затем, установив

заготовку этим отверстием на точную оправку, обработать окончательно поверхности заготовки.

Отверстия диаметром до 80 мм в сплошном металле сверлят спиральными сверлами на сверлильных станках, а также на различного вида станках токарной группы. Для сверления отверстий диаметром более 80 мм применяют сверлильные головки специальных конструкций; эту операцию, как правило, выполняют на расточных станках.

**Обработка цилиндрических отверстий сверлением.** Сверление является наиболее распространенным методом получения цилиндрического отверстия в сплошном материале заготовки. Режущим инструментом является сверло. Движение сверла относительно заготовки обеспечивают или вращением сверла при неподвижной заготовке, или вращением заготовки при неподвижном сверле.

Для уменьшения бокового смещения сверла в момент начала сверления без использования приспособления для детали предварительно производят или засверливание более коротким жестким сверлом, заточенным под меньшим углом при вершине, или накернивание в центре будущего отверстия.

Сверление на сверлильных станках в основном производят с использованием приспособления для детали, называемого кондуктором. В кондукторе имеются кондукторные втулки, которые направляют сверло в нужное место заготовки, обеспечивая точность положения оси отверстия относительно других поверхностей заготовки. Сверление на станках токарной группы производят при ручной подаче сверла, закрепленного в задней бабке токарного станка.

Точность диаметра полученного после сверления отверстия в основном зависит от точности диаметра сверла. Точность положения

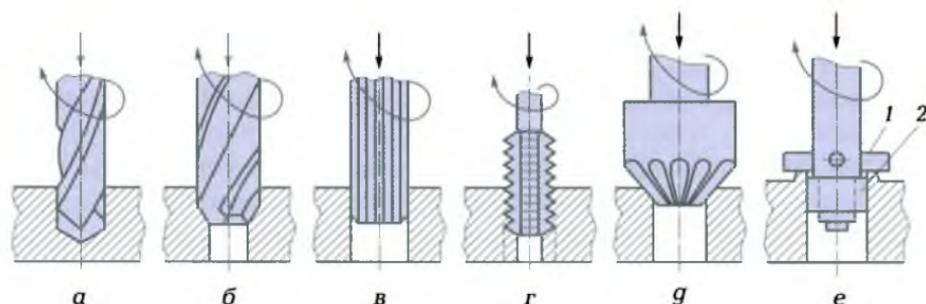


Рис. 1.29. Схемы основных видов обработки, выполняемые на сверлильных станках (а—е)

ния оси полученного отверстия относительно базовых поверхностей заготовки в основном зависит от точности базирования заготовок в приспособлении, в том числе и от точности кондуктора. В Приложении 3 приведены параметры точности отверстий, получаемых сверлением.

Основные виды обработки, которые можно выполнять на сверлильных станках, показаны на рис. 1.29.

**Сверление отверстий** производится при вращении сверла и его осевой подаче (рис. 1.29, а). Инструментом служит обыкновенное спиральное сверло или сверло другой конструкции.

На сверлильном станке часто выполняют рассверливание, т. е. вторичную обработку сверлом бóльшего диаметра ранее просверленного отверстия, для того чтобы сохранить межцентровое расстояние при сверлении отверстий бóльших диаметров, когда обработка одним сверлом бóльшего диаметра может дать значительное отклонение оси сверления. При обычном сверлении достигается точность отверстия по 8—11-му квалитетам.

**Зенкерование отверстий** (рис. 1.29, б) производится зенкером и служит для улучшения геометрической формы ранее просверленного цилиндрического отверстия. Зенкерование обеспечивает точность обработки отверстия после сверления на один класс выше.

**Развертывание отверстий** (рис. 1.29, в) выполняют после зенкерования, для того чтобы устранить грубые следы предыдущей обработки. Развертывание производят одно- или многократно. При однократном развертывании достигается точность обработки отверстия по 7—9-му квалитетам, а при двух- или трехкратном развертывании можно достигнуть точности по 7-му, 8-му квалитетам. Шероховатость поверхности отверстия при развертывании может быть доведена до  $Ra\ 1,25 \dots 0,63$  мкм.

**Нарезание резьбы** (рис. 1.29, г) производят метчиками различных конструкций после сверления отверстия под размер нарезаемой резьбы. При этом необходим обратный ход шпинделя (реверсирование) для выворачивания метчика из заготовки после нарезания резьбы. Исключение составляют так называемые падающие метчики (выпадающие из гнезда шпинделя) и специальные гаечные метчики, у которых нарезанные гайки перемещаются последовательно на гладкую часть стержня метчика.

**Зенкование** (рис. 1.29, г) применяют после сверления отверстия для снятия фаски, например, под потайную головку винта.

**Цекование** (рис. 1.29, е) предусмотрено для подрезания торца бобышки заготовки или для получения ступенчатого отверстия.

Эту операцию выполняют специальным инструментом — цековкой, которая имеет переставной резец 1, устанавливаемый по размеру диаметра обрабатываемой поверхности, и направляющую часть 2 для обеспечения соосности поверхностей ступенчатого отверстия.

Кроме перечисленных основных работ на сверлильных станках можно выполнять другие виды обработки отверстий специальным инструментом, например фасонные выточки на цилиндрической и торцовой поверхностях отверстий.

При **сверлении глубоких отверстий** на обычных сверлильных станках спиральные сверла не могут обеспечить правильного направления и прямолинейности оси отверстия, происходит увод сверла в сторону от направления, заданного осью вращения шпинделя, так как спиральные сверла не в достаточной мере осуществляют прямолинейность направления осевого движения режущих кромок. Прямолинейность оси отверстия в этом случае может быть обеспечена лишь жесткостью сверла и направляющим действием ленточек, расположенных вдоль канавок сверла и скользящих по просверленной части отверстия.

При неодинаковой заточке обеих режущих кромок сверла или их неравномерном затуплении сверло также начинает уводить ось отверстия в сторону от оси вращения шпинделя. На увод сверла большое влияние оказывает работа сверла в начальный момент сверления, когда резание производят лишь поперечной кромкой, перпендикулярной оси сверла. Кроме того, наличие значительных упругих деформаций сверла при работе (продольного изгиба), зазоров в подшипниках шпинделя, неравномерного налипания стружки на главные и вспомогательные режущие кромки сверла создают условия для увода сверла в сторону от оси шпинделя.

Чтобы предотвратить увод сверла или искривление оси отверстия, при глубоком сверлении применяют следующие способы и приемы работы:

- небольшие подачи, а также тщательную заточку сверла с соблюдением равномерности наклона обеих режущих кромок, наблюдение за износом сверла и налипанием металла на режущие и вспомогательные кромки, надлежащее охлаждение сверла;
- предварительное засверливание с помощью короткого сверла большого диаметра (с углом при вершине  $2\varphi = 90^\circ$ ), которое особенно необходимо при сверлении отверстий

сверлами небольших диаметров на револьверных станках и автоматах;

- сверление с направлением спирального сверла с помощью кондукторной втулки при сравнительно небольших отношениях длины отверстия к диаметру;
- сверление при вращающейся заготовке; в этом случае имеет место самоцентрирование сверла в противоположность его обычной склонности к уводу.

При вращении обрабатываемой заготовки глубокие отверстия можно сверлить как при невращающемся, так и при вращающемся сверле. Вращение инструмента в этом случае используется как средство повышения скорости резания.

Способ сверления отверстий при вращении заготовки применяют как на токарных станках, так и на станках для глубокого сверления (сверление отверстий в стволах орудий, шпинделях станков, полых валах и т. п.).

Конструкции **специальных сверл для глубокого сверления** предусматривают создание достаточно надежного направления осевого движения режущей части сверла по поверхности уже просверленной части отверстия. Такие сверла изготавливают с одной или с несколькими режущими кромками. Простейшим видом такого сверла является пушечное сверло (рис. 1.30, а). У этого сверла только одна режущая кромка и длинная направляющая часть. Соприкосновение направляющей части с поверхностью просверлен-

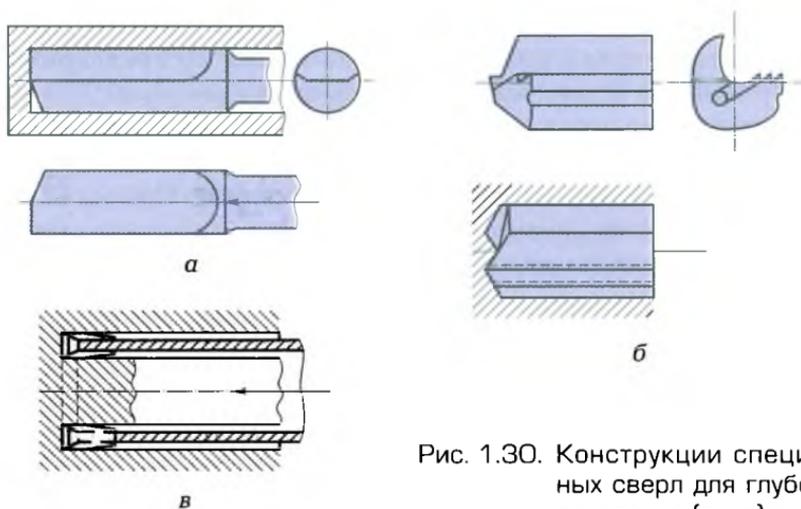


Рис. 1.30. Конструкции специальных сверл для глубокого сверления (а—в)

ной части отверстия происходит по дуге, немного большей  $180^\circ$ . Направляющую поверхность рабочей части сверла, соприкасающуюся с поверхностью отверстия, во избежание заедания сверла в отверстии выполняют с уклоном в направлении от режущей кромки к стержню сверла.

Для правильного направления сверла в начальный момент сверления необходимо предварительно точно расточить отверстие по диаметру рабочей части сверла на глубину не менее половины диаметра сверления. Пушечные и им подобные сверла можно применять для сверления в сплошном металле и рассверливания отверстий, предварительно просверленных спиральными сверлами меньших диаметров.

Более совершенным видом сверл для глубокого сверления является ружейное сверло (рис. 1.30, б). Направляющая часть такого сверла обеспечивает лучшее направление режущей части, так как охватывает дугу окружности отверстия, равную примерно  $250 \dots 260^\circ$ . Рабочую часть таких сверл, как и пушечных, изготавливают конической в направлении от режущей кромки к стержню. Для уменьшения трения и улучшения охлаждения сверла вдоль его направляющей части снимают лыски. Режущую кромку у ружейных сверл часто изготавливают в виде ломаной линии для лучшего дробления стружки.

В большинстве конструкций специальных сверл для глубокого сверления СОЖ поступает в зазор между стержнем и поверхностью отверстия и затем к режущей кромке сверла под сильным давлением. Далее жидкость, захватывая раздробленную стружку, выливается из отверстия через полую центральную часть головки и стержня сверла.

Ружейные сверла могут работать не только по предварительно просверленному отверстию, но и в сплошном металле.

При работе специальными сверлами применяют подачи в пределах  $0,02 \dots 0,05$  мм/об в зависимости от диаметра отверстия обрабатываемого материала, требуемой шероховатости и точности обрабатываемой поверхности.

Наиболее совершенным видом сверл для глубокого сверления отверстий большого диаметра является пустотелое сверло. При использовании такого сверла в стружку превращается лишь кольцеобразная часть удаляемого металла, внутренняя часть остается целой и после окончания сверления ее удаляют в виде цилиндрического стержня. Специальные сверла этого вида (рис. 1.30, в) состоят из головки со вставными ножами для вырезания кольцевого паза в сплошном металле и трубы (трубчатого стержня), которая соединя-

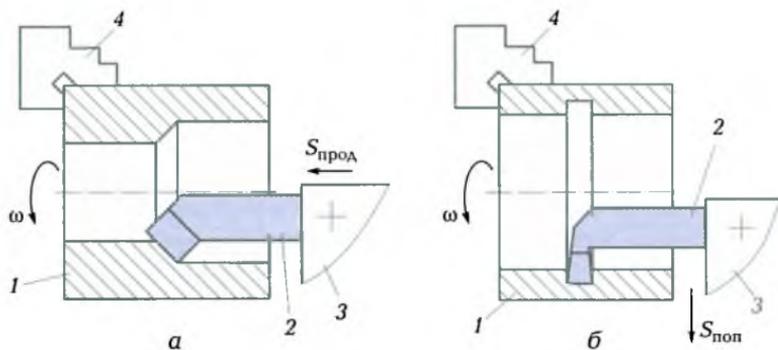


Рис. 1.31. Схемы растачивания отверстий:  
 а — с продольной подачей; б — с поперечной подачей

ется с головкой сверла с помощью резьбы. Такие специальные сверла применяют при обработке на станках для глубокого сверления больших пустотелых валов, длинных шпинделей станков и т. п.

Операционные припуски на зенкерование и развертывание приведены в Приложениях 5 и 6.

**Обработка цилиндрических отверстий на токарных станках.** При растачивании отверстий на станках токарной группы заготовка 1, закрепленная в приспособлении 4, вращается с угловой скоростью  $\omega$ , а резец 2 совершает движение продольной  $S_{\text{прод}}$  (рис. 1.31, а) или поперечной  $S_{\text{поп}}$  подачи (рис. 1.31, б). Для растачивания используют стандартные и специальные резцы, закрепляемые в резцедержателе 3 непосредственно или через специальные державки. Форма специальных резцов обычно зависит от профиля поверхности обрабатываемого отверстия.

Технологические возможности метода растачивания на токарных станках очень широкие. Обрабатываемую заготовку устанавливают (базируют) и закрепляют либо в универсальном приспособлении (патрон, планшайба, цанга), либо в специальном приспособлении, связанном со шпинделем токарного станка. При этом можно обрабатывать различные отверстия по форме, расположению и по точности. Для обработки длинных заготовок используют люнет, который поддерживает заготовку в случае ее прогиба от сил резания, что повышает точность формы готовой детали.

В Приложении 4 приведены рекомендуемые припуски на растачивание и точность отверстий, получаемых после растачивания.

**Обработка отверстий на расточных станках.** При растачивании отверстий на расточных станках заготовку 1 (рис. 1.32) бази-

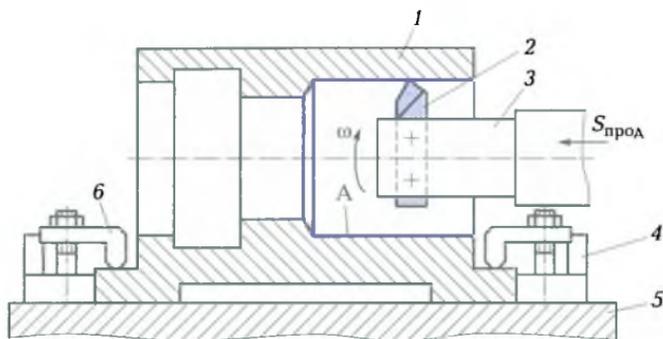


Рис. 1.32. Схема растачивания отверстия на расточном станке

руют и крепят (прихватами 6) в приспособлении 4, которое прочно и точно связано со столом 5 расточного станка. Заготовка 1 при растачивании поверхности А неподвижна, а резец 2, закрепленный в специальной штанге 3, совершает вращательное движение с угловой скоростью  $\omega$  и поступательное движение с подачей  $S_{\text{прод}}$ .

Расточные станки применяют главным образом для обработки в заготовках корпусных деталей отверстий с точно координированными осями (блоки двигателей, коробки передач и т.п.).

На рис. 1.33 показаны схемы основных видов работ, выполняемых на горизонтально-расточном станке, с указанием движений основных сборочных единиц станка. На рис. 1.33, а показано одновременное растачивание двух концентричных отверстий резцами, закрепленными на борштанге 2, которую приводит во вращение шпиндель 1 и поддерживает люнет 3 задней стойки. При обработке заготовки стол 4 перемещается параллельно оси шпинделя (продольная подача). Этот способ растачивания с продольной подачей стола применяется в случае, когда расположенные соосно растачиваемые отверстия имеют значительную длину и возможен прогиб борштанги 2.

На рис. 1.33, б показано растачивание отверстия большого диаметра с помощью резца, закрепленного в резцедержателе 2, который укреплен на планшайбе 1. Продольная подача заготовки осуществляется движением стола 3, а радиальная подача резца — радиальным перемещением резцедержателя на планшайбе. Этим способом можно растачивать отверстия большого диаметра, но сравнительно малой длины.

На рис. 1.33, в показана обработка «летучим» суппортом торца заготовки после растачивания отверстия. В данном случае заготов-

ка неподвижна и стол не перемещается. Планшайба 1 вращает резцедержатель 2 с закрепленным резцом, который перемещается радиально, обрабатывая торцовую поверхность заготовки. Эта операция часто встречается при обработке больших несимметричных поверхностей.

На рис. 1.33, г дан пример совместной работы шпинделя 2 и планшайбы 1. Одновременно растачивается отверстие резцом, закрепленным на борштанге 4, и обрабатывается торец заготовки резцом, закрепленным в резцедержателе 3. Заготовка вместе со столом 5 остается неподвижной.

При координатном растачивании положение осей растачиваемых отверстий задается двумя размерами (координатами), которые отсчитывают от базисных установочных плоскостей детали. Установка оси шпинделя расточного станка на заданные координаты осуществляется с помощью градуированных линеек и нониусов, имеющихся на станке, или с помощью специальных вкладышей, регулируемых по размеру соответствующих координат. Перед растачиванием производят проверку правильности установки детали на столе станка индикатором, закрепленным в шпинделе станка, затем — установку шпинделя в нулевое положение с помощью ловителя, вставляемого в конце шпинделя станка, с про-

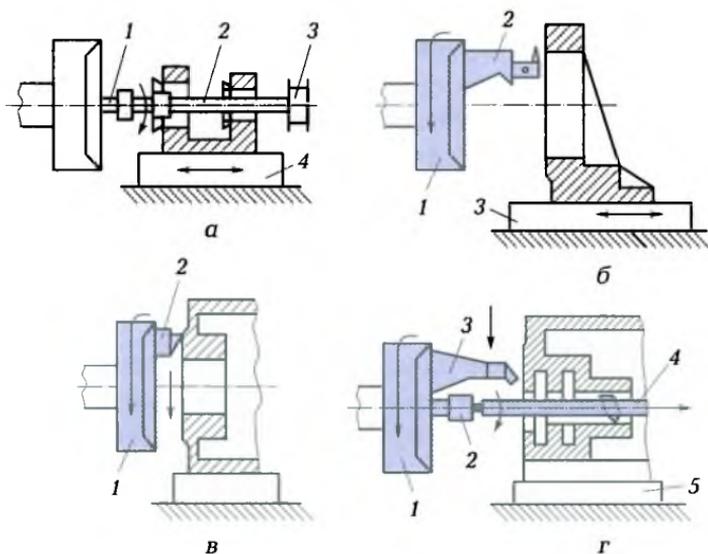


Рис. 1.33. Схемы основных видов работ, выполняемых на горизонтально-расточном станке (а—г)

веркой щупом. После этого можно начать растачивание, предварительно совместив ось шпинделя и ось растачиваемого отверстия. Координатное растачивание повышает точность межцентровых расстояний и их соосность, упрощает обработку и увеличивает производительность.

**Обработка на шлифовальных станках.** Если по каким-то причинам применить развертывание или хонингование для получения точного отверстия невозможно, то применяют шлифование отверстий. Шлифуют отверстия на внутришлифовальных станках. Абразивный круг малого диаметра (0,6...0,7 диаметра отверстия) быстро изнашивается, поэтому требует частой правки и замены. Кроме того, шлифование происходит с малой скоростью резания, а большой вылет оправки со шлифовальным кругом приводит к вибрациям и, как следствие, понижению точности обработки.

На рис. 1.34, а приведена схема обработки сквозного отверстия А на внутришлифовальном станке. Абразивный круг 1 вращается с угловой скоростью  $\omega_{кр}$  и совершает возвратно-поступательное движение с продольной подачей  $S_{прод}$ , а заготовка вращается с угловой скоростью  $\omega_{заг}$ . Шлифование коротких отверстий производят методом врезания, когда шлифовальный круг 1 совершает не только вращение с угловой скоростью  $\omega_{кр}$  (рис. 1.34, б), но и поперечную подачу  $S_{поп}$ . Заготовка 3, закрепленная в приспособлении 2, вращается с угловой скоростью  $\omega_{заг}$ .

В Приложении 5 приведены рекомендуемые операционные припуски на внутреннее шлифование и получаемую при этом точность обработки.

Внутреннее шлифование применяют главным образом при обработке точных отверстий в закаленных деталях.

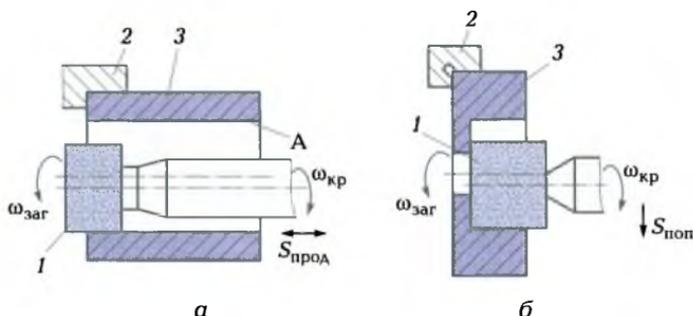


Рис. 1.34. Схемы шлифования отверстий:

а — сквозного; б — глухого

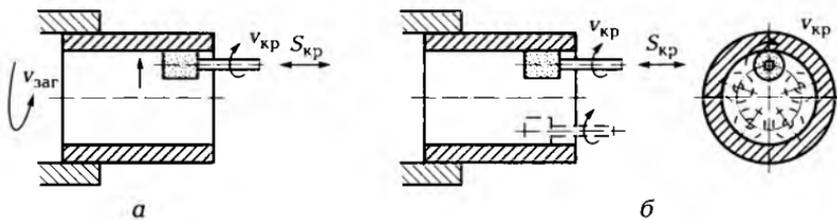


Рис. 1.35. Схемы внутреннего шлифования отверстия во вращающейся (а) и в неподвижной (б) заготовках

Существуют два способа внутреннего шлифования: шлифование отверстия во вращающейся заготовке и шлифование отверстия в неподвижной заготовке. Первый способ применяют при шлифовании отверстий в небольших по размерам заготовках, большей частью представляющих собой тела вращения, например отверстий в зубчатых колесах, в кольцах шарико- и роликоподшипников, а второй — при шлифовании отверстий в заготовках корпусных деталей, которые неудобно или невозможно закрепить в патроне станка.

В первом случае обрабатываемую заготовку зажимают в патроне и приводят во вращательное движение так же, как это производят на токарном станке (рис. 1.35, а). Во втором случае заготовку устанавливают на столе станка, а шпиндель шлифовального круга помимо вращательного движения, скорость которого соответствует окружной скорости шлифовального круга  $v_{кр}$ , имеет и планетарное движение со скоростью, соответствующей скорости вращения заготовки при шлифовании (рис. 1.35, б).

В обоих случаях осуществляется продольная подача шлифовального круга  $S_{кр}$  вдоль оси шлифуемого отверстия: в первом случае — движением шпиндельной головки, во втором — движением стола.

В обычных конструкциях шпиндельных головок окружная скорость круга при шлифовании отверстий малого диаметра большей частью не превышает 10 м/с и увеличивается с ростом размеров головок в соответствии с увеличением диаметров шлифуемых ими отверстий, доходя до 30 м/с при диаметрах отверстий свыше 30 мм. Относительно малая жесткость шпинделя шлифовального круга ограничивает глубину резания (поперечной подачей), составляющей (в зависимости от диаметра шлифуемого отверстия) при предварительном шлифовании стали и чугуна 0,005...0,02 мм и при чистовом шлифовании — 0,002...0,01 мм на один двойной

ход. Меньшие значения поперечной подачи применяют при диаметрах отверстий, не превышающих 40 мм, и при больших отношениях длины отверстия к его диаметру.

Внутреннее шлифование производят вращением с продольной подачей. Величина продольной подачи составляет, как и при круглом наружном шлифовании, 0,4...0,8 ширины круга при предварительном шлифовании и 0,25...0,4 ширины круга — при чистовом, причем меньшие значения применяют при отношении длины отверстия к диаметру, равном трем.

Вследствие малых размеров шлифовальных кругов при внутреннем шлифовании их стойкость, естественно, меньше, чем при других видах шлифования. Для внутреннего шлифования нужно выбирать более мягкие круги, чем в аналогичных условиях для наружного шлифования, так как при значительной длине дуги контакта круга с обрабатываемой поверхностью возможен более сильный нагрев обрабатываемой заготовки.

При внутреннем бесцентровом шлифовании (рис. 1.36) обрабатываемую заготовку 2 устанавливают между поддерживающими роликами 1 и 3 и ведущим роликом 5. Поддерживающие ролики и ведущий ролик помещены в общем корпусе 4, который перемещается вместе с обрабатываемой заготовкой в сторону шпинделя 6 шлифовального круга. Вращающийся шлифовальный круг осуществляет радиальную подачу на глубину шлифования, одновременно имея возможность перемещаться в продольном направлении относительно обрабатываемой заготовки.

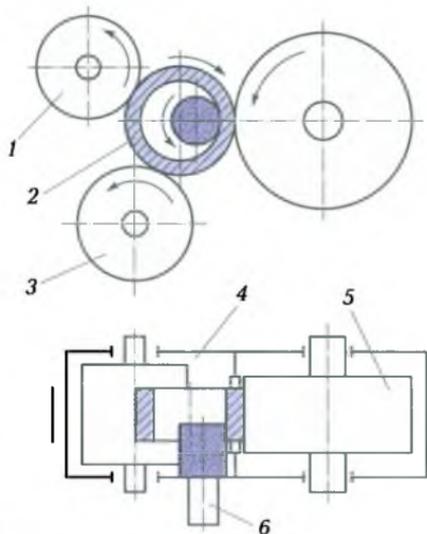


Рис. 1.36. Схема внутреннего бесцентрового шлифования

**Обработка на протяжных станках.** Протягивание цилиндрических отверстий — это такой вид механической обработки, при котором протягивают многолезвийный инструмент (протяжку) в виде зубчатой скалки круглого сечения сквозь предварительно обработанное (сверлением или растачиванием) отверстие заготовки.

Резание металла происходит многолезвийным инструментом 1 (протяжкой) с небольшой скоростью  $v$  (рис. 1.37) резания и снятием малого припуска каждым лезвием А протяжки. Заготовка 2 при этом центрируется точной цилиндрической поверхностью В протяжки и упирается торцом С в самоустанавливающий упор 3. Все это обуславливает высокую точность и малую шероховатость обработанных протягиванием поверхностей.

Припуск на протягивание составляет 0,5...0,8 мм. Точность отверстия по диаметру соответствует 6-му качеству, а параметр шероховатости  $Ra$  — 1,25 мкм.

Зубья протяжки за один ход снимают весь припуск. На протяжке кроме основных режущих зубьев имеются калибрующие зубья, придающие обрабатываемой поверхности требуемые точность и шероховатость.

Различают три основных вида протягивания:

- по **профильной схеме** — осуществляемое протяжками, все зубья которых имеют профиль, подобный профилю (контуру) поперечного сечения обрабатываемой поверхности, различаясь только размерами, причем каждый зуб последовательно снимает слой металла по форме профиля обрабатываемой поверхности;
- по **генераторной схеме** — осуществляемое фигурными протяжками, зубья которых имеют переменный профиль

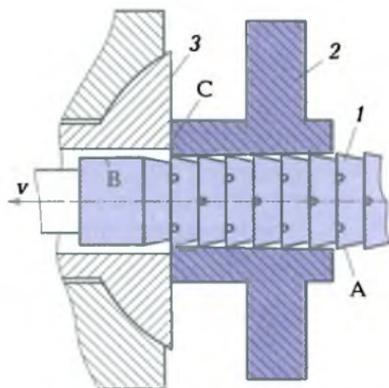


Рис. 1.37. Схема протягивания отверстия

с дугообразной или прямолинейной формой главной режущей кромки, постепенно переходящий к заданному профилю обрабатываемой поверхности;

- по **прогрессивной схеме** — осуществляемое протяжками, у которых все режущие зубья разбиты на группы, обычно по два зуба, причем каждый зуб группы формирует только определенный участок профиля обрабатываемой поверхности; при этом режущие кромки зубьев перекрывают друг друга.

Профильная схема применима при протягивании поверхностей со снятием тонкого слоя металла по всей ширине обработки. Обработка по корке при этой схеме не производится. Генераторная схема упрощает изготовление протяжек, так как в этом случае нет необходимости в заточке зуба протяжки по всему фасонному затылку. Прогрессивная схема применяется в основном при протягивании предварительно необработанных поверхностей.

Величины припусков под протягивание при обработке цилиндрических отверстий колеблются от 0,5 до 1,5 мм на диаметр в зависимости от диаметра отверстий, точность обработки по 6—9-му квалитетам. Для глубоких отверстий припуск увеличивается на 25...50%. Такие же припуски принимают при протягивании шлицевых, эвольвентных и других аналогичных отверстий, если впадины обрабатывают комбинированной протяжкой одновременно с отверстием. Достижимая шероховатость поверхности —  $Ra$  1,25...0,63 мкм.

На рис. 1.38 показан общий вид наиболее распространенного горизонтально-протяжного станка. На станине 4 установлены основные сборочные единицы станка, в ее полых части размещен со всеми агрегатами и приводом от электродвигателя 1 гидропривод 3, который приводит в движение шток 2. Наружный конец

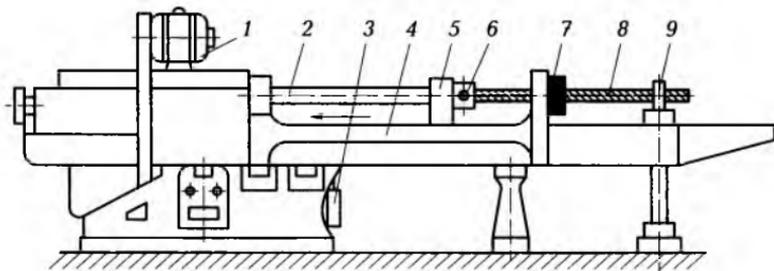


Рис. 1.38. Общий вид горизонтально-протяжного станка

штока покоится на дополнительной опоре, перемещающейся вместе с ползуном 5. Конец штока снабжен зажимным приспособлением 6 для крепления протяжки 8, другой конец которой поддерживает подвижный люнет 9. Обрабатываемая заготовка 7 при протягивании упирается в торец станины.

Для перемещения штока с различными скоростями рабочего хода и установки протяжек с различной длиной в гидроприводе предусмотрено устройство для изменения длины и скорости движения ползуна 5.

По конструкции зубьев протяжки бывают режущими и уплотняющими. В первом случае зубья имеют острые режущие кромки, а во втором — округленные, работающие на уплотнение обрабатываемой поверхности.

По профилю протяжки подразделяют на плоские, круглые и фасонные. Различают также сборные протяжки со вставными зубьями и наборные, оснащенные пластинами из твердого сплава. Разность высоты двух смежных зубьев определяет толщину слоя металла, срезаемого каждым зубом протяжки, или величину подъема на зуб, которая зависит от свойств обрабатываемого материала, материала протяжки, жесткости заготовки, формы протягиваемой поверхности и т. д.

Для разделения широкой стружки на поверхности режущей части зубьев прорезаны стружкоразделительные канавки (от 6 до 12). Число калибрующих зубьев составляет 3—8. Чем выше требования к точности обработки, тем больше калибрующих зубьев должна иметь протяжка.

Типы хвостовиков протяжек зависят от применяемого способа крепления протяжки в патроне станка. Наиболее распространенными являются круглые протяжки с прямыми зубьями, их иногда выполняют сборными в целях экономии быстрорежущей стали. Для протягивания глубоких отверстий применяют протяжки с винтовыми зубьями, работающие с поступательным движением вдоль оси. Уплотняющая протяжка не имеет острых режущих кромок, ее зубу придают округленную форму, что обеспечивает выглаживание обрабатываемой поверхности. Шлицевые протяжки выполняют так же, как и круглые, в зависимости от формы шлица зубья изготавливают с прямым, угловым или елочным профилем.

Для протягивания многогранных отверстий применяют квадратные, шестигранные, прямоугольные протяжки и протяжки другого профиля. Особенностью их конструкций является наличие нескольких ступеней по длине с различными подъемами на зуб.

Для одновременной обработки различных поверхностей шлицевого отверстия применяют комбинированные протяжки, которые предварительно протягивают гладкое отверстие, а затем шлицы. Такие протяжки имеют вначале зубья круглой формы, за которыми расположены зубья, соответствующие форме шлица.

Шпоночные протяжки предназначены для протягивания в отверстиях шпоночных канавок различных форм.

**Отделочные виды обработки отверстий.** Известно, что надежность и долговечность работы изделия зависят от многих технологических факторов, в том числе от точности и шероховатости поверхностей готовых деталей, т. е. от методов отделки поверхностей (финишных операций), которые обеспечивают требуемые параметры поверхностей готовых деталей.

Отделочные методы обработки являются высокоточными методами обработки. Для отделки цилиндрических отверстий применяют следующие методы:

- тонкое растачивание;
- хонингование;
- притирание;
- выглаживание;
- полирование.

Общим у перечисленных методов обработки можно назвать следующее:

- на этих операциях снимают очень малый припуск, соизмеримый с допуском на окончательный размер;
- на всех операциях (кроме тонкого точения) обеспечивается лишь точность обрабатываемой поверхности (точность размера).

Различием перечисленных методов обработки является:

- необходимое для обработки оборудование;
- инструмент, применяемый для обработки;
- получаемые результаты обработки поверхности.

**Тонкое растачивание** применяют главным образом для обработки цветных металлов и их сплавов, так как отделка отверстий заготовок из этих материалов шлифованием сопровождается закаливанием шлифовального круга, что затрудняет обработку. Тонкое растачивание характеризуется незначительной глубиной резания (0,05... 0,3 мм) и небольшими подачами (0,02... 0,12 мм/об) при высоких скоростях резания (120... 1 000 м/мин и выше). Обработку

осуществляют алмазными резцами или резцами, оснащенными пластинами из твердого сплава.

Алмазные резцы обладают высокой стойкостью, достигающей до 200...300 ч. Резцы с пластинами из твердых сплавов с хорошо доведенной режущей кромкой также обеспечивают высокое качество обработанной поверхности, однако стойкость их значительно меньше.

Основными факторами, влияющими на точность обработки при тонком растачивании, являются тщательная доводка режущей кромки инструмента и вследствие этого его малое изнашивание при высокой твердости, небольшое удельное давление резания, большие скорости резания и высокая точность оборудования. Большое значение при этом виде обработки имеют припуск под растачивание и точность предшествующей операции. Повышенный припуск и неточность предшествующей обработки ухудшают условия работы режущего инструмента.

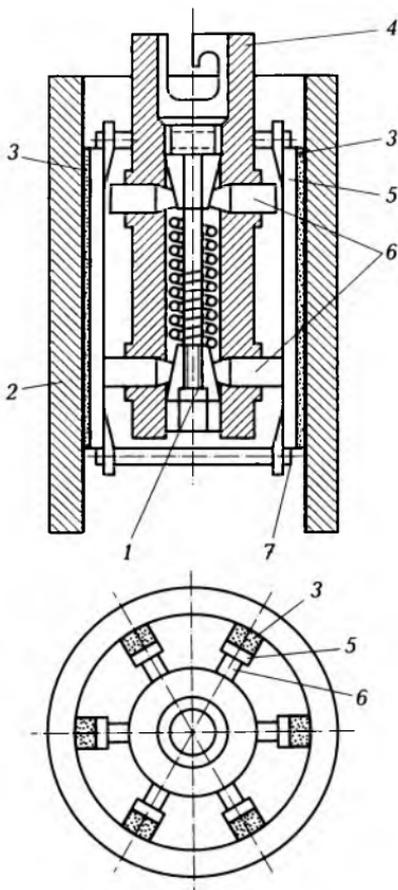
Для тонкого растачивания применяют специально приспособленные станки. Заготовку на этих станках закрепляют неподвижно, а вращение получает режущий инструмент, что исключает влияние дисбаланса обрабатываемой заготовки на точность обработки. Для тонкого растачивания корпусных деталей наиболее применимы горизонтально-расточные станки, для тонкого растачивания металлоемких корпусных деталей — вертикально-расточные станки.

Тонкое растачивание обеспечивает точность обработки в пределах 6-го, 7-го квалитетов и шероховатость поверхности до  $Ra$  1,25...0,32 мкм с отклонениями от правильной геометрической формы (овальность, конусообразность, огранка) не более 0,003...0,005 мм.

Рекомендуемые режимы тонкого растачивания и припуски на обработку приведены в Приложениях 2 и 7.

**Хонингование** — это один из основных видов отделочной обработки отверстий, при котором абразивные брусочки прижимаются к обрабатываемой поверхности с небольшим усилием. Обрабатывающим инструментом является разжимная головка (хон), представляющая собой цилиндр 4 (рис. 1.39), вдоль образующих которого расположено шесть абразивных брусков 3, укрепленных на соответствующих планках 5 и соединенных попарно с радиальными стержнями 6, которые входят в соответствующие пазы головки. Внутри головки смонтирован двусторонний конический стержень 1, с помощью которого радиальные стержни вместе с абразивными брусками раздвигаются, регулируя диаметральный размер и компенсируя износ абразивных брусков. Абразивные

Рис. 1.39. Конструкция доводочной головки (хона)



бруски соединены между собой парно пружинами 7. Доводочную головку соединяют со шпинделем хонинговального станка шарниром.

Шпиндель станка сообщает доводочной головке одновременно вращательное (20...50 м/мин при обработке стали и 65...80 м/мин при обработке чугуна) и возвратно-поступательное (10...20 м/мин) движения в отверстии обрабатываемой заготовки 2. При этом хон абразивными брусками сглаживает поверхность обрабатываемого отверстия заготовки и доводит его до нужного размера и шероховатости.

Точность отверстия после хонингования соответствует 6-му, 7-му квалитетам и шероховатости

поверхности в пределах  $Ra\ 0,63 \dots 0,32$  мкм.

В процессе хонингования могут быть исправлены погрешности формы отверстия (конусообразность, овальность, бочкообразность и др.), если они остались после предыдущей операции.

Припуск на хонингование зависит от точности предыдущей операции и обычно составляет 0,01...0,2 мм (если для подготовки поверхности под хонингование используется шлифование, припуск составляет 0,01...0,05 мм).

На качество хонингования влияют характеристика абразивных брусков и режимы обработки. Абразивные бруски изготавливают из электрокорунда зернистостью 8—3. Применяют также бруски из синтетического алмаза.

Оптимальный режим обработки при хонинговании следующий: окружная скорость доводочной головки 30...60 м/мин, скорость возвратно-поступательного движения 10...15 м/мин.

При хонинговании отверстий применяют СОЖ, приготовленные из смеси керосина (90 %) и масла (10 %), а в некоторых случаях специальные смеси, состоящие из керосина с осерненным маслом, стеарина и других материалов.

**Притирка** — способ отделки отверстий вращающимся притиром. Отверстия притирают лишь в единичном и мелкосерийном производстве при обработке небольших точных отверстий, когда применение хонингования затруднительно.

Точность и производительность притирания определяются в основном зернистостью и видом абразива, условиями смазки и режимами обработки. Погрешность по форме составляет 0,001 мм, а шероховатость — не выше 14-го класса. Припуск на обработку (не более 0,01 мм) определяет длительность процесса притирания.

**Выглаживание** — это процесс обработки внутренних поверхностей хорошо обработанным инструментом, оказывающим давление на поверхность отверстия без снятия стружки. При этом изменяются не только геометрические параметры отверстия, но и показатели его поверхностного слоя. Для обработки отверстий применяют калибровку (жесткое выглаживание), при котором инструментом является шарик или роликовая головка. При продавливании через отверстие А заготовки 2 роликовой головки (прошивки) 1 (рис. 1.40, а) с натягом 0,05...0,15 мм со смазкой или шариком 3 (рис. 1.40, б) происходит снижение шероховатости поверхности и изменение ее диаметра. По получаемой точности этот процесс аналогичен чистовому шлифованию. Применяют его чаще для отверстий малого диаметра, когда применение шлифования практически невозможно или экономически нецелесообразно.

Особым видом выглаживания является алмазное выглаживание, при котором рабочей части алмаза придают сферическую форму радиусом 1,5...4 мм. Небольшой коэффициент трения скольжения по различным металлам и высокая твердость алмаза позволяют получить хорошие результаты при выглаживании заготовок с высо-

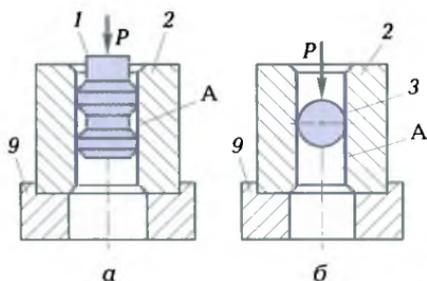


Рис. 1.40. Схемы жесткого выглаживания (калибровки) отверстий:

а — роликовой прошивкой; б — шариком

кой твердостью ( $HRC \geq 60$ ) при продольной подаче инструмента  $0,04...0,1$  мм/об заготовки и скорости обработки  $40...50$  м/мин.

**Полирование** — это обработка поверхности с помощью мелкоабразивного порошка, который может быть нанесен на бумагу, ткань или эластичную (войлочную) оправку. Применяют полирование отверстий в основном для удаления следов предшествующей обработки. На точность самой поверхности этот процесс особого влияния не оказывает. Если же полируют высокоточное отверстие, то назначают определенный припуск на обработку и контролируют размер, как до полирования, так и после него.

Представляет интерес обработка поверхностей с использованием метательной энергии взрывчатого вещества — **обработка взрывом**.

На рис. 1.41, а показана малогабаритная установка для обработки сквозных отверстий, пазов и шлицов на наружных и внутренних поверхностях в заготовках деталей с наибольшей высотой 50 мм и шириной 150 мм. В этой установке используется энергия выстрела (обычный охотничий патрон), но могут быть применены и другие источники энергии: взрыв бензина, пневматика и др.

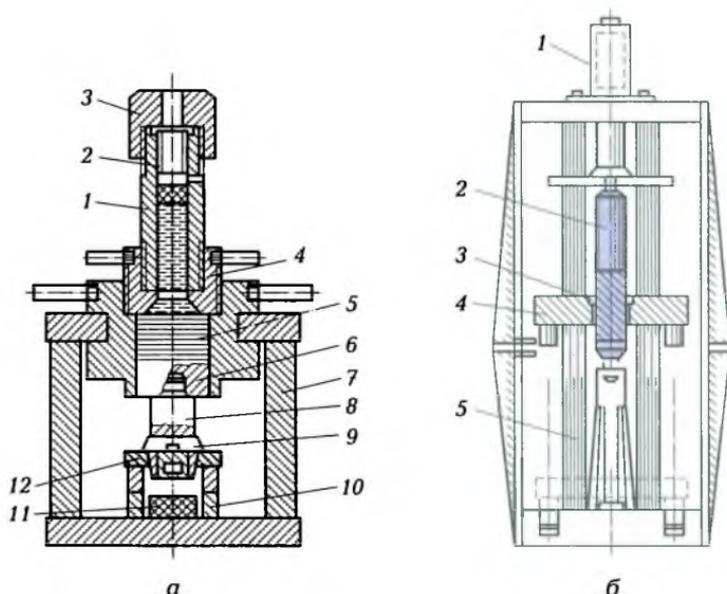


Рис. 1.41. Малогабаритные установки для обработки сквозных отверстий энергией взрыва (а) и энергией сжатого воздуха (б)

В корпусе трубы помещена гильза 2 с резьбовой крышкой 3. Труба через резьбовой переходник 4 соединяется с рабочим цилиндром 5. В цилиндре помещен поршень 6, уплотненный поршневыми кольцами. В дне поршня имеется резьбовое отверстие для соединения ползуна с резцедержателем 8, в гнезде которого укреплен резец двустороннего действия 9, лежащий своими передними поверхностями на кольцевой заготовке детали 12, установленной на подкладках 10 внутри корпуса 7.

Для смягчения удара резцедержателя о стол установки в конце рабочего хода под резцедержатель положена резиновая шайба — буфер 11.

Резьбовые соединения трубы 1 с переходником 4 и переходников с цилиндром 5 герметизированы свинцовыми прокладками. В трубе предусмотрено отверстие для отвода пороховых газов.

Взрыв заряда производят электрозапалом. В полость рабочего цилиндра заливают жидкость (воду, промышленное масло, водно-масляную эмульсию и др.), являющуюся средой, передающей энергию выстрела.

На рис. 1.41, б показана схема установки с применением энергии сжатого воздуха вместо энергии взрыва. Обрабатываемая заготовка 2 под действием воздушной подушки 1 проходит с большой скоростью между четырьмя режущими инструментами 3 в выстреливающем резцедержателе 4 по направляющим 5.

### 1.3. ОБРАЗОВАНИЕ РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Виды резьб, их назначение и классификация.** Резьбы подразделяют на цилиндрические и конические.

Основным видом **цилиндрической резьбы** является метрическая резьба с диаметрами от 1 до 600 мм, регламентированная соответствующими стандартами. По величине шага метрическую резьбу подразделяют на резьбу с крупным и мелким шагом.

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к точности резьбового соединения, поля допусков болтов и гаек установлены в трех классах точности: точном, среднем и грубом.

Кроме метрической резьбы используют специальные цилиндрические резьбы: трубную, трапецеидальную, упорную, часовую, круглую. **Трубная резьба** представляет собой измельченную по шагу дюймовую резьбу с закругленными впадинами. **Трапецеи-**

**гальную резьбу** применяют в резьбовых соединениях, передающих движение (ходовые и грузовые винты). В резьбовых соединениях, предназначенных для передачи движения, иногда используют прямоугольную резьбу с квадратным профилем. **Упорную резьбу** применяют в резьбовых соединениях, испытывающих большое одностороннее давление (в винтовых прессах, специальных нажимных винтах и др.). **Часовую резьбу** выполняют в точном приборостроении для резьбовых соединений диаметром менее 1 мм. **Круглую резьбу** используют в соединениях с повышенными динамическими нагрузками или в условиях, загрязняющих резьбу.

**Конические резьбы** применяют в трубных соединениях, если необходимо обеспечить герметичность соединения без специальных уплотняющих материалов. Наиболее распространенным видом является **трубная коническая резьба**, профиль которой соответствует закругленному профилю трубной цилиндрической резьбы.

В зависимости от назначения и характера работы резьбовые сопряжения подразделяют на **неподвижные** и **кинематические**. К первым относят обычные резьбовые соединения (болт — гайка), соединения труб и другие, ко вторым — ходовые винты, микрометрические пары, грузовые винты и др.

**Нарезание наружной резьбы.** Наружную резьбу нарезают плашками различных конструкций, резьбонарезными головками (с раздвигающимися плашками), резьбовыми резцами, гребенками, дисковыми и групповыми резьбовыми фрезами, одно- и многониточными шлифовальными кругами, накатыванием.

**Нарезание резьбы резцами** на токарном станке производят фасонным (резьбовым) резцом 1 (рис. 1.42), профиль которого соответствует профилю нарезаемой винтовой канавки (впадины резьбы), за несколько проходов. Черновые проходы выполняют с косой подачей  $S_{\text{кос}}$  (рис. 1.42, а), а чистовые проходы выполняют с прямой подачей  $S_{\text{прям}}$  (рис. 1.42, б). Заготовка 3 вращается с угловой скоростью  $\omega$ , а продольная подача  $S_{\text{прод}}$  резца (или гребенки) на один оборот заготовки равна шагу нарезаемой резьбы. Нарезание резцом является малопроизводительным методом обработки резьбы, так как нарезать резьбу приходится за несколько проходов. Конструктор, проектируя деталь, как правило, предусматривает сбеги резьбы или канавку для выхода резца в конце нарезанной резьбы.

Нарезание резьбы призматическими или круглыми гребенками является более производительным методом. У гребенки 2 (рис. 1.42, в) зубья срезаны под некоторым углом  $\beta$ , что распределяет работу между зубьями А, В, С и D на черновую и чистовую. При

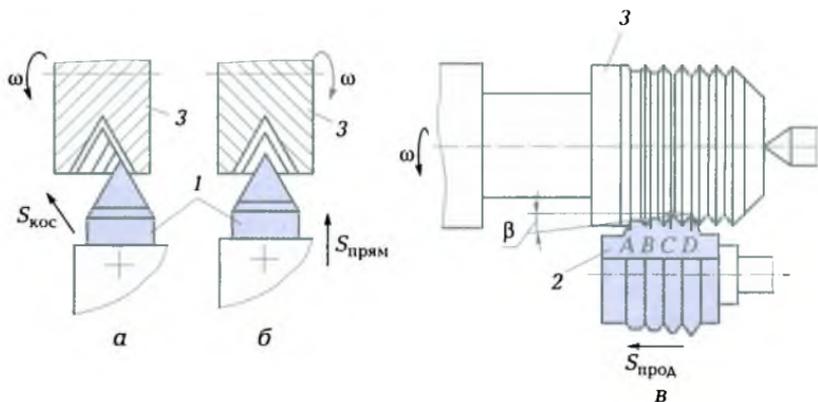


Рис. 1.42. Схема нарезания метрической резьбы:

а — резцом с косой подачей; б — резцом с прямой подачей; в — гребенкой

определенных условиях гребенкой нарезают резьбу за один проход при продольной подаче  $S_{\text{прод}}$  на один оборот заготовки, равной шагу нарезаемой резьбы. При нарезании точной резьбы гребенка служит лишь для черновой обработки. Кроме того, гребенка непригодна для нарезания резьбы, непосредственно прилегающей к буртику детали. При отработке деталей на технологичность конструктор совместно с технологом предусматривает возможности для реализации того или иного метода нарезания резьбы.

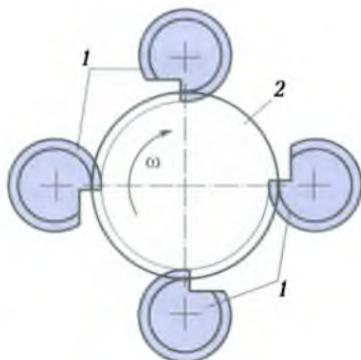
**Нарезание резьбы плашками** применяют для получения наружной резьбы невысокой точности. Поскольку обработка резьбы происходит за один проход, то этот метод мало пригоден для нарезания резьбы с крупным шагом.

В некоторых случаях применяют плашки особо высокой точности изготовления, у которых режущие кромки, притирая, доводят до высокой точности. Такими плашками можно нарезать и калибровать точные резьбы. Однако этот способ нарезания резьбы неэкономичен и вследствие этого применяется редко.

Круглые плашки используют главным образом для нарезания резьбы на заготовках из цветных металлов, а также для нарезания резьб малых диаметров (менее 2 мм), их изготавливают **разрезными**, или регулируемыми по диаметру, и **неразрезными**. Неразрезные плашки более надежны и обеспечивают получение более правильной и чистой резьбы, чем разрезные.

Нарезание резьбы плашками производят как вручную, так и на станках. При нарезании резьбы вручную плашки закрепляют в

Рис. 1.43. Схема нарезания метрической резьбы резбонарезной головкой с круглыми гребенчатыми плашками



державках, которым рабочий придает движения, необходимые для нарезания резьбы.

При машинном нарезании резьбы плашки закрепляют в компенсирующих патронах. В серийном производстве используют самораскрывающиеся резбонарезные головки с круглыми гребенчатыми плашками 1 (рис. 1.43). В процессе нарезания резьбы продольная подача головки обеспечивается самозатягиванием плашки нарезаемой резьбой. По окончании нарезания резьбы на заготовке 2, вращающейся с угловой скоростью  $\omega$ , головка автоматически раскрывается от воздействия специального упора и обратным ходом возвращается в исходное положение, с которого начинается обработка следующей заготовки.

Нарезание резьбы плашками обеспечивает точность по 7—9-му качеству, а резбонарезной головкой — по 7-му качеству.

Для нарезания резьбы на револьверных станках и автоматах применяют разновидность круглых плашек — **трубчатые плашки** (рис. 1.44), которые работают значительно лучше обычных круглых плашек вследствие свободного удаления стружки, удобства заточки режущих кромок, надежного центрирования плашки в патроне и возможности регулирования размера с помощью стягивающего кольца.

Нарезание наружной резьбы на сверлильных, револьверных, болторезных станках и автоматах **резбонарезными (винторезными)**

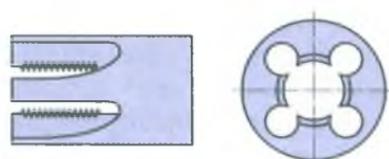


Рис. 1.44. Круглая трубчатая плашка

**ми) головками** является более совершенным, производительным и точным способом. В зависимости от расположения гребенок различают следующие типы резьбонарезных головок: с радиальным расположением гребенок для точных резьб (рис. 1.45, а), тангенциальным расположением гребенок для менее точных резьб (рис. 1.45, б).

По конструкции гребенок резьбонарезные головки могут быть с плоскими (призматическими) гребенками (см. рис. 1.45, а, б) и круглыми (дисковыми) (см. рис. 1.43).

Эффективным способом, повышающим производительность резьбонарезания, является нарезание резьбы вращающимися резцами, так называемое **вихревое нарезание резьбы**. Этот способ заключается в следующем. Обрабатываемая заготовка вращается с частотой вращения от 30 до 300 мин<sup>-1</sup> (в зависимости от обрабатываемого материала, диаметра и шага резьбы), а один из резцов, закрепленных в резцовой головке, вращающийся с частотой вращения от 1 000 до 3 000 мин<sup>-1</sup>, периодически (1 раз за каждый оборот головки) приходит в соприкосновение с обрабатываемой поверхностью. Резцовая головка размещена на шпинделе, расположенном эксцентрично по отношению к оси обрабатываемой заготовки (рис. 1.45, в). В головках закрепляют один, два или четыре резца. Этим способом можно нарезать резьбы диаметром более 50 мм, 6-го, 7-го классов точности и шероховатости поверхности Ra 1,25...0,63 мкм. При применении резцов, оснащенных пластинами из твердого сплава марки Т15К6, скорость резания достигает 400 м/мин.

**Шлифование резьбы абразивными кругами** на резьбошлифовальных станках применяют для обработки метчиков, резьбовых фрез, резьбовых калибров, накатных роликов, а также для получения резьбы на термически обработанных заготовках с предварительно нарезанной резьбой, резьбы на ответственных деталях и высокоточной резьбы. В настоящее время в практике производ-

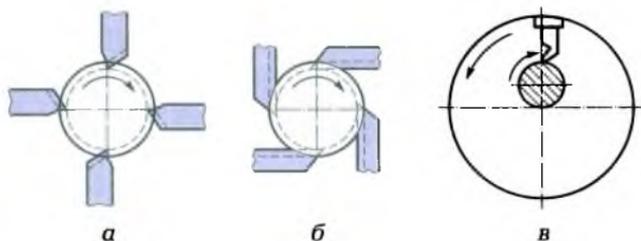


Рис. 1.45. Нарезание наружной резьбы (а—в)

ства преимущественно применяют следующие основные способы шлифования резьбы.

**Шлифование односточным абразивным кругом, профилированным в соответствии с профилем одной впадины резьбы.** Ось вращения абразивного круга *1* (рис. 1.46) устанавливают под углом  $\alpha$  к оси заготовки, равным углу подъема винтовой линии резьбы. Профиль абразивного круга должен соответствовать профилю впадины шлифуемой резьбы. Во время обработки абразивный круг вращается с окружной скоростью  $v_{кр}$ , а заготовка *2*, поддерживаемая задним центром *3*, вращается медленно с круговой подачей  $S_{кр}$  и перемещается вдоль оси с продольной подачей  $S_{прод}$ , равной одному шагу резьбы за один оборот заготовки.

Режим обработки характеризуется соотношением глубины резания и окружной скорости обрабатываемой детали. При большой глубине резания и малой окружной скорости можно шлифовать резьбу с небольшим шагом «из целого», т. е. без предварительного прорезания. Этот метод позволяет получить резьбу очень высокой точности, например с погрешностью по половине угла профиля резьбы в пределах  $\pm 3'$ .

**Шлифование многосточным шлифовальным кругом с кольцевыми нитками** позволяет шлифовать короткие резьбы, длина которых меньше ширины круга. Шлифование резьбы многосточным кругом выполняют как методом продольной подачи, так и методом радиального врезания.

**Врезное шлифование** применяют для обработки короткой резьбы. Ось абразивного круга, ширина которого превышает длину нарезаемой резьбы больше, чем на два шага резьбы, устанавливают параллельно оси обрабатываемой заготовки. При обработке абразивный круг *1* (рис. 1.47) вращается с окружной скоростью резания  $v_{кр}$ , а заготовка *2* вращается медленно с круговой подачей

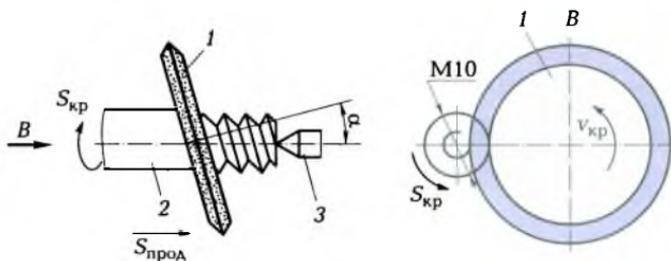


Рис. 1.46. Схема шлифования резьбы односточным абразивным кругом

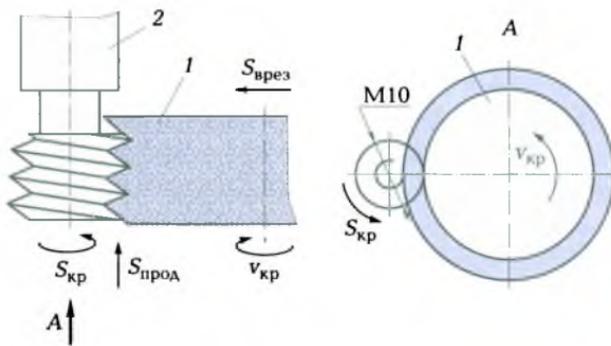


Рис. 1.47. Схема шлифования резьбы многониточным абразивным кругом

$S_{кр}$  и перемещается вдоль своей оси с продольной подачей  $S_{прод}$ . Вращающийся абразивный круг врезается с радиальной подачей  $S_{врез}$  на полную глубину профиля резьбы за половину оборота заготовки. Заготовка при этом переместится вдоль своей оси за один оборот на величину  $S_{прод}$ , равную шагу нарезаемой резьбы. Обработка резьбы завершается за 1,5 оборота заготовки.

Описанный способ отличается высокой производительностью и позволяет шлифовать резьбы с мелким шагом «из целого» (без предварительного прорезания), но точность резьбы, достигаемая при этом, ниже, чем при работе односточным кругом, — погрешность по половине угла профиля составляет  $\pm 6'$ .

Шлифование резьбы с **продольной подачей** многониточным кругом применяют при обработке длинной резьбы. Абразивному кругу 1 (рис. 1.48), установленному на полную глубину профиля резьбы, сообщают главное вращательное движение с окружной

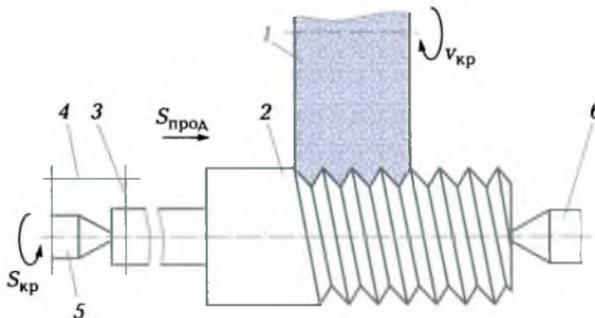


Рис. 1.48. Схема шлифования резьбы с продольной подачей

скоростью резания  $v_{кр}$ . Заготовка 2, установленная в центрах 5 и 6, вращается (с использованием хомутика 3 и поводка 4) с небольшой круговой подачей  $S_{кр}$  и перемещается вдоль своей оси с продольной подачей  $S_{прод}$ , равной шагу нарезаемой резьбы на один оборот заготовки. Первые по ходу нитки абразивного круга выполняют предварительное шлифование, а последние нитки — окончательное шлифование.

Кроме рассмотренных методов применяют **бесцентровое шлифование** резьбы на бесцентрово-шлифовальном станке, оснащенном дополнительными специальными устройствами, используя многониточный шлифовальный круг. Точность резьбы, полученная бесцентровым шлифованием, ниже, чем точность, достигаемая другими методами, но вполне достаточна для обычных деталей. Это обстоятельство и высокая производительность способа делают его применение целесообразным в массовом производстве резьбовых деталей, не требующих высокой точности.

**Нарезание внутренней резьбы.** Внутреннюю резьбу нарезают в основном метчиками. Помимо метчиков используют также резцы, гребенки и резьбовые фрезы. В зависимости от способа нарезания резьбы метчики подразделяют на машинные, применяющиеся при нарезании резьбы на станках, и ручные, или слесарные, применяющиеся при нарезании резьбы вручную.

При использовании **машинных метчиков** резьбу нарезают за один проход одним метчиком. На станках резьбу нарезают, как правило, за один рабочий ход и лишь в случаях нарезания длинных резьб или в глубоких отверстиях применяют два метчика. Точные резьбы после нарезания на станке проходят калибровочным метчиком вручную или на станке. **Ручными метчиками** резьбу нарезают за два или три рабочих хода в зависимости от размера резьбы соответственно различными метчиками, входящими в комплект. Машинными метчиками резьбу нарезают как в сквозных, так и в глухих отверстиях на резьбонарезных, сверлильных, револьверных станках, токарных автоматах и полуавтоматах.

Глухие отверстия сверлят перед нарезанием на несколько большую глубину (примерно на 3—4 нитки), чем требуемая глубина нарезки. Это облегчает нарезание резьбы, обеспечивает полноценность резьбы на требуемой глубине и устраняет возможную поломку метчика.

Необходимым условием при нарезании метчиками резьбы на станке (кроме нарезания подающими метчиками) является быстрое переключение вращения с рабочего хода на обратный (ре-

версирование), когда метчик достигает положения, обеспечивающего нарезание резьбы на требуемой длине. Для нарезания резьбы в глухих отверстиях станки должны быть снабжены ограничителями рабочего хода с переключением на обратный при достижении метчиком конечного положения. Остановка подачи и вращения метчика может быть осуществлена также с помощью самовыключающихся патронов.

Переключение вращения шпинделя необходимо и при использовании самовыключающихся патронов, за исключением специальных станков для нарезания гаек.

Для нарезания резьбы метчиками применяют различные типы патронов: жесткие, плавающие, самовыключающиеся от упора, самовыключающиеся при перегрузке крутящим моментом.

**Жесткие патроны** представляют собой простую державку для метчика. Эти патроны используют только на револьверных станках и автоматах, где обеспечивается соосность отверстия и метчика.

**Плавающие патроны** не только обеспечивают самоустановку метчика по оси нарезаемого отверстия, но и позволяют выполнять быструю смену метчика на ходу шпинделя. Вместо плавающих патронов, особенно для метчиков небольших диаметров, применяют также посадку метчика в жестком патроне с некоторым зазором, позволяющим ему самоустанавливаться. Метчик с патроном чаще всего соединяют с помощью квадратного хвостовика метчика.

**Самовыключающиеся от упора патроны** применяют для нарезания резьбы метчиком (и круглыми плашками) на револьверных станках и автоматах, а также на многошпиндельных резьбо-нарезных станках. После прекращения продольной подачи шпинделя станка от действия упора дальнейшее ввинчивание метчика в нарезаемое отверстие заставляет выдвигаться подвижную часть патрона (рис. 1.49, а) до тех пор, пока полумуфта 3, жестко связанная с оправкой 2, не выйдет из зацепления с полумуфтой 1 выдвигаемой части патрона 4.

**Самовыключающийся при перегрузке патрон** показан на рис. 1.49, б. На валу 1, конический хвостовик которого служит для закрепления патрона в шпинделе станка, посажена на шпонке полумуфта 4, имеющая торцовые кулачки, входящие в зацепление с такими же кулачками второй полумуфты 5, свободно установленной на валу. Полумуфта 4 перемещается в продольном направлении под действием пружины 3, осевая сила которой регулируется гайкой 2. Вращение метчику передается от полумуфты 5 через сменную втулку 7.

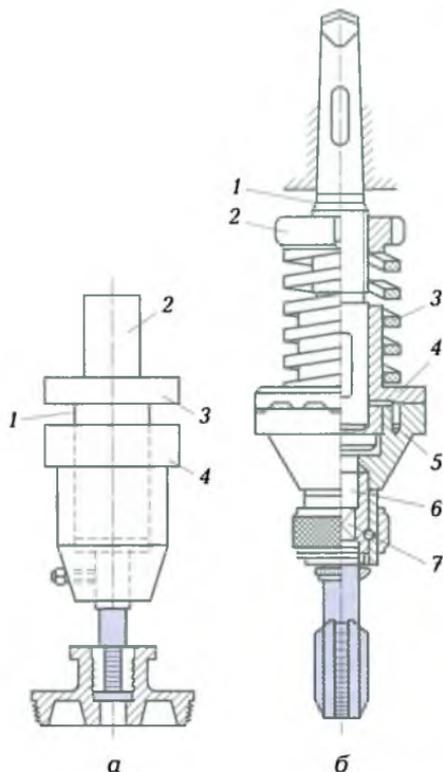


Рис. 1.49. Самовыключающиеся от упора (а) и при перегрузке (б) патроны для нарезания резьбы метчиком

Если крутящий момент превышает заранее установленную величину, втулка *б* начинает проскальзывать. В момент прекращения вращения метчика реверсируется вращение шпинделя.

Для нарезания гаек применяют гайконарезные станки, работающие длинными гаечными метчиками или метчиками, имеющими длинный изогнутый хвостовик.

Резьбу нарезают, применяя СОЖ: в стали — осерненное масло (сульфофрезол), в чугунах — керосин либо всухую.

При нарезании одно- и многозаходной нестандартной резьбы для чистового нарезания используют резьбовые резцы. Основным недостатком фасонных резцов является низкая производительность, так как они не могут производительной работать при значительной толщине стружки и высоких скоростях резания. При обработке этим способом требуется несколько рабочих ходов: например, для резьбы средних размеров — от 12 до 20 рабочих хо-

дов, а для резьбы с крупным шагом, трапецеидальной и прямоугольной — до 50 рабочих ходов и больше.

Гребенки для нарезания внутренней резьбы почти не применяют, так как метчик представляет собой комплект из нескольких резьбонарезных гребенок, соединенных вместе, в то же время он значительно проще в изготовлении, чем гребенка.

**Фрезерование наружной и внутренней резьбы.** Фрезерование наружной и внутренней резьбы применяют в следующих случаях:

- при предварительной обработке резьбы на длинных ходовых винтах;
- при обработке резьбы на заготовках из твердых сталей;
- при нарезании резьбы с крупным шагом;
- при обработке резьбы большого диаметра.

Режущим инструментом является дисковая или гребенчатая фреза. Обработку ведут на резьбофрезерном станке.

При нарезании резьбы дисковой фрезой 1 ширина  $L$  фрезы (рис. 1.50) должна быть больше длины  $N$  нарезки на 2—3 шага нарезаемой резьбы. Фрезу 1 устанавливают под углом к оси заготовки 2, равным углу подъема винтовой линии нарезаемой резьбы. Режущий инструмент вращается с окружной скоростью резания  $v_{рез}$  до 60 м/мин. Заготовка вращается медленно со скоростью  $S_{кр}$ , обеспечивая круговую подачу 0,02...0,08 мм/зуб. Готовая резьба (М36) получается за 1,3 оборота заготовки. Резьбофрезерование как метод является более производительным, а резьба получается качественнее по сравнению с нарезанием резьбы резцом.

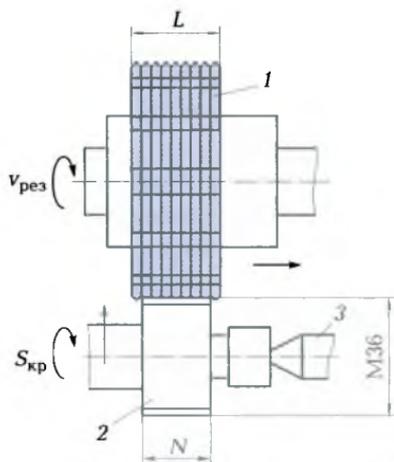


Рис. 1.50. Схема нарезания резьбы дисковой фрезой

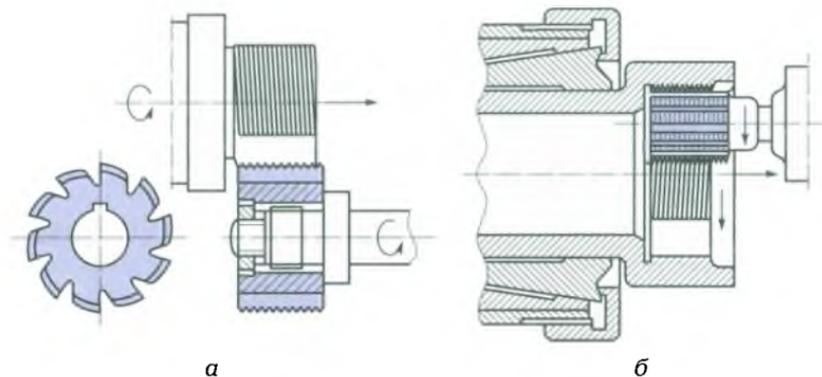


Рис. 1.51. Нарезание наружной [а] и внутренней [б] резьбы групповой фрезой

Трапецеидальную и прямоугольную резьбу с крупным шагом фрезеруют дисковыми фрезами предварительно, а чистовые переходы делают резьбовым резцом несколькими рабочими ходами.

Короткую наружную и внутреннюю резьбу с треугольным профилем фрезеруют гребенчатыми, или групповыми, фрезами. **Гребенчатая резьбовая фреза** представляет собой комплект из дисковых резьбовых фрез, соединенных торцами вместе. Такие фрезы называют групповыми. Продольные канавки, а следовательно, и режущие кромки у таких фрез расположены параллельно их оси. Зубья фрезы выполняют затылованными для облегчения их заточки. Длину групповой фрезы обычно берут на 2—3 нитки больше длины нарезаемой резьбы.

Резьбу **групповой фрезой** нарезают на 1,25 оборота нарезаемой заготовки. Это делается для того, чтобы перекрыть место врезания фрезы. При нарезании резьбы заготовка при каждом обороте должна продвинуться в осевом направлении на один шаг нарезаемой резьбы. Схемы работы такими фрезами показаны на рис. 1.51.

Профиль зубьев фрезы должен быть одинаковым с профилем нарезаемой резьбы. Ось гребенчатой фрезы устанавливают параллельно оси нарезаемой заготовки.

Применение резьбовых гребенчатых фрез особенно целесообразно при нарезании резьбы, расположенной у галтелей, буртиков, а также резьбы, доходящей до дна глухих отверстий, поскольку в таких случаях только с помощью фрезерования можно обеспечить полную резьбовую нитку вплоть до буртика или до дна отверстия.

Фрезерование гребенчатыми фрезами широко применяют при нарезании резьбы на деталях из вязких и твердых сталей, когда использование плашек или резьбонарезных головок не может обеспечить требуемую шероховатость поверхности на резьбе или же вызывает быстрое затупление инструмента.

**Накатывание резьбы.** Принцип образования наружной и внутренней резьбы накатыванием заключается в том, что заготовка прокатывается между двумя параллельно расположенными на определенном расстоянии друг от друга призматическими (плоскими) резьбовыми плашками или между цилиндрически вращающимися роликами.

Инструмент — накатные плашки изготавливают из сталей Х12М и Х6ВФ. Твердость рабочей части плашек 57...60 HRC. Шероховатость поверхностей профиля резьбы на плашках не должна быть ниже 7-го класса. В каждом комплекте (паре) плашек резьба одной плашки относительно другой должна быть смещена на 0,5 шага.

На рис. 1.52, а показано накатывание резьбы плоскими плашками. Плашка 1 неподвижна, а плашка 2 движется поступательно-возвратно. На обращенных друг к другу сторонах плашек нанесены

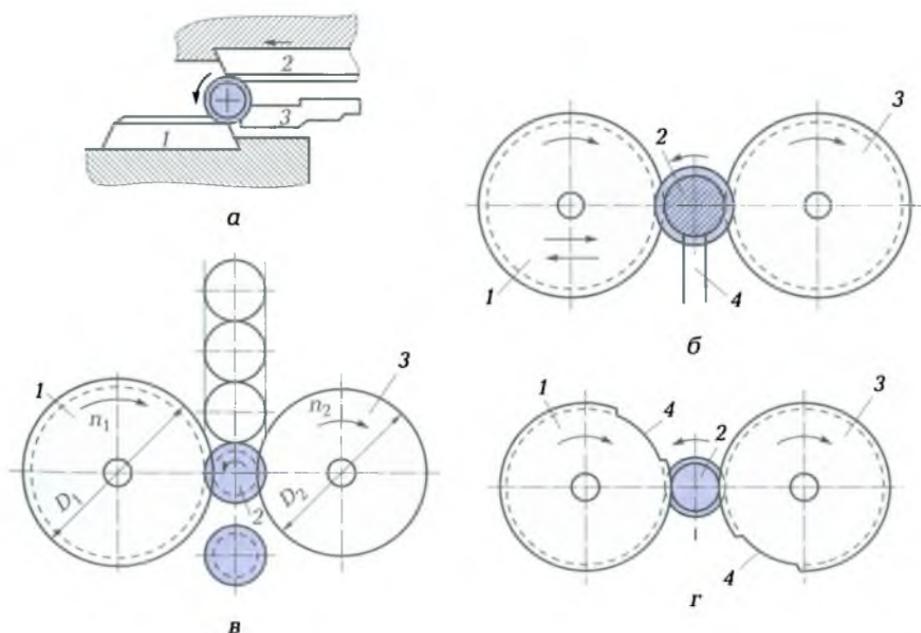


Рис. 1.52. Схемы накатывания резьбы (а—г)

на развертка винтовой поверхности накатываемой резьбы на плоскость.

В начале процесса заготовка автоматически подается толкателем (на рисунке не показан) между плашками 1 и 2, имеющими скошенную заборную часть, и пружинным упором 3. Затем толкатель отходит и плашка 2 начинает двигаться в направлении, показанном стрелкой, захватывая заготовку. Достигнув левого конца плашки, накатанная заготовка падает в приемник.

Этот способ помимо высокой производительности дает несколько более прочную и износостойкую резьбу, чем при обработке режущим резьбовым инструментом, так как материал на нитке резьбы в процессе накатки упрочняется (наклепывается) и, кроме того, волокна металла не перерезаются, а пластически деформируются. Образование резьбы накатыванием происходит без снятия стружки, благодаря чему получается большая экономия металла, достигающая 25 % и более.

Диаметр  $d_{\text{заг}}$  заготовки под накатывание стандартной метрической резьбы может быть определен по формуле

$$d_{\text{заг}} = \sqrt{(d^2 + d_1^2)/2},$$

где  $d$  — наружный диаметр резьбы, мм;  $d_1$  — внутренний диаметр резьбы, мм.

При применении цилиндрических вращающихся роликов резьбу можно накатывать тремя видами подачи: тангенциальной, радиальной, осевой.

На рис. 1.52, б показано накатывание резьбы двумя накатными цилиндрическими роликами с радиальной подачей. Накатывание можно выполнять одним или двумя роликами. Этот способ накатывания получил наибольшее распространение. Оба ролика 1 и 3 вращаются непрерывно; при вращении один из них (на рис. 1.52, б, ролик 1) получает радиальную подачу (от механического или гидравлического привода). При достижении требуемой глубины резьбы наступает выдержка с неизменным межцентровым расстоянием, затем ролики отходят друг от друга. В процессе накатывания цилиндрическую заготовку 2 поддерживает нож 4, установленный между роликами. Профиль нарезки на периферии роликов является зеркальным отображением резьбы изделия.

Непрерывное накатывание резьбы роликами может производиться с тангенциальной подачей (рис. 1.52, в) двумя роликами 1 и 3 разных диаметров ( $D_1 > D_2$ ) с равной частотой вращения ( $n_1 = n_2$ ), причем расстояние между центрами роликов остается постоян-

ным. При этом способе нет надобности в ноже, поддерживающем заготовку 2.

На рис. 1.52, г показана схема накатывания резьбы тангенциальной подачей двумя затылованными роликами 1 и 3. У каждого такого ролика имеется загрузочно-разгрузочная часть 4 (срез), образованная путем срезания резьбы по радиусу ниже внутреннего диаметра резьбы, затылованная заборная часть, калибрующая часть, затылованная освобождающая часть. Ролики 1 и 3 устанавливают на станке с постоянным расстоянием между их центрами, рассчитанным на получение резьбы заданного диаметра. Вращение роликов синхронно. Заготовка 2 подается автоматически в момент, когда срезы 4 роликов будут находиться друг против друга. Накатывание резьбы происходит за один оборот роликов.

Такие ролики иногда бывают многоциклическими: на одном ролике делают несколько загрузочно-разгрузочных участков (срезов) 4 и соответствующее число остальных указанных участков (второй ролик в этом случае берет цилиндрический, обычного профиля). В рабочее положение заготовку устанавливают специальным сепаратором последовательно, по мере подхода срезов 4 ко второму (обычному) ролику. За один оборот ролика может быть накатано в среднем 1—7 заготовок. Шероховатость поверхности резьбы при накатывании затылованными роликами несколько повышается.

Основные размеры обычных резьбонакатных роликов для накатывания метрических резьб диаметром 3...4,5 мм стандартизованы. Шероховатость профиля резьбы роликов повышенной точности должна быть не ниже  $Ra\ 0,16$  мкм, роликов обычной точности — не ниже  $Ra\ 0,32$  мкм.

Накатыванием можно получить резьбу диаметром от 0,3 до 150 мм на деталях из сталей твердостью 120...340 НВ, а также из цветных металлов и сплавов с точностью до 6-го, 7-го качества и с шероховатостью поверхности  $Ra\ 0,32...0,16$  мкм. Скорость накатывания резьбы на деталях из сталей с пределом прочности при растяжении  $\sigma_b = 400...800$  МПа находится в пределах 40...80 м/мин.

## 1.4. ОБРАБОТКА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Технологические предпосылки для выбора метода обработки плоских поверхностей.** Плоские поверхности обрабатывают точением, строганием, долблением, фрезерованием, шлифованием и протягиванием и др.

**Обтачивание** плоских поверхностей в чистом виде встречается редко, например, подрезка торца А (рис. 1.53, а) с поперечной подачей  $S_{\text{поп}}$  резца 3, закрепленного в резцедержателе 4. Заготовка 2 при этом закреплена в приспособлении 1 и вращается с угловой скоростью  $\omega$ . Возможно совмещение обтачивания плоскости А с обработкой примыкающей к ней короткой цилиндрической поверхности В (рис. 1.53, б), что обеспечивает перпендикулярность плоскости оси данной поверхности. Обработка в данном случае плоскости А и цилиндрической поверхности В ведется одним резцом 3 с поперечной подачей  $S_{\text{поп}}$ , а переход по обтачиванию плоскости может быть в операции главным или второстепенным в зависимости от геометрии детали. Обтачивание плоскости может происходить в том же переходе, что и обтачивание цилиндрической поверхности, например, при протачивании канавки узким резцом.

К плоской поверхности предъявляются требования по точности формы (выпуклость или вогнутость) в пределах допускаемой неплоскостности, что может быть обнаружено с помощью лекальной линейки или по краске. Шероховатость плоской поверхности зависит от тех же режимов обработки, что и шероховатость цилиндрической поверхности. Точность по положению плоской поверхности во многом определяется положением заготовки в рабочей зоне станка, т. е. точностью базирования заготовки.

**Фрезерование** в массовом производстве совершенно вытеснило применявшееся ранее строгание и частично долбление. При обработке фрезерованием можно обеспечить значительно боль-

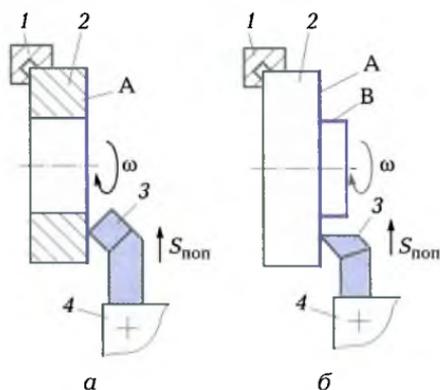


Рис. 1.53. Схемы обтачивания плоских поверхностей:

а — открытой плоскости (торца); б — плоскости, прилегающей к цилиндрической поверхности

шую производительность, чем при строгании, так как посредством многолезвийного инструмента можно обрабатывать в единицу времени значительно бóльшую поверхность, чем при обработке однолезвийным инструментом — резцом.

Повышение производительности при фрезеровании достигается также увеличением числа одновременно обрабатываемых заготовок и одновременно работающих режущих инструментов, сокращением продолжительности рабочих и холостых ходов обрабатываемой заготовки и инструмента.

Основными способами фрезерования, обеспечивающими повышение производительности обработки, являются:

- **параллельное**, т.е. одновременное, фрезерование нескольких заготовок или нескольких поверхностей одной заготовки. Это может быть осуществлено установкой на одной оправке соответствующего числа цилиндрических, дисковых и фасонных фрез или торцовых фрез на различных шпинделях, а также с помощью одной торцовой фрезы большого диаметра или одной цилиндрической фрезы достаточной длины. При таком фрезеровании резко сокращается трудоемкость обработки вследствие совмещения машинного времени отдельных переходов и уменьшения вспомогательного времени;
- **последовательное** фрезерование нескольких заготовок, установленных в ряд на столе станка (или нескольких поверхностей одной заготовки), по мере их подвода к фрезе в процессе рабочего движения стола станка. В этом случае резко сокращается вспомогательное время, так как оно перекрывается машинным временем;
- **параллельно-последовательное** фрезерование, при котором одновременную обработку нескольких заготовок (или нескольких поверхностей одной заготовки), установленных в один или несколько рядов на столе станка, комбинируют с последовательной обработкой. Применение этого способа наряду со снижением трудоемкости благодаря сокращению вспомогательного времени позволяет резко снизить машинное время;
- фрезерование **на поворотных столах и приспособлениях**. В этом случае трудоемкость обработки уменьшается вследствие совмещения большей части вспомогательного времени с машинным, так как снимают обработанную заготовку и устанавливают новую во время

фрезерования детали на другой позиции стола или в приспособлении;

- фрезерование с **подачей в обе стороны** (маятниковая подача). Этот способ обработки является разновидностью предыдущего, его применяют для небольших поверхностей длинных заготовок, для которых использование поворотных устройств затруднено;
- **непрерывное** фрезерование заключается в том, что обрабатываемые заготовки устанавливают на круглом непрерывно вращающемся столе или в барабанном устройстве и фрезеруют торцовыми фрезами, установленными на шпинделях станка. При таком фрезеровании штучное время может быть очень близким или равным машинному времени.

Обработку плоских поверхностей **фрезерованием** производят цилиндрическими или торцовыми фрезами. При обработке плоской поверхности  $A$  заготовки  $1$  цилиндрической фрезой  $2$  (рис. 1.54,  $a$ ) используют горизонтально-фрезерные станки, на которых заготовку располагают горизонтально. Длина  $L$  фрезы при этом должна быть несколько больше ширины  $B$  обрабатываемой плоскости. Фреза  $2$  вращается с угловой скоростью  $\omega$ , а заготовка  $2$  вместе со столом  $3$  станка перемещается с продольной подачей  $S_{\text{прод}}$ . При этом снимается припуск  $h$ .

Обработка плоских поверхностей торцевой фрезой  $4$  (рис. 1.54,  $b$ ) точнее и производительнее по сравнению с фрезерованием цилиндрической фрезой. Для фрезерования широких плоскостей применяют крупные торцевые фрезы со вставными резцами. При обработке заготовок из цветных материалов (алюминий и его сплавы) применяют однозубые торцевые фрезы. Такие фрезерные операции рассчитывают на выполнение за один проход. Движение подачи заготовки  $1$ , жестко связанной со столом  $3$ , может быть прямолинейным или круговым в зависимости от типа станка и стола.

При большом выпуске деталей применяют одновременную обработку нескольких деталей, используя всю площадь стола станка и его большой ход. В Приложении 8 приведены рекомендуемые величины допустимых припусков на обработку, которые ограничиваются надежностью закрепления заготовки, прочностью заготовки и мощностью фрезерного станка.

На фрезерных станках плоские поверхности можно обрабатывать цилиндрическими фрезами при движении стола станка с за-

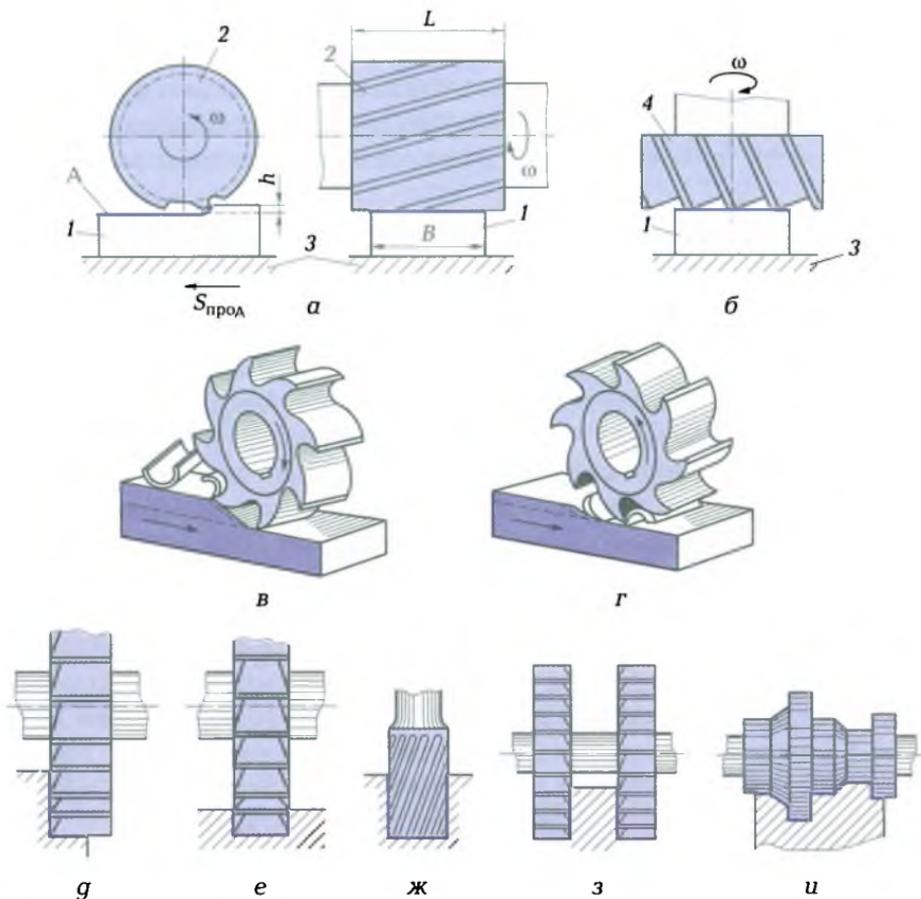


Рис. 1.54. Схема фрезерования плоских поверхностей:

а — цилиндрической фрезой; б — торцевой фрезой; в — встречное; г — попутное; д, е — вертикальной плоскости и паза дисковой трехсторонней фрезой; ж — паза концевой фрезой; з — боковых плоскостей двумя торцевыми фрезами; и — сложного профиля набором фрез

крепленной заготовкой навстречу направлению вращения фрезы, т. е. методом **встречного фрезерования** (рис. 1.54, в) или в том же направлении методом **попутного фрезерования** (рис. 1.54, г). В обоих случаях стружка, снимаемая каждым зубом фрезы, имеет форму запятой, но в первом случае толщина стружки постепенно увеличивается в процессе резания, а во втором уменьшается.

Достоинство встречного фрезерования заключается в плавном увеличении нагрузки на зуб и во врезании зубьев в металл под коркой. Недостатком этого метода является стремление фрезы оторвать заготовку от поверхности стола.

Точность фрезерования зависит от типа станка, инструмента, режимов резания и других факторов. При фрезеровании может быть достигнута точность 8-го, 11-го квалитетов, а при скоростном и тонком фрезеровании — 6-го, 7-го квалитетов. Шероховатость поверхности при чистовом фрезеровании может быть 4—6-го классов.

На рис. 1.54, *g—u* приведены различные виды обработки на фрезерных станках.

Точность фрезерования зависит от типа станка, режущего инструмента, режима резания и других факторов. В обычных условиях точность обработки при фрезеровании достигает 7-го, 8-го квалитетов при скоростном фрезеровании и 6-го квалитета при тонком фрезеровании.

**Шлифование плоскостей** производят после чистового обтачивания или чистового фрезерования. Плоскость А и прилегающую к ней наружную цилиндрическую поверхность В заготовки 2 (рис. 1.55, а) шлифуют абразивным кругом 3 с поднутрением в одной операции на круглошлифовальном станке, так как эти поверхности предварительно обтачивались также в одной операции. Плоскость С и прилегающую к ней внутреннюю цилиндрическую поверхность D заготовки 2 (рис. 1.55, б) шлифуют абразивным кругом 4 в одной операции на внутришлифовальном станке. Торцевую поверхность М (рис. 1.55, в) заготовки 2 в ряде случаев можно шлифовать также на внутришлифовальном станке.

Во всех рассмотренных примерах заготовка точно установлена или в центрах 1, или в приспособлении 5 и вращается с окружной скоростью  $v_{заг}$ , а абразивный круг вращается со скоростью  $v_{кр}$  резания.

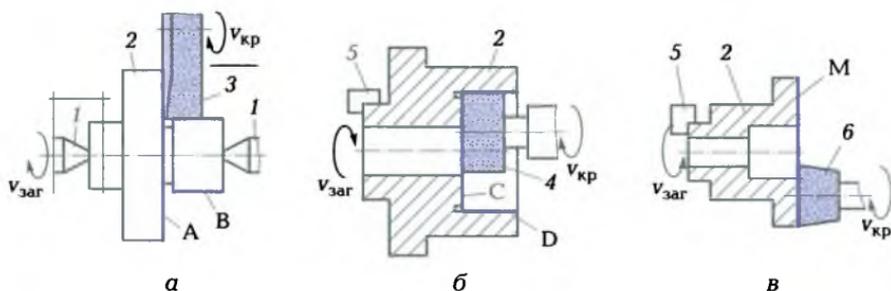


Рис. 1.55. Шлифование плоских поверхностей:

а — плоской поверхности и прилегающей к ней наружной цилиндрической поверхности; б — плоской поверхности и прилегающей к ней внутренней цилиндрической поверхности; в — открытой плоской поверхности (торца)

Для шлифования **открытых плоскостей** применяют плоскошлифовальные станки. На одних плоскошлифовальных станках шлифование заготовок 2, установленных, например, на магнитном столе 1 производят торцом абразивного круга 3 (рис. 1.56, а), а на других — периферией круга 3 (рис. 1.56, б). Столы 1 у некоторых станков — круглые, вращающиеся с угловой скоростью  $\omega$  (рис. 1.56, в), на которых устанавливают одновременно несколько заготовок 2, которые обрабатывают периферией абразивного круга 3, совершающего возвратно-поступательное движение  $S_{\text{прод}}$ . У других станков (рис. 1.56, г) столы 1 — прямоугольные, с прямолинейным возвратно-поступательным движением  $S_{\text{прод}}$ . Заготовки 2 крепятся или в специальном приспособлении, или непосредственно на магнитном столе 1 шлифовального станка. Магнитный стол особенно удобен для двустороннего шлифования плоскостей тонких деталей.

Шлифование плоскостей торцом круга производительнее, но дает меньшую точность по сравнению со шлифованием периферией круга. Точность чернового шлифования соответствует 10—

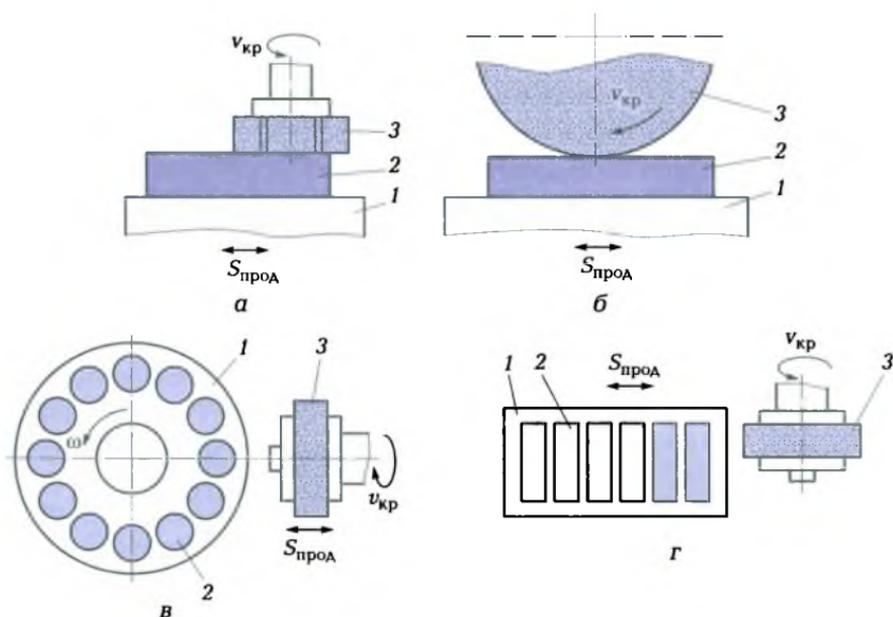


Рис. 1.56. Шлифование открытых плоскостей:

а — торцом круга; б — периферией круга, в — несколько заготовок периферией круга на круглом столе; г — несколько заготовок периферией круга на прямоугольном столе.

11-му качеству, а чистового шлифования — 8—9-му качеству. Значения рекомендуемых припусков на шлифование плоскостей приведены в Приложении 9.

**Шлифование плоскостей** применяют в качестве чистовой операции после строгания или фрезерования плоскостей для достижения высоких точности и класса шероховатости обрабатываемой поверхности, а также для окончательной обработки плоскостей заготовок из закаленной стали. В ряде случаев плоское шлифование может быть более рациональным, чем фрезерование, особенно при обработке твердых материалов, наличии твердой корки или небольших припусков на обработку.

**Протягивание плоскостей** является более производительным и более точным методом обработки, чем строгание или фрезерование. При значительном припуске (2...6 мм) на обработку протягивание может заменить черновое и чистовое фрезерование, а также шлифование, что обеспечивает высокий класс шероховатости плоской поверхности ( $Ra$  1,25...2,5 мкм).

**Протягивание** нарезных контуров является более производительным методом, чем строгание и фрезерование, при одновременном обеспечении высоких точности и класса шероховатости обрабатываемой поверхности.

Плоские поверхности протягивают сразу по всей ширине, поэтому зуб протяжки делают несколько шире, чем протягиваемую поверхность. Схемы протягивания плоскостей аналогичны схемам протягивания отверстий. Протягивание выполняют одновременно многими зубьями протяжки с таким расчетом, чтобы весь припуск металла был снят за один рабочий ход протяжки, причем припуск должен быть распределен равномерно между зубьями протяжки. Это обеспечивает большую производительность при минимальном машинном времени.

При протягивании необработанных поверхностей и поковок обычными плоскими протяжками их режущие кромки быстро затупляются и даже выкрашиваются. В этих случаях применяют протягивание, при котором режущие кромки протяжки, расположенные наклонно по отношению к направлению ее движения, срезают металл не по всей ширине обрабатываемой поверхности, а узкими полосами, снимая стружки толщиной 0,4...0,8 мм на один зуб, а калибрующие зубья зачищают обрабатываемую поверхность по всей ширине, т. е. протяжками прогрессивного резания.

Величина припусков при наружном протягивании зависит от того, ведется ли обработка протягиванием по необработанным поверхностям (литье, ковка) или по предварительно обработан-

ным поверхностям (фрезерование, строгание). В первом случае припуск на сторону принимается от 2 до 6 мм, во втором — от 0,25 до 1 мм. Шероховатость поверхности при наружном протягивании соответствует  $Ra$  2,5...0,63 мкм. В отдельных случаях может быть достигнута шероховатость, соответствующая  $Ra$  0,63 мкм и даже  $Ra$  0,32 мкм.

Точность и шероховатость обрабатываемой поверхности при протягивании обуславливаются в основном весьма малым влиянием упругих деформаций на процесс резания, малой толщиной стружки и низкими скоростями резания. При выборе этого вида обработки необходимо учитывать, что себестоимость протяжных работ в значительной степени зависит от величины затрат на изготовление и заточку протяжек, а также на приобретение протяжного оборудования.

Протягивание широко используют для получения сочетания нескольких плоских поверхностей, примыкающих друг к другу. Характерным примером такого протягивания является получение шпоночного паза  $M$  в заготовке  $1$  (рис. 1.57). Заготовка  $1$  своим отверстием надевается на адаптер  $2$ . Протяжка  $3$  перемещается по пазу адаптера со скоростью резания  $v_{рез}$ . Каждый зуб  $K$  протяжки снимает тонкий слой металла. Адаптер препятствует отжиму режущей протяжки  $3$  от заготовки.

Протяжки для обработки плоских поверхностей изготавливают цельными длиной до 500 мм, а при большой длине (до 2 000 мм) их выполняют составными. В этих случаях составные части протяж-

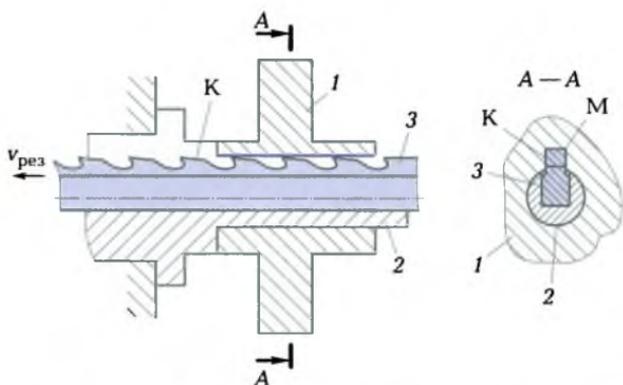


Рис. 1.57. Протягивание для получения сочетания трех плоскостей (шпоночный паз)

ки точно соединяют между собой и прикрепляют на длинном жестком столе протяжного станка.

Для отделочных операций применяют обработку с использованием абразивов — **говодку, притирку и полирование**. Кроме того, для окончательной отделки поверхностей применяют **шабрение**. Обработка плоских поверхностей с использованием абразивов производится аналогично отделке наружных поверхностей вращения.

Притирка требует очень точной предварительной обработки поверхности, так как большой припуск на притирку приводит к увеличению времени обработки и быстрому изнашиванию притира. Припуск для притирки плоских поверхностей назначают в пределах 8... 18 мкм.

Шабрение можно выполнять с помощью шабера вручную или механическим способом. Первый способ требует большой затраты времени при высокой квалификации исполнителя, но обеспечивает высокую точность. Второй способ осуществляется с помощью специальных станков, на которых шабер получает возвратно-поступательное движение. При этом способе требуется меньше времени, однако его нельзя применять для отделки сложных поверхностей.

**Строгание и долбление** наиболее применимы в серийном, мелкосерийном и единичном производстве, так как для работы на строгальных и долбежных станках не требуется сложных приспособлений и инструментов. Однако эти виды обработки малопродуктивны. Низкая производительность объясняется тем, что обработку ведут одним или небольшим числом резцов с потерями времени на обратные холостые ходы.

**Обработку на строгальных и долбежных станках** производят резцами, сходными по форме с токарными, на строгальном станке. Однако в отличие от токарной обработки строгание выполняют прерывисто со снятием стружки при поступательно-прямолинейном движении заготовки или резца.

Универсальные строгальные станки подразделяют на продольно- и поперечно-строгальные. В продольно-строгальных станках главное рабочее движение сообщается заготовке, в поперечно-строгальных — резцу. Имеются специализированные строгальные станки — кромкострогальные, копировально-строгальные и др. Продольно-строгальные станки подразделяют на одно-, двухстоечные и порталные.

Длина столов продольно-строгальных станков зависит от их назначения и достигает 12... 15 м. Стол может двигаться с помощью

реечных передач или гидравлических устройств. В последнем случае можно достигнуть более высокой скорости хода стола и более плавного реверсирования, чем при механических приводах.

У поперечно- и продольно-строгальных станков резцедержатель вместе с резцом может поворачиваться в вертикальной плоскости при обратном ходе. Для установки резца по высоте суппорта резцедержатель можно перемещать в вертикальном направлении. Для обработки наклонных поверхностей суппорт может быть повернут на требуемый угол.

Движение ползуна осуществляется от гидросистемы или с помощью кулисного механизма. Скорость поступательного движения ползуна является величиной переменной по длине хода, причем скорость обратного хода для повышения производительности в 1,5—2 раза больше скорости рабочего хода.

На долбежных станках резец при долблении совершает только возвратно-поступательное движение в вертикальном направлении, а движение подачи осуществляется заготовкой, которая может перемещаться как в продольном, так и в поперечном направлении, а также совершать вращательные движения вокруг вертикальной оси. Долбежные станки чаще всего применяют для долбления шпоночных пазов, канавок, профильных отверстий, представляющих собой сочетание нескольких плоскостей.

Наиболее характерные виды работ, выполняемых на строгальных и долбежных станках, показаны на рис. 1.58.

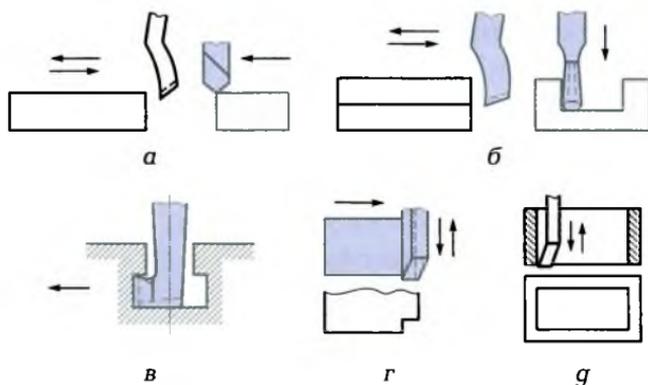


Рис. 1.58. Виды работ, выполняемых на строгальных и долбежных станках:

а — строгание плоскости; б — строгание паза; в — строгание Т-образного паза; г — долбление углового профиля; д — долбление прямоугольного отверстия

Скорости резания при этих видах обработки небольшие. Так, например, при строгании заготовок из чугуна для чернового прохода рекомендуется скорость резания 15... 20 м/мин, для чистового — 4... 12 м/мин с глубиной резания соответственно 0,5... 0,8 и 0,08 мм. Шероховатость поверхности при таком строгании достигается  $Ra$  1,25 мкм.

При строгании и долблении резцы устанавливают «на размер» обычно по разметке или по шаблонам и режут с помощью «пробных стружек».

Обрабатываемые заготовки устанавливают непосредственно на столе станка, выверяют и закрепляют прихватами или другими нормализованными зажимами.

Вспогательное время при работе на строгальных и долбежных станках относительно велико, что еще больше снижает производительность этих станков. Наиболее выгодно на продольно-строгальных станках обрабатывать длинные и узкие плоскости, например кромки стальных листов и плит, направляющие станин металлорежущих станков и т. п.

Повысить производительность на строгальных станках можно при применении:

- одновременно нескольких резцов на одной державке, что сократит число рабочих ходов и позволит снять значительно больший припуск за один рабочий ход при одновременной работе нескольких суппортов, следовательно, совмещении во времени обработки нескольких поверхностей;
- широких резцов и больших подач при чистовом строгании;
- специальных установочно-зажимных приспособлений и шаблонов для установки резцов при профильном строгании, например при строгании V-образных направляющих станин станков и т. п.

При установке и зажатии обрабатываемой заготовки на строгальном станке необходимо следить за тем, чтобы заготовка не была деформирована силами, развиваемыми зажимами, что особенно важно при чистовом строгании заготовок больших габаритных размеров. Поэтому после чернового строгания таких заготовок рекомендуется отпустить все зажимы и вновь зажать заготовку так, чтобы она не имела деформаций.

При чистовой обработке вследствие тихоходности строгальных станков следует применять широкие резцы с шириной режущей

кромки от 15 до 40 мм и большие подачи (от 10 до 25 мм/дв. ход) в зависимости от требуемых точности и шероховатости обрабатываемой поверхности.

**Долблением** обрабатывают поверхности внутренних контуров, когда невозможно или затруднительно выполнять эту операцию на другом станке.

## 1.5. ОБРАБОТКА СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

---

**Виды сложных поверхностей и их классификация.** В конструкциях современных турбин, автомобилей, металлорежущих станков, самолетов, механизмов применяют детали сложной формы. Использование поверхностей сложной формы обусловлено назначением и требованиями рабочего процесса, выполняемого деталью, сборочной единицей или машиной (например, придание рабочему колесу турбины в сечении формы равного сопротивления), необходимостью повышения коэффициента полезного действия (КПД) энергетических и силовых установок (например, формы лопастей водяных и паровых турбин, гребных винтов и т. п.) и необходимостью осуществления заданного движения в машине или механизме (применение кулачков в распределительных валах двигателей, кинематических цепях станков и т. п.).

На рис. 1.59 показаны характерные виды деталей со сложными поверхностями.

В технике деталям придают разнообразные поверхности, однако наиболее распространенными являются три вида:

- поверхности, подчиненные математическим уравнениям, определенной формы и с определенным расположением в пространстве, называемые алгебраическими;
- поверхности, форма которых определена отдельными точками, а координаты этих точек заданы в виде числовых отметок, обычно сведенных в таблицу, называемые поверхностями с числовыми отметками;
- поверхности, форма которых определяется конструктивной необходимостью, называемые конструктивными.

**Методы обработки сложных поверхностей.** Сложные поверхности можно обрабатывать различными методами: с помощью копиров, с использованием настроенных кинематических цепей, с

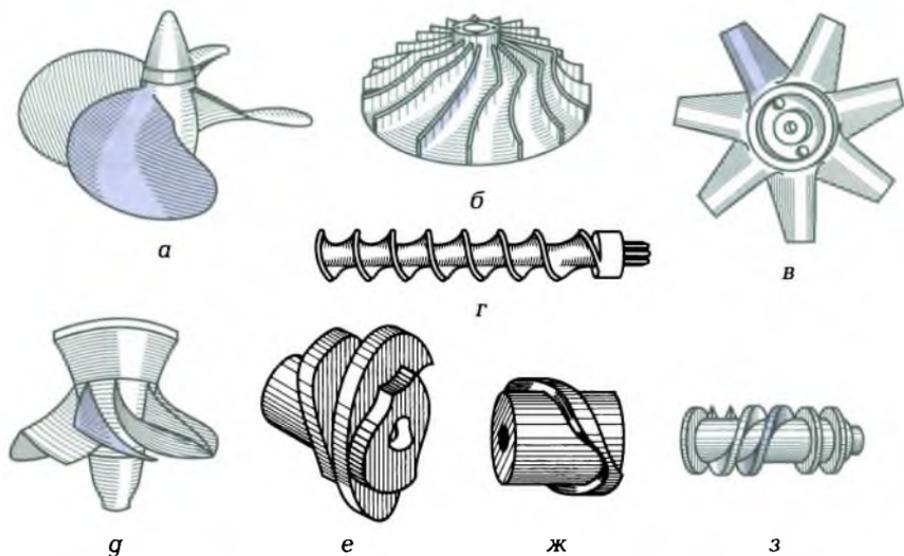


Рис. 1.59. Характерные виды деталей со сложными поверхностями:  
 а — гребной винт; б — крыльчатка; в — колесо насоса; г — винт с переменным шагом;  
 д — колесо водяной турбины; е — дисковый кулачок; ж — цилиндрический кулачок;  
 з — блок из кулачков

применением так называемых построителей, а также при сочетании различных методов обработки.

**Копиры** представляют собой ведущую деталь копирующего устройства, очертания которой определяют траекторию движения режущего инструмента, соответствующую профилю обрабатываемой поверхности.

Системы управления процессом копирования подразделяют на системы прямого и непрямого действия. При **прямом действии** контакт копирующего ролика (пальца) и копира обеспечивается массой груза, силой гидравлического давления или силой сжатия пружины. При системе **непрямого действия** копирующий ролик находится в соприкосновении с копиром под действием незначительной силы, измеряемой сотнями или даже десятками граммов. В этой системе копирующий ролик является промежуточным подвижным элементом, незначительные перемещения которого, измеряемые сотыми или десятими долями миллиметра, в виде команд передаются в специальные усилительные устройства, которые воздействуют на исполнительные механизмы и перемещают режущий инструмент и обрабатывают заготовку.

На рис. 1.60, а приведена схема копировальной обработки с системой управления прямого действия с механическим управлением. Стол 9 перемещается ходовым винтом 8 от редуктора 7. На столе 9 установлены копир 1 и заготовка 10. При движении стола палец 2 с бабкой 3 под действием копира 1 сжимает пружину 4 и перемещается в вертикальном направлении по стойке 5. Фреза 6, имеющая форму и размеры пальца 2, при перемещении совместно с бабкой обрабатывает заготовку, придавая ей форму копира. Работа пружины 4, сила которой больше, чем вертикальное слагаемое от силы резания на фрезе, обеспечивает постоянный контакт между пальцем и копиром.

На рис. 1.60, б показана схема копирования с системой управления непрямого действия с гидравлическим, пневматическим или электронным управлением. Стол 12 с копиром 14 и заготовкой 13 движется от редуктора 10 через ходовой винт 11. При этом палец 1 под действием копира 14 перемещается в корпусе 2, соединенном с бабкой 5. Пружина 3 обеспечивает постоянный контакт между пальцем и копиром. Незначительное перемещение пальца как элементарную команду управления можно увеличить, используя электронные, гидравлические, пневматические или другие устройства. Это усиление происходит в аппарате 4, который затем сообщает команду двигателю 6, последний через редуктор и ходовой винт 7 перемещает по стойке 8 бабку 5. Соответственно фреза 9 обрабатывает заготовку по профилю копира.

Системы прямого действия обычно применяют на копировальных станках с механическим или ручным управлением, а системы

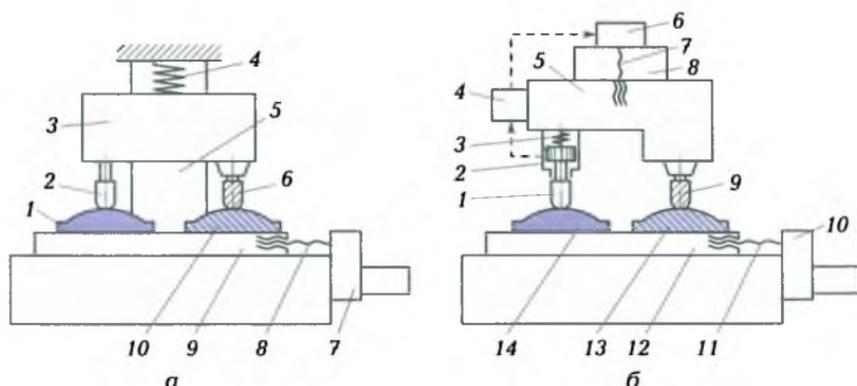


Рис. 1.60. Схемы копировальной обработки с системой управления прямого (а) и непрямого (б) действия

непрямого действия — на копируемых станках с электронным, гидравлическим или пневматическим управлением.

**Применение настроенных кинематических цепей** основано на том положении, что кинематическая цепь, связывающая вращение режущего инструмента или обрабатываемой заготовки с другим перемещением инструмента или заготовки, обеспечивает получение заготовки определенной формы.

Примерами обработки с помощью настроенных кинематических цепей являются нарезание резьбы, обработка червяков, спиралей и зубонарезание.

Сложные поверхности обрабатывают **методом настройки и методом обкатки** с использованием настроенных кинематических цепей.

Использование настроенных кинематических цепей позволяет посредством несложного приспособления обрабатывать конусы, особенно с малыми углами при вершине (рис. 1.61). Для этого достаточно установить на винт суппорта 7 поперечной подачи вместо маховика барабан 5 и, прикрепив к его поверхности гибкий металлический трос 2, навить один конец троса на поверхность барабана, другой конец троса нужно закрепить в неподвижном упоре 1, прикрепленном к станине станка.

При продольном перемещении суппорта 4 слева направо под действием продольной подачи (от ходового винта) барабан благодаря натяжению троса начнет поворачиваться и вращать ходовой винт поперечной подачи. Резец 6 будет обрабатывать на заготовке 3 конус с углом  $\alpha$ .

При обработке по методу обкатки осуществляется сочетание движения режущего инструмента и обрабатываемой заготовки. В этом случае необходимо обеспечить определенную скорость вращения фасонного режущего инструмента, длина средней

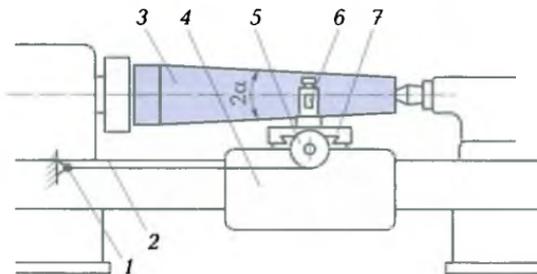


Рис. 1.61. Обработка конуса методом настроенных кинематических цепей

окружности которого представляет собой длину обкатываемого участка, например, при точении.

Наиболее широкое применение методы обкатки получили при обработке заготовок на токарных, фрезерных и долбежных станках.

При работе по методу обкатки по начальной прямой профиля тела вращения без скольжения катится начальная окружность профиля инструмента. Заготовка, подлежащая обработке, вращается, а ось режущего инструмента движется равномерно вдоль оси заготовки. При такой схеме работы профиль режущего инструмента представляет собой огибающую последовательных положений профиля обрабатываемой заготовки при качении ее по начальной окружности инструмента.

Этот метод обработки имеет следующие достоинства:

- его применение не ограничивается формой образующей обрабатываемой заготовки;
- улучшаются условия врезания инструмента (режущая кромка инструмента находится в зацеплении незначительное время);
- профиль заготовки формируется не путем усложнения станка, а за счет формы режущего инструмента;
- упрощаются обслуживание и настройка станка.

Недостатками этого метода являются сложность проектирования и изготовления инструмента и в ряде случаев трудность обработки переходных кривых в местах соприкосновения профилей между собой.

Применяемые при обработке по методу обкатки фасонные резцы обеспечивают постоянство формы профиля, а также точность размеров обрабатываемых заготовок и допускают большее число переточек.

Режущая кромка фасонного резца имеет форму профиля обрабатываемой заготовки, что позволяет обрабатывать как прямолинейные, так и криволинейные участки поверхности, объединяя в одном переходе несколько переходов и операций.

Фасонные резцы подразделяют по конструкции, расположению оси, форме образующей поверхности и установке. По конструкции фасонные резцы бывают дисковыми (рис. 1.62, а), призматическими (рис. 1.62, б) и стержневыми (рис. 1.62, в). Резцы устанавливают относительно заготовки в радиальном и тангенциальном направлениях с параллельным и наклонным расположением оси резца относительно оси заготовки.

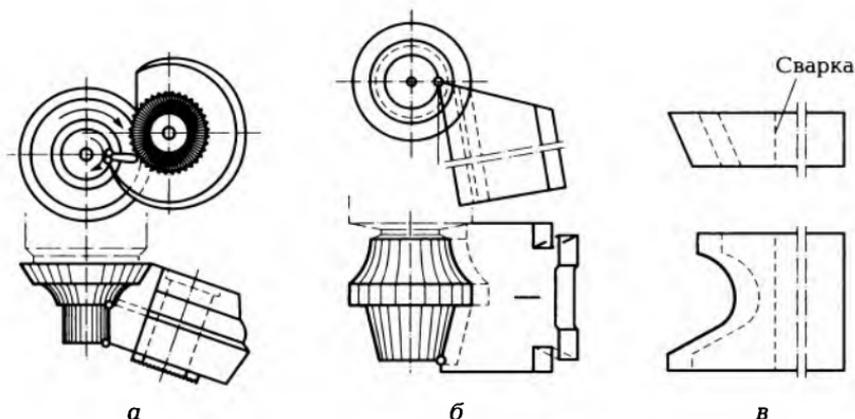


Рис. 1.62. Обработка дисковыми [а), призматическими [б) и стержневыми [в) фасонными резцами

По форме образующей поверхности различают следующие фасонные резцы: круглые с кольцевыми или винтовыми образующими и призматические с плоскими образующими.

Профиль фасонного резца рассчитывают графическим или аналитическим методом. Графический метод применяют при расчете фасонных резцов, предназначенных для обработки заготовок криволинейной формы невысокой точности, аналитический — при расчете резцов, предназначенных для обработки точных заготовок.

**Построителями** называют копиры, выполненные в виде отдельных механизмов, они помогают получать отрезки или замкнутые точные кривые, воспроизведение которых по обычным копирам менее точно или значительно дороже. По видам построители подразделяют на три группы: построители в виде механизмов, воздействующих на копировальное устройство; построители в виде механизмов, воздействующих непосредственно на исполнительное устройство; электрические построители.

На рис. 1.63 приведена схема обработки отверстия большого диаметра на копировально-фрезерном станке с помощью несложного построителя. На столе 1 станка устанавливают заготовку 2. На оси 4, закрепленной в корпусе 3 приспособления, вращается подвижная линейка 5, в которой имеется продольная прорезь с делениями. На одном конце линейки расположено отверстие, в которое вводят копировальный палец 6, а на другом — противовес, обеспечивающий переход через «мертвые» положения (на рисунке не показан). Под действием противовеса линейка, стремясь повернуться вокруг центра вращения, воздействует на палец, ве-

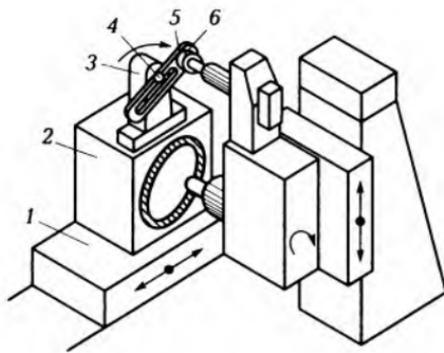


Рис. 1.63. Схема обработки отверстия большого диаметра на копировально-фрезерном станке

денный в отверстие линейки. Отклонения пальца под действием противовеса передаются в виде сигналов механизмам следящего управления станка, вызывая повторение фрезой движений пальца. Вращаясь, фреза вырезает криволинейный паз радиусом, равным выдвинутой части линейки.

Для обработки части окружности с использованием указанного построителя на поверхности обрабатываемой заготовки делают разметку. Фрезу подводят к начальной точке, а копировальный палец вводят в отверстие в линейке, которая выдвигается на расстояние требуемого радиуса. Обработка паза заканчивается после перемещения фрезы из начальной в конечную точку. Перестановка линейки по корпусу 3 изменяет радиус обработки, и таким образом вращающаяся линейка способствует обработке замкнутого паза определенной глубины.

## 1.6. ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Виды зубчатых колес, их назначение и характеристика.** В передачах современных машин широко применяют зубчатые колеса, разнообразные по форме, размерам и профилям — от небольших зубчатых колес для приборостроения до зубчатых колес специального профиля для тяжелого машиностроения. Наиболее распространены цилиндрические зубчатые колеса с прямыми и косыми зубьями.

На рис. 1.64, а изображены **цилиндрические** зубчатые колеса с **прямым зубом**, на рис. 1.64, б — **цилиндрические** зубчатые колеса с **косым зубом**. Соединение двух косых зубьев с противополож-

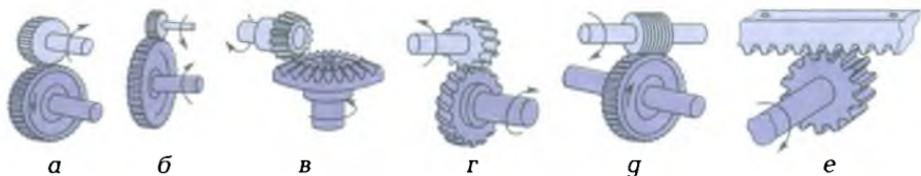


Рис. 1.64. Виды зубчатых зацеплений (а—е)

ными углами наклона на ободе цилиндрического колеса представляет собой зубчатую передачу с **шевронным (елочным) зубом**.

На рис. 1.64, в показана **коническая** передача с **пересекающимися осями**, причем угол встречи осей может иметь любое значение. Конические колеса могут иметь прямые, косые и криволинейные зубья.

На рис. 1.64, г приведена зубчатая передача со **скрещивающимися осями**, состоящая из двух зубчатых колес с **винтовым зубом**. На рис. 1.64, г представлена еще одна схема передачи со скрещивающимися осями — обычная **червячная передача**, которая отличается от перечисленных тем, что один элемент передачи представляет собой винт (червяк), а другой — зубчатое колесо с фасонным зубом, сцепляющимся с витками винта.

На рис. 1.64, е изображена обычная **реечная передача**, одним элементом которой является зубчатое колесо с прямым или косым зубом, а другим — зубчатая рейка, которую можно представить как зубчатое колесо с бесконечно большим числом зубьев. Реечная пара передает движение как от зубчатого колеса к рейке, так и наоборот.

В современном машиностроении применяют главным образом зубчатые колеса с эвольвентным профилем зуба.

По ГОСТ 9178—81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические мелко модульные. Допуски» и ГОСТ 1643—81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски» установлены 12 степеней точности зубчатых колес и передач с обозначением степеней в порядке убывания точности. Для каждой степени точности установлены нормы кинематической точности колеса, плавности работы колеса, контакта зубьев, бокового зазора.

**Нормы кинематической точности** определяют величину наибольшей погрешности угла поворота зубчатых колес за оборот при однопрофильном зацеплении с точным колесом. Эта погрешность возникает при нарезании зубчатых колес вследствие погрешностей взаимного расположения заготовки обрабатываемого

колеса и режущего инструмента, а также вследствие кинематической погрешности зуборезного станка. Показателем кинематической точности является **предельная кинематическая погрешность**  $\Delta F_i$  (рис. 1.65, а).

Кинематическую погрешность можно оценить также **предельной накопленной погрешностью окружного шага**  $F_i$ , являющейся наибольшей погрешностью во взаимном расположении двух любых одноименных профилей зубьев 1—8 по одной окружности колеса (рис. 1.65, б).

Показателем кинематической погрешности, обозначаемым  $v_w$ , служит также **колебание глины общей нормали**, т.е. колебание расстояния между наибольшей  $L_{нб}$  и наименьшей  $L_{нм}$  длинами общей нормали в одном и том же колесе (рис. 1.65, в).

**Норма плавности** работы зубчатого колеса определяет величину составляющих полной погрешности углов поворота зубчатого колеса, многократно повторяющихся за оборот колеса.

Показателем плавности работы колес является **циклическая погрешность**, обозначаемая  $f'_i$  и зависящая от высоты микронеровно-

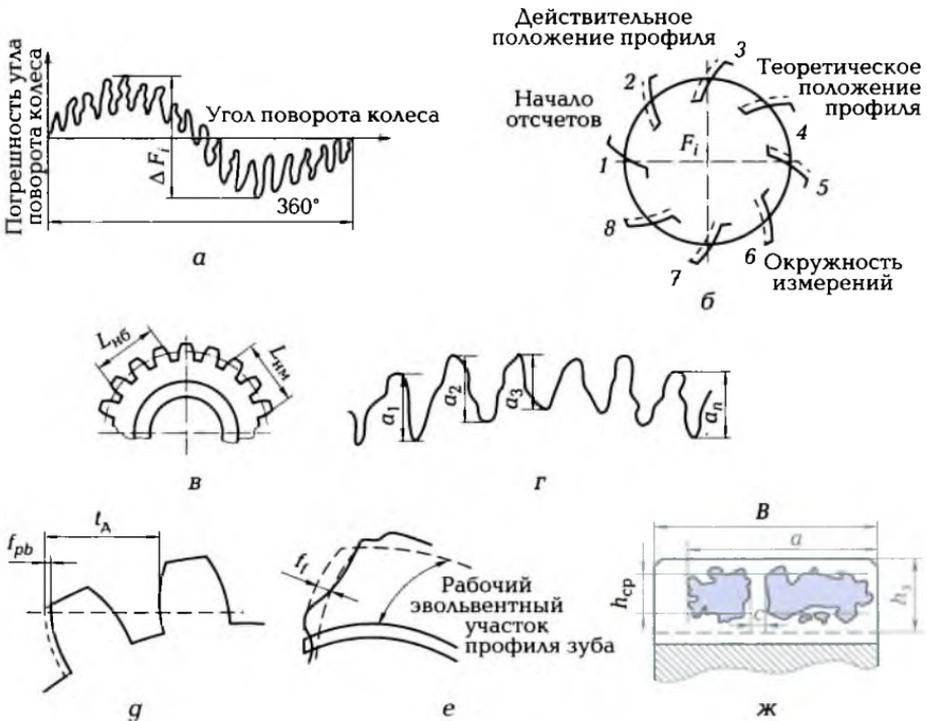


Рис. 1.65. Виды погрешностей при нарезании зубчатых колес (а—ж)

стей  $a_1$  —  $a_n$  (рис. 1.65, *r*), которая представляет собой среднюю величину размаха колебаний кинематической погрешности зубчатого колеса по всем циклам за оборот колеса. Плавность работы зубчатого зацепления влияет на бесшумность и долговечность передачи.

Плавность работы колеса обеспечивается также ограничением **предельного отклонения основного шага**  $f_{pb}$ , которое является разностью действительного  $t_\Delta$  и номинального расстояний между двумя взаимно параллельными касательными к двум соседним одноименным профилям зубьев колеса (рис. 1.65, *g*).

**Погрешность профиля**  $f_f$  характеризует расстояние по нормали между двумя теоретическими профилями зуба колеса, ограничивающими действительный профиль в пределах его рабочего участка (рис. 1.65, *e*).

**Нормы контакта зубьев** определяют точность выполнения сопряженных зубьев в передаче.

**Пятном контакта** называется часть боковой поверхности зуба колеса, на которой располагаются следы прилегания его к зубьям парного колеса после вращения передачи при легком торможении (рис. 1.65, *ж*).

Норма точности определяется относительными размерами пятна контакта (в процентах):

- по длине зуба — отношением расстояния  $a$  между крайними точками следов прилегания за вычетом разрывов  $c$ , превосходящих величину модуля (в миллиметрах), к полной длине  $B$  зуба:

$$n_\Delta = (a - c/B) \cdot 100;$$

- по высоте зуба — отношением средней высоты  $h_{cp}$  пятна прилегания по всей длине зуба к рабочей высоте  $h_3$  зуба:

$$n_b = (h_{cp}/h_3) \cdot 100.$$

В табл. 1.2 приведены нормы точности по величине пятна контакта в зависимости от степени точности.

**Боковым зазором** называется зазор между зубьями сопряженных колес в передаче, обеспечивающий свободный поворот одного из колес при неподвижном втором колесе. Боковой зазор определяется в сечении, перпендикулярном направлению зубьев, в плоскости, касательной к основным цилиндрам.

Гарантированный боковой зазор обозначают  $c_n$ . В ГОСТ 1643—81 предусмотрены нормы боковых зазоров, которые в соответствии с эксплуатационными требованиями могут быть различными.

Необходимую величину зазора получают в основном в результате смещения исходного контура.

**Таблица 1.2. Нормы точности по величине пятна контакта для цилиндрических колес**

Способ измерения	Степень точности						
	3	4	5	6	7	8	9
	Пятно контакта, %, не менее						
По высоте	65	60	55	50	45	30	20
По длине	95	90	80	70	60	40	25

Для зубчатых колес в передаче установлены шесть видов сопряжений: *A, B, C, D, E* и *H*, и восемь видов допуска на боковой зазор, обозначаемых в порядке его возрастания буквами *h, d, c, b, a, z, y, x*. В табл. 1.3 приведены виды сопряжений в зависимости от диапазонов степеней кинематической точности зубчатых передач. Точность изготовления цилиндрических зубчатых колес и передач задается степенью точности, а требования к боковому зазору — видом сопряжения по нормам бокового зазора.

Элементы, характеризующие точность **конических колес**, в основном те же, что и для цилиндрических, за исключением некоторых особенностей. Так, большинство элементов конического колеса определяется в торцовом сечении делительного конуса, т. е. поверхности, являющейся в процессе нарезания колеса по методу обкатки начальной по отношению к обкатывающему конусу.

Торцовое сечение — сечение колеса сферической поверхностью, центр которой совпадает с вершиной делительного конуса.

Нормы ГОСТ 9368—81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи конические зубчатые мелкомодульные. Допуски» и ГОСТ 1758—81 по величине пятна контакта в зависимости от степени точности приведены табл. 1.4.

Для **червяков и червячных колес** нормы точности и допуски определены ГОСТ 9774—81 «Основные нормы взаимозаменяемо-

**Таблица 1.3. Виды сопряжений, гарантирующих боковые зазоры для различных степеней точности\***

Виды сопряжений	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>H</i>
Степени кинематической точности	3—12	3—10	3—9	3—8	3—7	3—7

\* Для первой и второй степеней кинематической точности допуски и предельные отклонения не регламентируются.

**Таблица 1.4. Нормы точности по величине пятна контакта для конических колес**

Способ измерения	Степень точности						
	5	6	7	8	9	10	11
	Пятно контакта, %, не менее						
По высоте	75	70	60	50	40	30	30
По длине	75	70	60	50	40	30	30

сти. Передачи червячные цилиндрические мелко модульные. Допуски» и ГОСТ 3675—81. Так же, как и для цилиндрических колес, предусмотрено 12 степеней точности. Степени 3, 4, 5 и 6 установлены для кинематических червячных передач с регулируемым взаимным расположением червяка и колеса, степени 5, 6, 7, 8 и 9 — для силовых червячных передач с нерегулируемым взаимным расположением червяка и колеса. Для степеней 1, 2, 10, 11 и 12 допуски и отклонения не предусмотрены.

В зависимости от степени точности установлены нормы:

- отклонений элементов червяка;
- отклонений элементов червячного колеса;
- кинематической точности передачи;
- циклической точности передачи;
- полноты контакта боковых поверхностей зубьев колеса и витков червяка.

Нормы кинематической точности, циклической точности и полноты контакта определяют по червячному колесу.

**Основные методы обработки зубьев цилиндрических и конических колес.** Выбор метода обработки зубчатых колес находится в прямой зависимости от установленной нормы точности их элементов, а также от основных требований передач в эксплуатации в соответствии с их назначением.

С этой точки зрения зубчатые передачи можно разбить на следующие группы:

- силовые передачи больших мощностей и высоких скоростей; требования — обеспечение высоких значений КПД;
- силовые промышленные и транспортные передачи при средних скоростях; требования — надежность и плавный ход;
- силовые передачи в станкостроении; требования — постоянство передаточного отношения и плавность хода;

- передачи в автомобилестроении; требования — плавность и легкость хода, отсутствие шума;
- кинематические передачи в точных приборах; требования — обеспечение постоянства передаточных отношений, отсутствие «мертвого» хода.

Установленные ГОСТом степени точности учитывают эти условия, допуская как высокие технические показатели в одном направлении, так и низкие в другом, узаконив дифференциацию технических условий и комбинирование степеней точности.

Зубчатые колеса обрабатывают на разнообразных зубообрабатывающих станках. Зубья на колесах нарезают двумя способами: копированием (рис. 1.66, а, б) и обкаткой (огибанием) (рис. 1.66, в, г).

При **копировании** режущему инструменту придают форму впадины между зубьями, а затем производят обработку, при которой профиль инструмента копируется на обрабатываемой поверхности.

Зубонарезание способом копирования можно выполнять:

- последовательным нарезанием каждого зуба колеса модульной дисковой или пальцевой фрезой на универсальном фрезерном станке;
- одновременным долблением всех зубьев колеса;

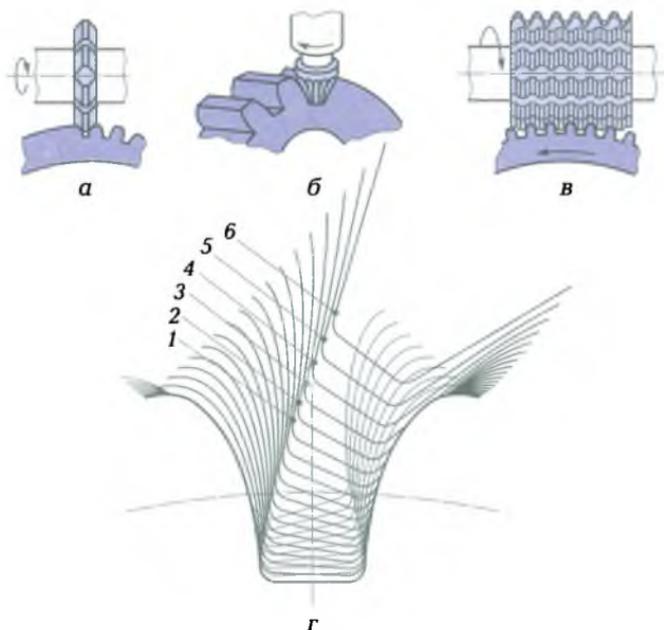


Рис. 1.66. Нарезание зубьев зубчатых колес копированием (а, б) и обкаткой (в, г)

- одновременным протягиванием всех зубьев колеса;
- круговым протягиванием.

Способ копирования применяется главным образом при изготовлении зубчатых колес невысокой точности.

Современным, точным и производительным способом изготовления зубчатых колес является нарезание зубьев **обкаткой червячной фрезой**, круглым долбяком, реечным долбяком (гребенкой), зубострогальными резцами, резцовой головкой, накатыванием зубчатыми валками.

Способ обкатки заключается в том, что зубья на зубчатом колесе образуются при совместном согласованном вращении (обкатке) режущего инструмента и заготовки. Так, при зубофрезеровании прямолинейные боковые режущие кромки зубьев червячной фрезы, имеющие в осевом сечении трапецеидальную форму, поочередно касаются нарезаемого зуба.

Рассматривая на рис. 1.66, г последовательные положения зубьев фрезы (1—6), видим, что профиль впадины получается постепенно и состоит из множества прямолинейных участков, образованных зубьями фрезы. Эти прямолинейные участки накладываются один на другой и практически образуют не ломаный, а криволинейный (эвольвентный) профиль зуба.

Зубчатые колеса степеней точности 3—8 нарезают методом обкатки, после чего «сырые» колеса степеней точности 3—5 подвергают тщательной обработке шевингованием, шлифованием и последующей отделке на притирочных станках и закалке токами высокой частоты (ТВЧ), исключаящими деформацию поверхности. Зубчатые колеса, изготовленные со степенями точности 6—8, обычно подвергают закалке в закалочных печах, дающих значительное искажение формы. Затем для сохранения формы у колес со степенями точности 6, 7 шлифуют боковые профили зубьев с базированием по отверстию, а у колес со степенью точности 8 шлифуют отверстие с базированием по впадине зуба. Зубчатые колеса, изготавливаемые со степенями точности 8—10, нарезают в мелкосерийном производстве на фрезерных станках в делительной головке, причем для колес, изготавливаемых со степенью точности 8, фрезы тщательно профилируют по форме зубьев колеса.

Зубчатые колеса со степенями точности 10—11 могут быть получены точной отливкой с последующей обработкой зубьев по шаблону.

**Фрезерование зубьев цилиндрических колес и реек дисковыми и пальцевыми модульными фрезами** представляет собой разновидность фасонного фрезерования. Режущие кромки зубьев

дисковой и пальцевой фрезы изготавливают по форме впадины между зубьями колеса (см. рис. 1.66, а, б). В процессе работы фреза переносит (копирует) свой профиль во впадину зубьев, создавая таким образом две половины профилей двух соседних зубьев. После нарезания одной впадины заготовка поворачивается на один зуб с помощью делительного механизма, а фреза снова врезается и проходит по новой впадине между зубьями.

Такой способ применяют в индивидуальном и мелкосерийном производстве, при ремонтных работах, на горизонтально-фрезерных станках с делительными головками. Недостатками этого способа являются:

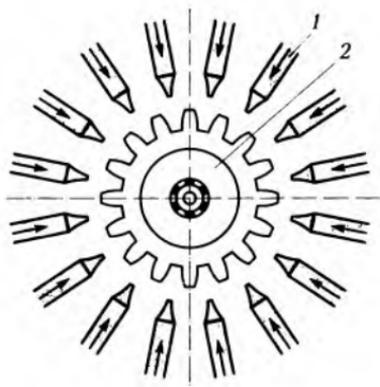
- низкая степень точности обработки зуба, так как дисковые модульные фрезы изготавливают с приближенными профилями зубьев, причем каждый типоразмер фрезы рассчитан на несколько смежных чисел зубьев нарезаемых колес в определенном интервале;
- низкая производительность и высокая себестоимость обработки (большое машинное и вспомогательное время). Низкая производительность зависит от прерывности процесса обработки, вызывающей потери времени на врезание фрезы при каждом очередном зубе, индексирование (поворот на зуб) заготовки, подвод заготовки к фрезе, а также от относительно малого числа зубьев фрезы, работающих одновременно.

Обычно для каждого модуля изготавливают наборы дисковых фрез, охватывающие все числа зубьев и диаметры нарезаемых колес. По стандарту имеется три набора из 8; 15 и 26 дисковых фрез, которыми с небольшой погрешностью, укладываемой в пределы допуска, можно нарезать зубчатые колеса с разным числом зубьев. Чем больше модуль колеса, тем сильнее будут сказываться неточности. Поэтому для более точных работ применяют набор из 15 дисковых фрез, а для самых точных — из 26 дисковых фрез.

Таким образом, при этом способе нарезания получается лишь приближенный профиль зубьев на нарезаемом колесе.

Для нарезания зубчатых колес крупных модулей (больше 20 мм) способом копирования, особенно шевронных колес, применяют модульные пальцевые фрезы, так как дисковые фрезы подрезают зуб встречного наклона. На зубчатых рейках зубья нарезают также с помощью дисковых модульных фрез, на длинных рейках — на станках специального назначения, имеющих механизм деления для продольного движения рейки. Фрезеруют одной или двумя (и

Рис. 1.67. Схема нарезания зубьев долбяком



даже тремя) установленными рядом фрезами. При нескольких одновременно работающих фрезах одна (или соответственно две) из набора дисковых фрез служит для предварительной прорезки, другая — для окончательного профилирования зубьев.

В современном машиностроении применяют **зубодолбежные станки**, производительность которых значительно выше, чем при нарезании зубьев на фрезерных станках, описанных ранее. Высокая производительность достигается тем, что в работе одновременно участвуют столько резцов (долбяков), сколько нужно нарезать зубьев на заготовке, причем резцы имеют форму впадин зубчатого колеса.

Многорезцовую обработку ведут по схеме, приведенной на рис. 1.67. Резцы 1 расположены радиально по отношению к заготовке 2. Стружку снимают при возвратно-поступательном вертикальном движении заготовки 2. Радиальная одновременная подача резцов 1 происходит в нижнем положении заготовки 2, когда заготовка выходит из зацепления с резцами.

Способ **фрезерования зубьев цилиндрических колес червячными фрезами** является одним из наиболее распространенных. Червячная фреза представляет собой червяк, имеющий профиль осевого сечения винтовых ниток в виде зубчатой рейки и продольные канавки, образующие режущие зубья рейки (см. рис. 1.66, в).

Зубчатая рейка обеспечивает правильное зацепление с эвольвентными колесами любого числа зубьев, поэтому червячная фреза может нарезать колеса с любым числом зубьев (того же модуля и угла зацепления) одинаково точно. В этом заключается одно из больших достоинств нарезания зубьев колес червячной фрезой.

В процессе нарезания червячная фреза и нарезаемое колесо находятся в состоянии относительного движения зацепления, соответствующего червячной передаче с передаточным числом

$$i = n_{\text{ф}}/n_3 = z_3/z_{\text{ф}},$$

где  $n_{\text{ф}}$ ,  $n_3$  — частота вращения фрезы и зубчатого колеса;  $z_{\text{ф}}$ ,  $z_3$  — число заходов червячной фрезы и число зубьев нарезаемого зубчатого колеса.

При резании червячная фреза вращается и движется поступательно в соответствии с вращением нарезаемого зубчатого колеса (рис. 1.68). Ось червячной фрезы 1 устанавливают под углом к плоскости торца нарезаемого колеса 2, равным углу подъема нитки фрезы на ее делительном цилиндре. Червячная фреза кроме вращения имеет поступательное движение подачи вдоль образующей боковой цилиндрической поверхности нарезаемого колеса. Процесс резания при этом происходит непрерывно, и в нем участвует одновременно несколько режущих зубьев, благодаря чему этот способ нарезания зубьев является одним из наиболее производительных.

При нарезании зубьев за один рабочий ход червячную фрезу устанавливают на полную высоту зуба (т. е. глубину резания), при нарезании зубьев с модулем более 8 мм за два рабочих хода — на 0,6 высоты зуба при первом и на 0,4 при втором рабочем ходе. Для чистового рабочего хода оставляется припуск от 0,5 до 1 мм на толщину зуба по начальной окружности (для размеров модуля 8... 15 мм). Обычными червячными фрезами нарезают зубья как с нормальным, так и с корригированным профилем. В последнем случае при установке фреза соответственно требуемым условиям корригирования должна дополнительно сместиться, чтобы приблизиться к заготовке или удалиться от нее.

На зубофрезерных станках можно производить нарезание зубьев попутным (рис. 1.69, а) или встречным (рис. 1.69, б) фрезерованием, при этом попутное фрезерование эффективнее встречного,

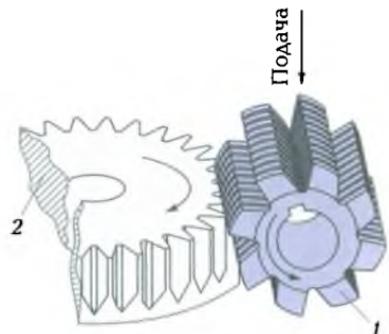


Рис. 1.68. Схема нарезания зубьев червячной фрезой

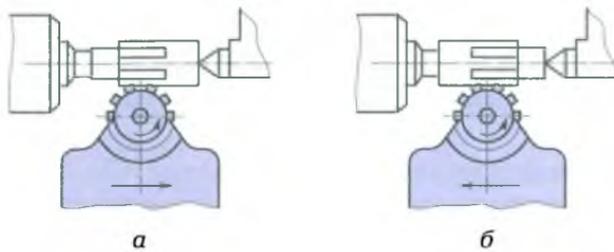


Рис. 1.69. Схемы попутного (а) и встречного (б) фрезерования зубьев

так как оно обеспечивает более благоприятные условия стружкообразования, меньшие колебания сил резания, меньшие вибрации при резании, что повышает стойкость инструмента и качество обработанной поверхности.

Значительная часть времени зубофрезерования расходуется на врезание, особенно при применении червячных фрез большого диаметра, так как с увеличением диаметра фрезы возрастает длина врезания. Для прямозубых колес средних модулей время врезания составляет 30...40 % машинного времени зубофрезерования.

Врезание является прерывистым процессом, поэтому при осевом врезании обычно несколько понижают подачу по сравнению с последующей продольной подачей при резании. Трудоемкость врезания можно уменьшить примерно на 30 % путем замены осевого врезания II (рис. 1.70) радиальным I, сохраняя последующую продольную подачу. В этих условиях станок и инструмент в течение всего процесса обработки загружаются более равномерно.

Червячными фрезами нарезают как прямые, так и косые зубья цилиндрических колес. В последнем случае ось фрезы устанавливают под углом к торцу нарезаемого колеса, равным сумме углов подъема винтовой нитки фрезы и винтовой нитки (углов наклона зуба) нарезаемого колеса (при разных направлениях винтовых ли-

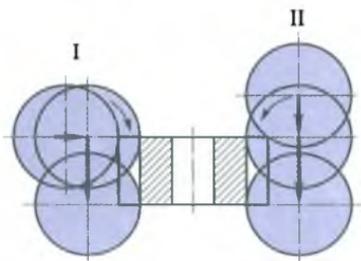


Рис. 1.70. Радиальное I и осевое II врезание фрезой

Рис. 1.71. Схема нарезания зубьев на зубодолбежном станке

ний фрезы и колеса) или разности этих углов, если направления винтовых линий фрезы и нарезаемого колеса одинаковы.

Наиболее распространенным зубообрабатывающим станком является зубофрезерный станок для нарезания колес с прямыми и косыми зубьями, а также червячных колес и червяков методом обкатки. Станок выполняет три движения: вращение червячной фрезы, вертикальную подачу фрезы, вращение заготовки.

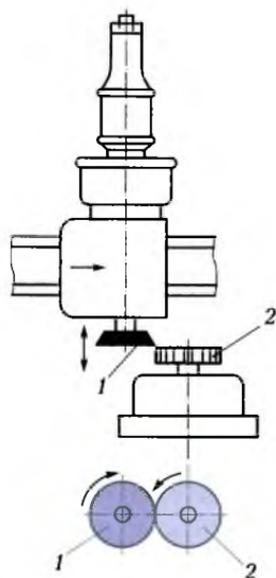
Способ нарезания цилиндрического зубчатого колеса *методом обкатки с помощью круглого долбяка* заключается в том, что в процессе обработки колеса воспроизводится зубчатое зацепление двух цилиндрических колес, одно из которых является режущим инструментом, а другое — заготовкой.

Для обработки колеса необходимо, чтобы одно из колес *1* или *2* зубчатой пары (на практике — долбяк *1*) совершало при обкатке возвратно-поступательное движение (рис. 1.71), в результате чего на заготовке образуются зубья.

Зубчатая пара, установленная на станке, взаимно кинематически связана и в процессе обкатки воспроизводит зубчатое зацепление. Колесо *1* служит режущим инструментом (долбяком) и одновременно производит вертикальное возвратно-поступательное движение, последовательно срезая зубьями материал заготовки *2*. Долбяк представляет собой зубчатое колесо, на торце которого заточкой образованы режущие кромки. Долбяк с прямыми зубьями (рис. 1.72, *а*) предназначен для нарезания колес с прямыми зубьями, а дисковый косозубый долбяк (рис. 1.72, *б*) — для нарезания зубчатых колес с косыми зубьями.

При нарезании зубьев цилиндрического зубчатого колеса с помощью реечного долбяка (гребенки) воспроизводится зубчатое зацепление цилиндрического колеса с рейкой, причем рейка (гребенка) является режущим инструментом, а колесо — заготовкой.

При этом зубья можно нарезать двумя способами: обкаткой зубчатого колеса по гребенке (колесо совершает вращательное и



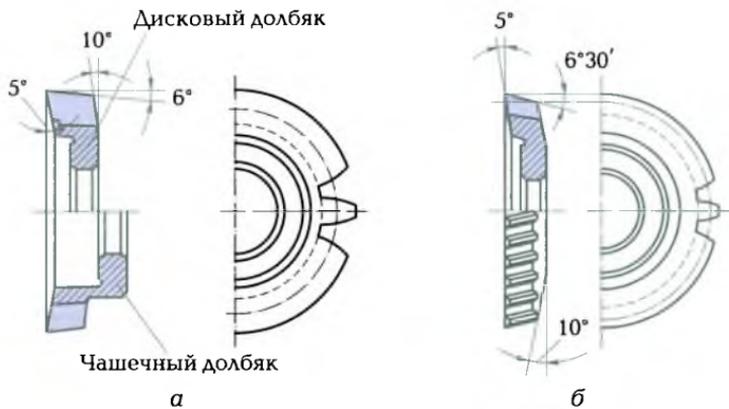


Рис. 1.72. Геометрия чашечного и дискового долбяков с прямыми (а) и косыми (б) зубьями

поступательное движение при неподвижной гребенке) или гребенки по зубчатому колесу (колесо совершает вращательное движение, а гребенка — поступательное). Наиболее распространенным является первый способ.

Для обработки **прямозубых конических колес** применяют зубострогальные станки, работающие по методу обкатки одновременно двумя резцами.

При обработке небольших прямозубых конических колес применяют **круговое протягивание** на специальных станках, где режущим инструментом является круговая протяжка. Круговая протяжка состоит из нескольких секций фасонных резцов (обычно 15 секций по пяти резцов в каждой), расположенных в порядке изменения профиля по периферии протяжки.

На рис. 1.73 показаны черновые резцы 1 (1—11), чистовые резцы 2 (12—15) и зона поворота заготовки на один зуб 3. Профиль и расположение вершин резцов изменяются по определенному закону.

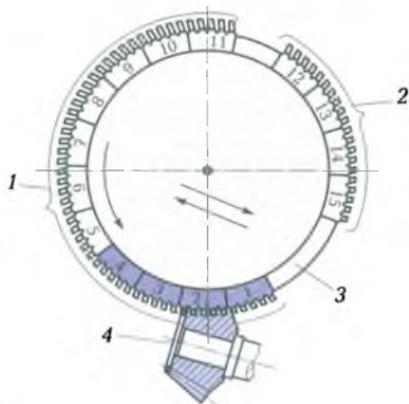


Рис. 1.73. Схема нарезания зубьев круговой протяжкой

Круговая протяжка, вращаясь с постоянной скоростью, одновременно перемещается поступательно с различной скоростью на отдельных участках своего пути. Скорость и характер поступательного движения круговой протяжки зависят от профиля копира станка, подбираемого применительно к обрабатываемому зубчатому колесу 4. Таким образом, траектория рабочего движения каждого фасонного резца является совокупностью скоростей вращательного и поступательного движения протяжки.

При черновом протягивании круговая протяжка движется от вершины начального конуса зубчатого колеса к его основанию, а при чистовом — от основания к вершине.

За один оборот протяжки полностью обрабатывается одна впадина зуба конического зубчатого колеса. Во время протягивания впадины зуба заготовка колеса неподвижна, для обработки следующей впадины заготовка поворачивается на один зуб вокруг своей оси при подходе свободного резца от сектора круговой протяжки.

Конические зубчатые колеса с прямыми зубьями вследствие несовершенства конструкции не отвечают повышенным требованиям быстроходных передач на современных машинах (наблюдаются шум, неплавность работы, низкий КПД).

**Конические колеса с криволинейными зубьями** в значительной мере лишены этих недостатков. Наиболее распространенным способом получения криволинейных профилей зубьев конических колес является **нарезание зубьев резцовыми головками**. Станки для нарезания зубчатых колес этим способом весьма производительны и обеспечивают высокое качество изготовления колес.

В табл. 1.5 и 1.6 приведены технологические варианты нарезания зубьев конических и цилиндрических колес крупносерийного и массового производства. Эти варианты обеспечивают высокую точность и производительность труда. В отдельных случаях производственные условия могут вызвать отступление от этих рекомендаций, однако такие отступления должны быть только частными случаями.

**Основные методы обработки зубьев червячных пар.** Элементами пары червячной передачи являются червяк и червячное колесо, оси которых перекрещиваются обычно под углом  $90^\circ$  (в некоторых механизмах тяжелых станков применяют передачи с осями, перекрещивающимися под углом  $45^\circ$ ).

Червяки бывают цилиндрические (рис. 1.74, а) и глобоидные (рис. 1.74, б). Сечение витков цилиндрического червяка осевой плоскостью представляет собой рейку с прямолинейными или криволинейными боковыми сторонами. Осевое сечение глобоидного червяка имеет форму круговой прямобочной рейки.

**Таблица 1.5. Технологические варианты нарезания зубьев конических зубчатых колес**

Зубчатые колеса с модулями $m = 3$ мм	Степени точности	Зубчатые колеса с модулями $m = 4 \dots 10$ мм	Степени точности
<b>Прямозубые</b>			
Зубострогание прямолинейными специальными резцами	7, 8	Строгание начерно Строгание начисто Шлифование профиля зуба	7, 8
Зубофрезерование двумя дисковыми обкатывающими фрезами $m = 1,5$ мм	7, 8	Фрезерование за один рабочий ход сложно-профильной фрезой (до $m = 8$ мм)	6, 7
		Фрезерование двумя обкатывающими дисковыми фрезами (с модулем до 10 мм)	8
<b>Криволинейные</b>			
Фрезерование торцовыми круглыми головками	7, 8	Обработка торцовыми головками начерно	7, 8
		Обработка торцовыми головками начисто Шевингование или шлифование	6, 7
Фрезерование коническими червячными фрезами до $m = 2,5$ мм	7, 8	Обработка червячными коническими фрезами начерно и начисто до $m = 7$ мм	7, 8
Фрезерование концевыми профильными фрезами (по методу обкатки)	7, 8	Обработка концевыми профильными фрезами по методу обкатки начерно и начисто	7, 8

Среди **цилиндрических червяков** наибольшее распространение для неотчетственных передач получил **винтовой червяк (архимедов червяк)**. Винтовая поверхность этого червяка образуется вращением вокруг оси и одновременным перемещением вдоль оси (за каждый оборот) прямой, проходящей через ось червяка и наклоненной под некоторым углом к оси, при сечении плоскостью,



Зубчатые колеса с модулями $m = 1 \dots 2$ мм	Степени точности	Зубчатые колеса с модулями $m = 2,5 \dots 10$ мм	Степени точности	Зубчатые колеса с модулями $m = 11 \dots 20$ мм	Степени точности
Зубодобление круглым долбяком	7—9	Фрезерование червячной однозаходной фрезой начисто	6—8	—	—
Фрезерование червячной однозаходной фрезой	6—8	Фрезерование червячной фрезой однозаходной (один-два рабочих хода) с оставлением припуска на шевингование	6—8	—	—
Зубшлифование абразивным червяком до $m = 1$ мм после терми- ческой обработки (без предварительной про- резки)	5, 6	Накатывание зубьев в горячем состоянии	9—1	—	—
		Фрезерование червячной фрезой под шевингова- ние	6—8	—	—
		Шевингование	5, 6	—	—

### Блочные зубчатые колеса

Зубодoblение за один рабочий ход:	реечным дольбяком	7, 8	Зубодoblение черновое в один-два рабочих хода	7, 8	—	—
	дискoвым дольбяком	7—9	Зубодoblение	7—9	—	—
—	—	—	Шевингование	6, 7	—	—

П р и м е ч а н и я: 1. Шевингование после обработки повышает точность на одну-две степени.

2. Шлифование зубьев с  $l > 1$  мм после термической обработки в зависимости от выбранного метода позволяет получить зуб со степенями точности 4—5.

3. Притирка профиля зубьев после термической обработки чугунными (шаржированием) или абразивными колесами восстанавливает степень точности, полученную до термической обработки, но не повышает ее.

4. Шевингование зубчатых колес с модулем до 12 мм после фрезерования повышает степень точности на одну-две степени точности.

5. Если технологическая система при зубофрезеровании достаточно жесткая, возможно фрезерование острозаточенными червячными фрезами за один рабочий ход зубчатых колес с модулем до 24 мм под шевингование.

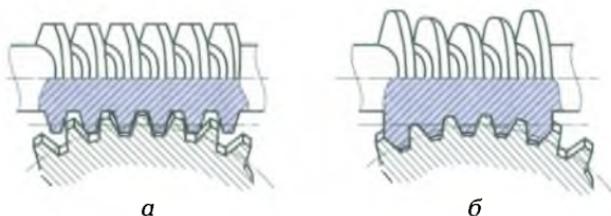


Рис. 1.74. Цилиндрический [а] и глобоидный [б] червяки червячной передачи

проходящей через ось червяка, витки имеют трапецидальный профиль (рис. 1.75, а). Червячная пара с таким червяком обладает низким КПД и подвержена быстрому изнашиванию, поэтому ее применяют в неотвественных, тихоходных и слабонагруженных передачах.

Другой разновидностью цилиндрического червяка является **эвольвентный** червяк (рис. 1.75, б), который представляет собой цилиндрическое зубчатое колесо с эвольвентной винтовой поверхностью. В сечении червяка плоскостями, перпендикулярными оси основного цилиндра, образуются эвольвенты, от которых этот червяк и получил свое название.

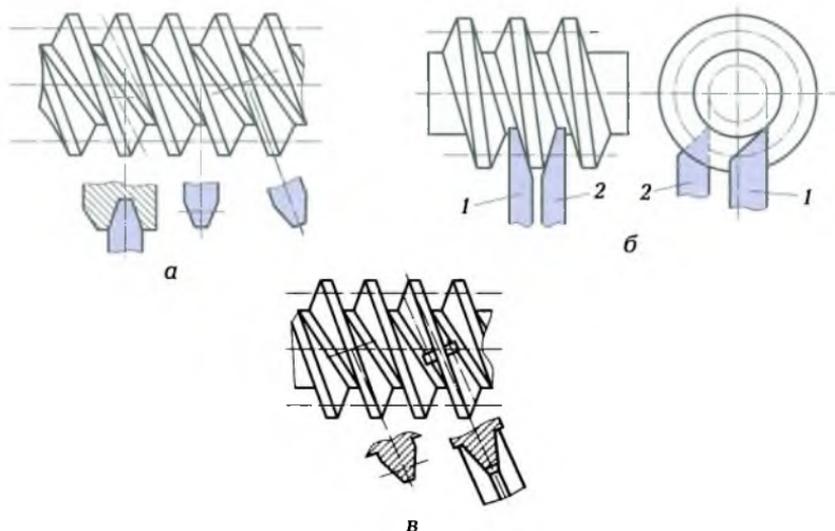


Рис. 1.75. Способы нарезания винтового (а), эвольвентного (б) и конволютного (в) червяков

Червячные пары с эвольвентными червяками часто используют в ответственных передачах при больших нагрузках и скоростях, но изготовление таких передач требует применения специального оборудования и сложных методов обработки.

Следующей разновидностью цилиндрического червяка является червяк с **прямолинейным профилем** в нормальном сечении витка и с удлиненной эвольвентой боковой стороны витка в сечении, поперечном оси (рис. 1.75, в). Такой червяк называют **конволютным** червяком, он является разновидностью эвольвентного червяка. Эти червяки более просты в обработке, чем эвольвентные, и обеспечивают достаточную точность зацепления червячной передачи, имеют высокий КПД и износостойкость.

**Глобоидные червяки** обладают большой поверхностью соприкосновения витков червяка с зубьями червячного колеса, что обуславливает снижение давления, а следовательно, и изнашивание поверхности зубьев червячной пары. Винтовая нитка у этого червяка образуется при винтовом движении профиля не по цилиндрической поверхности, а по поверхности глобоида.

Несмотря на сложность изготовления, их широко применяют в передачах для больших мощностей.

Рассмотрим **нарезание червяков**. Простейшим видом обработки червяков является их нарезание на токарном станке резцом с прямолинейным профилем. Для получения правильного профиля витков профиль резца должен иметь контур впадины между зубьями червяка и в его определенном сечении совмещаться при нарезании с плоскостью этого сечения.

Чтобы получить архимедов червяк, профиль резца с прямолинейными кромками должен быть совмещен с плоскостью, проходящей через ось червяка (см. рис. 1.75, а). Однако с увеличением угла подъема витка нарезание червяка одним резцом становится затруднительным вследствие изменения величины угла, что приводит к выходу из строя режущего инструмента из-за выкрашивания режущей кромки. Поэтому архимедовы червяки при большом угле подъема витков заменяют эвольвентными или конволютными.

Эвольвентный червяк нарезают двумя резцами 1 и 2, профили режущих кромок которых совмещаются с двумя плоскостями, расположенными касательно к поверхности основного цилиндра с двух сторон (см. рис. 1.75, б). По мере увеличения диаметра основного цилиндра установка резцов выше и ниже центра вызывает определенные трудности вследствие изменений углов резания, поэтому при нарезании эвольвентных червяков применяют профиль-

ные резцы, соответствующие контуру нормального сечения впадины червяка с установкой плоскости профиля перпендикулярно ее оси.

Конволютный червяк нарезается резцом, установленным своим профилем в плоскости, параллельной оси червяка, выше или ниже ее на определенную величину или наклонно к ней с совмещением оси симметрии профиля резца с осью червяка. Конволютные червяки с прямолинейным рабочим профилем обрабатывают двумя резцами (см. рис. 1.75, в).

Глободный червяк нарезают резцом с прямолинейной режущей кромкой, при этом ось резца вращается синхронно с нарезаемым червяком для воспроизводства относительного движения профилей зубьев червяка и червячного колеса в зацеплении. Этот вид червяка обрабатывают резцом на зубофрезерном станке.

Кроме обработки червяков резцом на токарном станке применяют также нарезание червяков профильным резцом и фрезами на фрезерных и резьбофрезерных станках.

Нарезание червяков дисковой фрезой — более производительный способ обработки, но при этом искажается профиль червяка в результате подрезки зуба вследствие различия углов подъема витка у основания и вершины, особенно у многозаходных червяков. Поэтому такой способ обычно применяют для предварительной обработки профиля червяка. При нарезании дисковой фрезой (рис. 1.76) с режущими кромками прямолинейного профиля ось вращения фрезы *A* располагается под углом к оси червяка, равным углу подъема витков червяка.

Наряду с нарезанием червяков дисковой фрезой различные виды червяков обрабатывают червячной фрезой на обычных зубофрезерных станках. Так, при обработке червячной фрезой с прямолинейными режущими кромками зуба можно нарезать эвольвентный червяк.

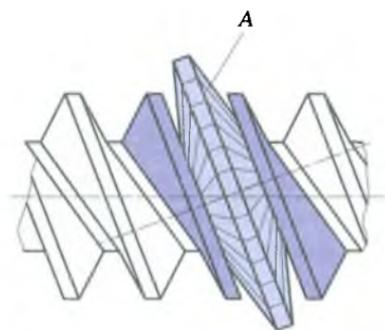


Рис. 1.76. Схема нарезания червяка дисковой фрезой

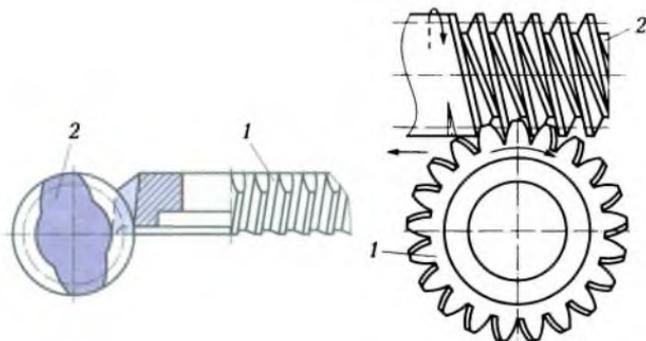


Рис. 1.77. Схема нарезания червяка долбяком

Для нарезания архимедовых и конволютных червяков применяют специальные червячные фрезы с криволинейным профилем режущих кромок зуба. Этот способ обработки при высокой производительности требует наличия сложного инструмента; так как он приводит к искажению профиля поверхностей витков червяка, его применяют для предварительной обработки.

Одним из производительных методов обработки, обеспечивающих высокую точность, является нарезание червяка на специальных станках (типа «Корнелис» и др.) долбяком (рис. 1.77). Долбяк 1, установленный относительно осевой плоскости нарезаемого червяка 2, имеет движение подачи вдоль оси червяка. Кроме того, долбяку и червяку сообщается вращательное движение обкатки. В результате сочетания этих движений нарезаются все витки червяка.

При этом методе обработки (при точном изготовлении долбяка) профиль поверхности червяка не искажается и нарезание червяка долбяком является высокоточным и производительным. Однако необходимость изготовления долбяков для каждого угла подъема витков нарезаемых червяков увеличивает затраты на подготовку производства, поэтому применение этого метода экономично только в крупносерийном или массовом производстве.

Рассмотрим **нарезание червячных колес**. Червячные колеса нарезают на зубофрезерных станках червячными фрезами тремя методами: методами радиальной и тангенциальной подачи и комбинированным методом.

При **методе радиальной подачи** (рис. 1.78, а) заготовка 1, находясь все время в зацеплении с червячной фрезой 2, совершает радиальную подачу на фрезу до установленного размера А, при этом фреза имеет только вращательное движение. На червячном колесе получается правильный профиль зубьев при полном заце-

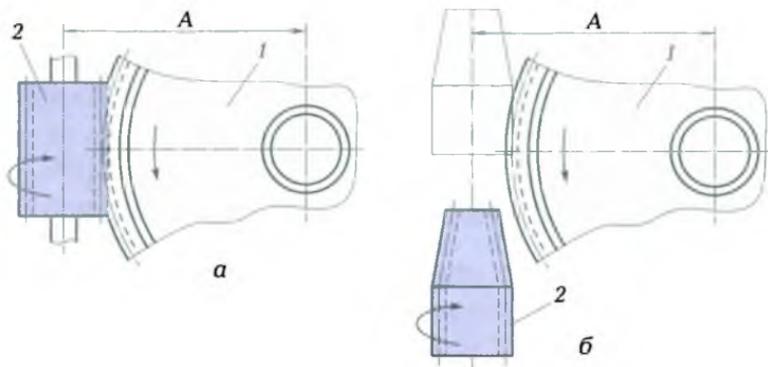


Рис. 1.78. Схемы нарезания червячных колес методами радиальной (а) и тангенциальной (б) подачи

плени червячной фрезы с заготовкой. Недостаток указанного метода заключается в том, что червячная фреза работает не всеми режущими кромками, поэтому изнашиваются только зубья средней части фрезы, постоянно находящиеся в контакте с заготовкой. Этим методом нарезают зубья червячного колеса на обычном зубофрезерном станке без дополнительного специального суппорта. Настройка цепи деления станка при этом аналогична настройке при нарезании цилиндрических зубчатых колес с прямым зубом. Дополнительную настройку радиального перемещения стола производят в зависимости от заданной радиальной подачи.

При **методе тангенциальной подачи** (рис. 1.78, б) заготовку 1 червячного колеса устанавливают на размер межцентрового расстояния  $A$  сразу и фрезу 2 вводят в зацепление с заготовкой осевым перемещением. Фреза 2 имеет коническую заборную часть и, работая всеми своими режущими кромками, изнашивается равномерно. В процессе резания фреза не только вращается, но и перемещается поступательно по оси. При этом заготовка 1 кроме основного вращательного движения, связанного с зацеплением, должна иметь дополнительное вращательное движение, зависящее от осевого перемещения фрезы 2, иначе зубья червячной фрезы будут срезать зубья червячного колеса. Осевое перемещение фрезы 2 и дополнительное вращение заготовки 1 червячного колеса осуществляет специальный суппорт, который при нарезании червячных колес устанавливают на зубофрезерном станке.

**Комбинированный метод** нарезания червячных колес представляет собой последовательное сочетание методов радиальной и тангенциальной подачи, причем первый применяют для предвари-

тельного нарезания зубьев, а второй — для окончательной обработки. Под окончательную обработку оставляют соответствующий припуск, величина которого должна компенсировать погрешность предыдущей обработки.

При комбинированном методе применяют как червячные фрезы, так и профильные резцы, причем применение последних, особенно для окончательной обработки червячного колеса, обеспечивает наиболее высокую точность.

**Отделочные виды обработки зубчатых колес.** Отделочные виды обработки зубчатых колес подразделяют на обработку со снятием стружки: шевингованием, шлифованием, хонингованием, притиркой и обработкой без снятия стружки — обкатыванием. К отделочным работам со снятием стружки относят также зубозакругляющие операции, снятие фасок и заусенцев.

**Шевингование** зубьев применяют для незакаленных колес, оно заключается в том, что посредством специального инструмента методом его обкатки по зубчатому колесу с поверхности зуба снимают припуск величиной 0,1...0,25 мм. В качестве инструмента применяют дисковый шевер — зубчатое колесо, на поверхности зубьев которого имеются узкие прорезы, образующие кромки, или обычный шевер — рейку с аналогичными зубьями.

Шевер для обработки прямозубых зубчатых колес имеет винтовые зубья с углом подъема до  $15^\circ$ , а для обработки косозубых — прямые зубья. На рис. 1.79 показан дисковый шевер с режущими кромками на боковых поверхностях зубьев.

Из двух способов шевингования наиболее распространенным является шевингование зубьев с помощью дискового шевера. Шевингование производят на специальном станке (рис. 1.80). Шевер 4, установленный под углом к оси обрабатываемого зубчатого колеса 5, получает принудительное вращение с частотой  $250 \text{ мин}^{-1}$ , вызывая этим вращение зубчатого колеса, свободно установленного в центрах на оправке 6. Скрещивание осей приводит к продольному относительному скольжению зубьев шевера и зубчатого колеса.

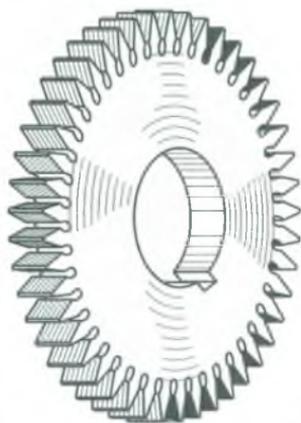


Рис. 1.79. Дисковый шевер

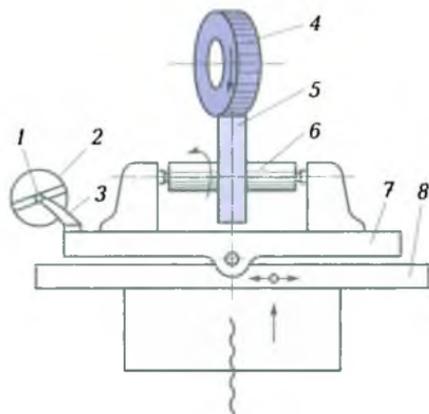


Рис. 1.80. Схема шевингования зубьев зубчатых колес с помощью дискового шевера

Для резания шевером поверхности зуба стола *8* сообщают продольную подачу  $0,1 \dots 0,3$  мм на один оборот зубчатого колеса. В конце хода стола сообщают поперечную (вертикальную) подачу  $0,02 \dots 0,04$  мм, после чего стол возвращается в обратном направлении. Число ходов стола зависит от величины припуска. При необходимости получить зубья бочкообразной формы, имеющие большое распространение в современных конструкциях зубчатых передач, используют предусмотренную в станке качающуюся плиту *7* с кронштейном *3* и установленным в нем пальцем *1*. Палец фиксируют в копии *2*, укрепленном на кронштейне, и, скользя по копиру, он заставляет плиту *7* в конце хода стола наклоняться, в результате чего шевер врезается в зубчатое колесо, формируя зубья у краев более тонкими, чем в середине.

Обработка зубчатого колеса продолжается в течение  $12 - 14$  двойных ходов стола, время на обработку одного зуба колеса равно  $2 \dots 3$  с. Точность обработанных шевингованием зубчатых колес составляет в среднем до  $0,005$  мм по шагу и профилю и до  $0,03$  мм по биению начальной окружности.

**Зубошлифование** осуществляют в основном двумя методами: обкаткой и профильным копированием с помощью фасонного шлифовального круга. Шлифованием достигают шероховатости поверхности  $Ra$   $0,63 \dots 0,32$  мкм с точностью основных параметров зубчатого колеса в пределах 11-го, 12-го квалитетов независимо от величины оставляемого припуска.

Шлифование зубьев методом обкатки заключается в том, что в процессе шлифования воспроизводят зубчатое зацепление пары

рейка — зубчатое колесо, в котором инструментом является рейка. Этот метод применяют на современных станках, используя шлифовальные круги различных видов.

На рис. 1.81, а изображена схема шлифования зуба цилиндрического колеса методом обкатки зубчатой пары рейка — зубчатое колесо. Два шлифовальных круга 1 установлены таким образом, что их торцы, обращенные к шпинделям, совпадают с боковыми сторонами зубьев воображаемой производящей рейки 2, находящейся в зацеплении с заготовкой 3. Обкатываясь по вращающейся заготовке 3, шлифовальные круги своими торцами шлифуют поверхность зубьев колеса.

Более производительным является шлифование абразивным червяком (рис. 1.81, б). Шлифовальному кругу, изготовленному в виде одно- или двухзаходного червяка диаметром 300 мм, в процессе обработки сообщаются два движения: вращательное I — вокруг оси (движение резания) со скоростью 20...30 м/с и поступательное II — вдоль оси заготовки (движение подачи) со скоростью 0,6 мм за один оборот колеса. Зубчатое колесо получает вращение III вокруг своей оси, согласованное с вращением абразивного червяка, и периодическое радиальное движение подачи IV. Точность обработки однозаходным червяком соответствует 6-й степени точности, двухзаходным — 7-й степени точности. Достигаемая шероховатость поверхности обработанных зубьев  $Ra$  1,25...0,32 мкм.

На рис. 1.81, в показана схема шлифования зуба профильным копирувальным фасонным шлифовальным кругом.

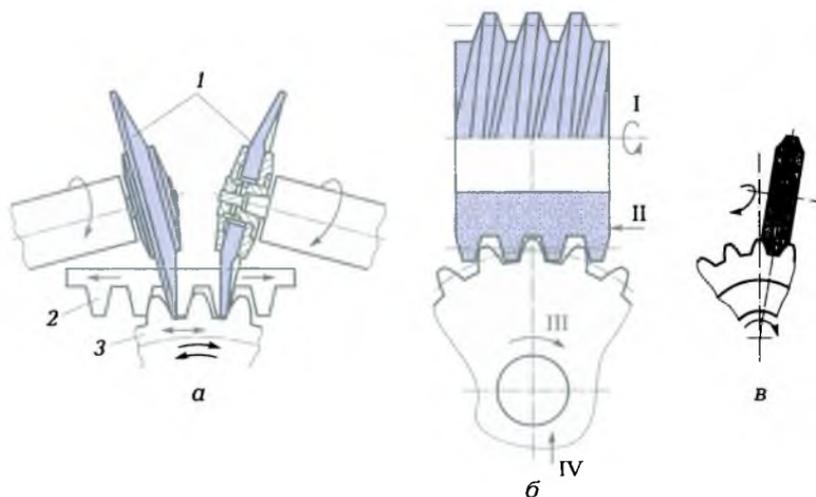


Рис. 1.81. Схемы зубошлифования (а—в)

Для повышения класса шероховатости поверхности профиля зуба и уменьшения шума при работе передачи после термической обработки применяют **хонингование** зубьев колес. Зубохонингование производят на станке, аналогичном шевинговальному, при скрещивающихся осях хона и обрабатываемого колеса, но без механизма радиальной подачи. При этом установленное в центрах зубчатое колесо совершает кроме вращательного (реверсируемо-го) возвратно-поступательное движение вдоль своей оси.

Зубчатый хон представляет собой геликоидальное колесо, изготовленное из пластмассы и шаржированное абразивом, зернистость которого выбирается в зависимости от величины припуска (0,025...0,05 мм) и требований к классу шероховатости поверхности.

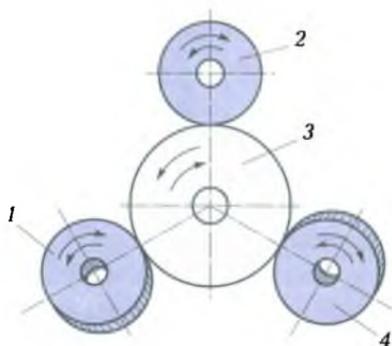
Хонингование производят враспор при постоянном давлении между зубьями обрабатываемого колеса и хона или способом беззазорного зацепления колеса и хона при неизменном межцентровом расстоянии. Первый способ обеспечивает изготовление зубчатых колес более высокой точности. Зубохонингование осуществляется при обильном охлаждении для эффективного удаления металлической пыли с обрабатываемой поверхности профиля зуба, его применяют для обработки прямозубых и косозубых колес с модулем 1,25...6 мм, а также колес с фланкированными и бочкообразными зубьями.

Скорость зубохонингования (одного зуба) 1...5 м/с, продолжительность 1...1,2 с, достигаемый класс шероховатости поверхности 10, 11, стойкость зубчатого хона составляет до 18—20 тыс. зубчатых колес.

**Притирку** зубьев зубчатых колес производят после их термической обработки на специальных станках, где инструментом служат притиры — чугунные колеса, находящиеся в зацеплении с обрабатываемым зубчатым колесом. Притиры смазывают смесью мелкого абразивного порошка с маслом.

Отделка зубчатых колес методом притирки заключается в том, что обрабатываемое зубчатое колесо обкатывают между тремя притирами, оси которых скрещиваются между собой (рис. 1.82). Обрабатываемое зубчатое колесо 3, установленное на шпинделе притирочного станка, находится одновременно в зацеплении с чугунными притирами 1, 2, 4. Оси двух притиров 1 и 4 со спиральными или прямыми зубьями наклонены к обрабатываемому зубчатому колесу 3. Ось третьего притира 2 параллельна оси обрабатываемого зубчатого колеса, этот притир вращается попеременно в разных направлениях со скоростью 30...60 м/мин для обеспече-

Рис. 1.82. Отделка зубчатых колес методом притирки



ния равномерной обработки зуба с обеих сторон. Помимо вращения притирам сообщается возвратно-поступательное движение в осевом направлении на длине 25 мм при 60—70 перемещениях в минуту. Скорость вращения обрабатываемого зубчатого колеса 30...60 м/мин.

Давление притиров на поверхность зуба регулируют притормаживанием шпинделей двух притиров. Точность обработки составляет по длине начальной окружности 0,02 мм, по шагу — 0,01 мм и по профилю — 0,08 мм, достигаемый класс шероховатости поверхности 10-й. Время обработки одного зуба в среднем составляет 3...6 с.

В современных машинах часто применяют зубчатые колеса, которые переключают в процессе работы машины без остановки движения (коробки скоростей станков, автомобилей и т.д.). Чтобы устранить удары и выкрашивание кромок при переключении зубчатых колес, производят **зубозакругление** — зубья закругляют специальными фрезами на зубозакругляющих станках. Профиль закругляемого зуба 1 на зубчатом колесе и траектория движения инструмента 2 при обработке показаны на рис. 1.83, а. На рис. 1.83, б приведены конструкции фрез для закругления зубьев колес: пальцевые фрезы 1 и коронная фреза 2.

**Снятие фасок и удаление заусенцев** производятся на станках с абразивными кругами, имеющими профили, соответствующие форме зуба обрабатываемого колеса. Вращение осуществляется путем ввода зубьев в зацепление с витками круга. При больших масштабах производства удаление заусенцев производится на многопозиционных станках стальными щетками.

С зубчатых колес малых размеров заусенцы удаляют с помощью ультразвука. При этом способе кроме удаления заусенцев сглаживают острые кромки, почти не оказывая воздействия на об-

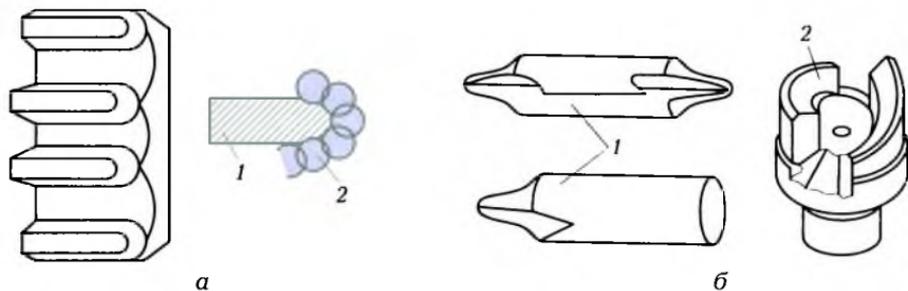


Рис. 1.83. Схема зубозакругления (а) и конструкции фрез для округления зубьев (б)

работанные поверхности зуба. Получает распространение способ снятия заусенцев галтовкой в барабане, причем, выбирая соответствующие наполнитель и частоту вращения барабана, достигают хорошей очистки зубьев без искажения их профиля.

**Обкатывание** незакаленных зубчатых колес производят в масляной среде без абразивного порошка в паре с одним или несколькими закаленными колесами-эталоны, изготовленными с высокой точностью. В результате давления зубьев колес-эталон на поверхности обрабатываемых зубьев и возникающего при этом наклепа сглаживаются неровности на обрабатываемых поверхностях. Ввиду того что при обкатывании профиль и шаг зуба не исправляются, а в ряде случаев даже происходит искажение профиля и создаются дополнительные внутренние напряжения, увеличивающие искажения профиля при термической обработке, этот способ отделки применим для зубчатых колес, не требующих высокой точности, а также для колес, не подвергающихся термической обработке.

## 1.7. ОБРАБОТКА ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Виды и назначение шлицевых соединений.** Шлицевые соединения применяют для посадок с натягом или зазором деталей различного назначения (зубчатых колес, шкивов, втулок и др.) на валу. По сравнению со шпоночными шлицевые соединения имеют ряд преимуществ:

- детали на шлицевых валах лучше центрируются и направляются при передвижении вдоль вала;
- напряжения смятия на гранях шлицов меньше, чем на поверхностях шпонок;

- прочность шлицевых валов при динамических и переменных нагрузках выше, чем валов со шпонками.

Наиболее распространены шлицевые соединения с прямоугольной прямобочной (рис. 1.84, а), эвольвентной (рис. 1.84, б) и треугольной (рис. 1.84, в) формой шлицов.

В **прямоугольных шлицевых соединениях** применяют (для изготовления и эксплуатации) три способа центрирования (базирования) шлицевого вала и втулки: по боковым сторонам шлицов; наружному диаметру шлицов; внутреннему диаметру шлицов.

Центрирование по боковым сторонам шлицов применяют для соединений с наружным диаметром 25...90 мм в тех случаях, когда точность центрирования втулки не имеет существенного значения и в то же время необходимо обеспечить достаточную прочность соединения в эксплуатации.

В механизмах, где основное внимание уделяется кинематической точности передач, например в механизмах металлорежущих станков, автомобилей, тракторов, применяют центрирование по наружному  $D$  или внутреннему  $d$  диаметру шлицов (рис. 1.85, а).

Выбор наружного или внутреннего диаметра в качестве центрирующего определяется твердостью поверхностей шлицевых пазов и размерами соединения. Если шлицевые пазы отверстия термически не обрабатывают или твердость их поверхностей допускает калибрование протяжкой после термической обработки, применяют центрирование по наружному диаметру. Если твердость поверхностей отверстия не позволяет производить калибрование, применяют центрирование по внутреннему диаметру. Центрирование по внутреннему диаметру применяют также при обработке длинных валов, подвергающихся термической обработке, так как в этом случае возможно одновременное шлифование боковых сторон зубьев (выступов) шлицов и внутреннего диаметра вала.

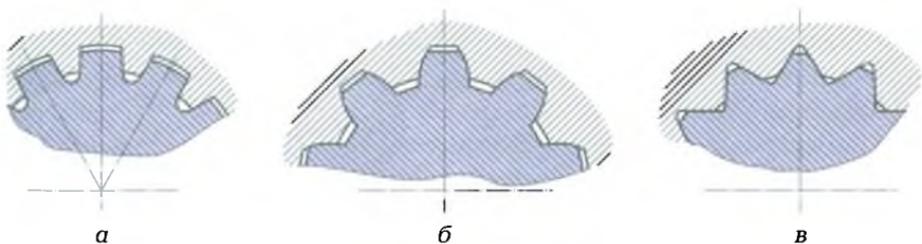


Рис. 1.84. Шлицевые соединения с прямоугольной прямобочной (а), эвольвентной (б) и треугольной (в) формой шлицов

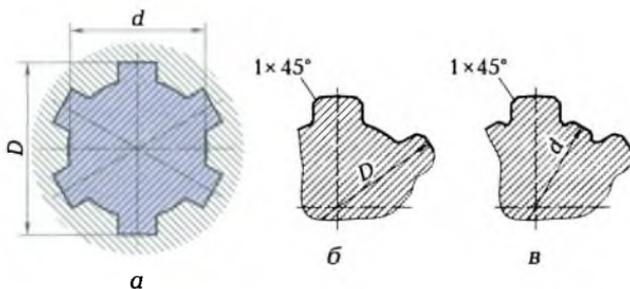


Рис. 1.85. Шлицевое соединение (а) и центрирование шлицевых соединений (б, в)

При центрировании по наружному диаметру на углах шлицевых выступов вала (рис. 1.85, б), а при центрировании по внутреннему диаметру в углах шлицевых пазов отверстия делают фаски и скругления. При центрировании по внутреннему диаметру, а также при необходимости обеспечить контакт боковых сторон зубьев вала и пазов отверстия по возможно большей поверхности в углах впадин шлицевого вала делают канавки (рис. 1.85, в).

Шлицевые валы с прямоугольными зубьями обрабатывают специальными профильными фрезами для каждого значения диаметра и числа зубьев.

**Эвольвентное шлицевое соединение** используют для передачи значительных крутящих моментов, а также в тех случаях, когда к точности центрирования сопрягаемых элементов предъявляют повышенные требования. Эти соединения обладают повышенной прочностью вследствие постепенного утолщения зубьев от вершины к основанию зуба, а также вследствие уменьшения концентрации напряжений у основания. Кроме того, благодаря применению при обработке шлицов червячной фрезы с прямолинейными режущими кромками обеспечиваются более высокие классы шероховатости поверхности и точность обработки шлицов, исключающие в большинстве случаев последующее шлифование. При эвольвентном профиле шлицов можно допускать отделочные виды обработки, применяемые при зубонарезании: шевингование, шлифование по методу обкатки и др.

Центрирование эвольвентных соединений осуществляют по наружному диаметру, боковым сторонам шлицов и вспомогательной цилиндрической поверхности (хвостовику). Наиболее часто применяют центрирование по боковым сторонам шлицов.

**Треугольные шлицевые соединения** используют главным образом для неподвижных соединений при небольших величинах кру-

тящего момента (чтобы избежать применения прессовых посадок), а также для тонкостенных втулок. Центрирование шлицевых соединений осуществляют только по боковым сторонам шлицов.

**Методы обработки элементов шлицевых валов и втулок.** Шлицевые поверхности валов обрабатывают на горизонтально-фрезерных станках в делительных приспособлениях (рис. 1.86, а), зубофрезерных станках, специальных шлицефрезерных станках (рис. 1.86, б), а также на шлифовальных станках (рис. 1.86, в, г).

В последнее время в крупносерийном и массовом производстве шлицефрезерование вытесняется контурным шлицестроганием, шлицепротягиванием, холодным накатыванием роликами, рейками и профильными многороликовыми головками. Это объясняется тем, что применение многозаходных фрез для шлиценарезания ведет к удорожанию стоимости инструмента и не обеспечивает повышенных требований к точности шлицевых поверхностей.

В серийном производстве шлицы на валах обычно фрезеруют за две операции: вначале обрабатывают боковые стороны шлицов двумя дисковыми фрезами одновременно, а затем внутренний диаметр — профильной фрезой. В массовом производстве весь шлицевой профиль (боковых сторон и внутреннего диаметра) фрезеруют червячной фрезой на зубо- или шлицефрезерных станках.

Шлицевые валы диаметром до 30 мм обычно фрезеруют за один рабочий ход, валы больших диаметров нарезают за два рабо-

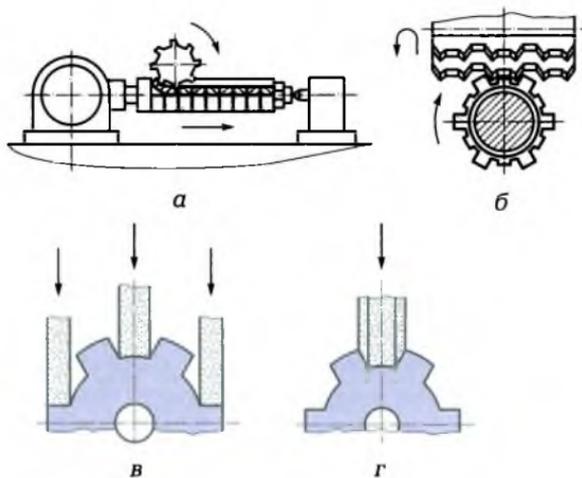


Рис. 1.86. Схемы обработки шлицевых поверхностей на горизонтально-фрезерных (а), шлицефрезерных (б), плоскошлифовальных (в) и шлицешлифовальных (г) станках

чих хода. Фрезерование червячной фрезой более производитель-  
но, чем обработка дисковыми и профильными фрезами на  
горизонтально-фрезерных станках. Шлицевые валы с короткими  
шлицами, у которых к шлицевой части близко примыкает буртик  
или ступень большего диаметра (т.е. нет выхода для фрезы), об-  
рабатывают на зубодолбежных станках с помощью специального  
долбяка.

Центровые гнезда шлицевых валов после термической обра-  
ботки обычно шлифуют коническим абразивным инструментом.

Шлифование боковых сторон шлицов и внутреннего диаметра  
шлицевого вала производят за одну или две операции. В серийном  
производстве боковые стороны и внутренний диаметр большей  
частью шлифуют за две операции на обычных плоскошлифоваль-  
ных станках с прямоугольным столом периферией шлифовально-  
го круга: сначала боковые стороны шлицов двумя кругами, затем  
внутренний диаметр одним профильным кругом (см. рис. 1.86, в).  
В массовом и крупносерийном производстве боковые стороны и  
внутренний диаметр шлифуют за одну операцию (см. рис. 1.86, г)  
на шлицешлифовальных станках.

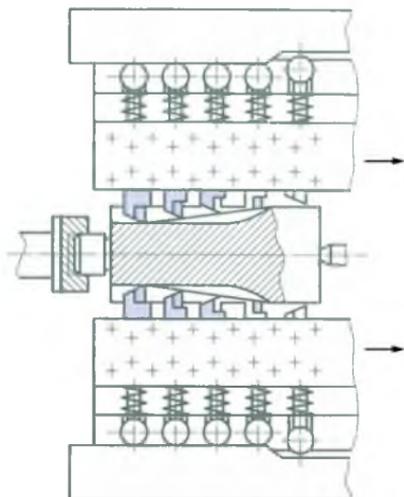
Припуск на боковую сторону шлица и внутренний диаметр со-  
ставляет от 0,1 до 0,2 мм (на сторону).

**Шлицестрогание** производят многолезвовой головкой, в ра-  
диальных пазах корпуса которой размещены профильные резцы.  
Число резцов и их профиль соответствуют числу шлицов и про-  
филю впадины обрабатываемого вала. Для строгания несквозных  
шлицов в станке предусмотрен ускоренный отвод резцов на уста-  
новленную длину обработки. Обработку шлицестроганием произ-  
водят на станке, предназначенном для обработки валов, имеющих  
длину обрабатываемой части 70...370 мм и общую длину до 435 мм.  
Диаметр обрабатываемых валов 20...50 мм. Станок допускает об-  
работку шлицевых впадин как напроход, так и с выходом на по-  
верхность наружного диаметра.

**Шлицепротягивание** прямоугольных прямобочных шлицов  
производят двумя блочными протяжками с последующим поворо-  
том (делением) заготовки (рис. 1.87). Этим методом обрабатывают  
как сквозные, так и несквозные шлицы, допускающие выход ин-  
струмента.

Блочные протяжки обеспечивают независимо друг от друга ра-  
диальное перемещение каждого зуба протяжки. Копирная линей-  
ка позволяет протягивать несквозные шлицы по заданной траек-  
тории. Протягивание прямобочных шлицов блочными протяжками  
производительнее шлицефрезерования в 5—10 раз.

Рис. 1.87. Схема шлицепротягивания



**Холодное накатывание** шлицов производят роликами, рейками, профильными многороликовыми головками. Вали с накатанными шлицами могут выдерживать более высокие нагрузки (примерно на 40%), чем обработанные резанием. В ряде случаев холодное накатывание шлицов позволяет отказаться от термической обработки шлицевых валов и шлифования шлицов.

Шлицы эвольвентного профиля с модулем до 2,5 мм получают холодным накатыванием двумя или тремя накатными роликами, которые устанавливают по размеру делительной окружности накатываемой детали с учетом упругих деформаций системы.

При накатывании осевое перемещение заготовки производят принудительно, ролики имеют заборную часть. Заготовка вращается синхронно с накатными роликами и перемещается вдоль оси накатников. Расстояние между накатниками устанавливают заранее и не меняют в процессе накатывания. Обработку заготовки под холодное накатывание роликами выполняют точнее, чем при шлицефрезеровании. Холодному накатыванию подвергают заготовки твердостью не выше 220 НВ.

Этим методом накатывают вали с большим числом шлицов (свыше 18). Чем больше число шлицов, тем плавнее идет процесс накатывания. При накатывании эвольвентных шлицов двумя-тремя роликами получают точность по шагу в пределах до 0,03 мм. При длине шлица свыше 250 мм этот метод производительнее шлицефрезерования примерно в 10 раз, при длине шлицов свыше 100 мм — в 4—7 раз.

**Холодное накатывание профильной многороликовой головкой** производится по схеме, показанной на рис. 1.88. Этот метод накатывания требует особо точного изготовления многороликовой головки. Инструментальная головка состоит из жесткого за-

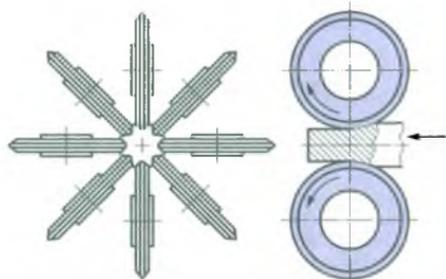


Рис. 1.88. Схема холодного накатывания шлицов профильной многороликовой головкой

каленного кольца, в котором размещены сегменты, в каждом сегменте установлено по одному профилирующему ролику (на схеме — восемь роликов), свободно вращающемуся на осях в подшипниках. Ролики регулируют и заменяют независимо один от другого. Обрабатываемую заготовку закрепляют в центрах зажимного устройства, а многороликовая головка перемещается вдоль оси неподвижной обрабатываемой детали на точно установленную длину.

Прямобоочные шлицы, полученные этим методом, имеют отклонения по ширине в пределах  $0,07 \dots 0,08$  мм.

При накатывании профильными роликами пластические деформации проникают в обрабатываемую заготовку на большую глубину. Твердость заготовок не должна превышать 220 НВ, поэтому в процессе накатывания происходит ее удлинение, вытесненный металл частично размещается на наружной поверхности детали. После накатывания наружный диаметр обработанной детали несколько увеличивается, поэтому она должна быть подвергнута наружному шлифованию.

При накатывании многороликовыми головками поверхностные слои обрабатываемой детали упрочняются на 20...30%. Стойкость инструментальной головки составляет до 100 тыс. деталей; это высокопроизводительный метод обработки, но каждая многороликовая головка предназначена для обработки только одного размера шлицов.

Многороликовой головкой можно накатывать эвольвентные шлицы, если их число не превышает 16—18; при большем числе шлицев ролики невозможно разместить в головке.

Шлицевое отверстие втулки предварительно обрабатывают сверлением и зенкованием с подрезкой торца, после чего протягивают круглое отверстие, а затем шлицы. В массовом производстве за счет удлинения протяжки протягивание цилиндрической части и шлицов иногда выполняют одновременно одной протяжкой. После чистовой обработки всех наружных поверхностей или

только тех, которые должны быть соосны с шлицевой частью детали, производят термическую обработку, а затем шлифование внутреннего диаметра шлицевой части. В качестве базы при этой операции применяют цилиндрическую поверхность, которая с наибольшей точностью должна быть соосна со шлицевой частью вала. Внутренний диаметр шлифуют на внутришлифовальных станках.

Точность шлицевых валов и втулок контролируют посредством шлицевых профильных калибров. В некоторых случаях внутренний диаметр шлицевого вала контролируют микрометром или предельными кольцами с вырезами для шлицов, а соосность внутреннего диаметра и шейки вала — индикатором.

## 1.8. ОСОБЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

**Обработка металла давлением в холодном состоянии.** В современном машиностроении наряду с обработкой металлов резанием, сопровождающимся снятием стружки, применяют ряд особых методов обработки без снятия стружки. Применение этих методов повышает производительность и точность обработки, качество и прочностные свойства поверхностей. Эти методы можно подразделить на методы обработки металлов давлением в холодном состоянии и электрические методы обработки.

К способам обработки металла давлением относятся:

- калибровка отверстий шариком и оправкой;
- обжатие или вытягивание;
- раскатка;
- обработка поверхностей гладкими роликами;
- выдавливание;
- накатывание рифлений;
- накатывание зубчатых колес;
- наклепывание поверхностей шариками;
- дробеструйное наклепывание.

**Калибровке шариком и оправкой** подвергают гладкие цилиндрические отверстия, а также отверстия с фасонным поперечным сечением. Короткие отверстия калибруют на прессах, проталкивая гладкую оправку или шарик через обрабатываемое отверстие с натягом. При калибровке возникает пластическая деформация металла, в результате которой незначительно увеличивается диаметр обрабатываемого отверстия, а также повышаются качество и твердость поверхности. Длинные отверстия калибруют протягива-

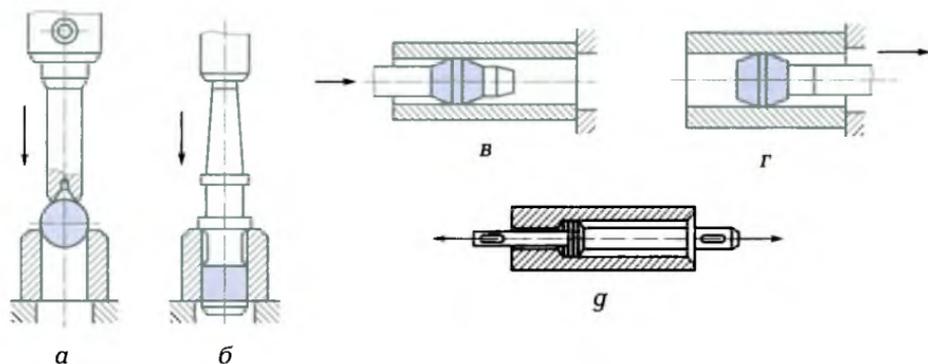


Рис. 1.89. Схемы калибровки отверстий:

*а* — проталкиванием шарика; *б, в* — проталкиванием оправки; *г* — протягиванием оправки; *д* — протягиванием оправки возвратно-поступательным движением

нием калибрующей оправки через обрабатываемое отверстие на протяжном станке.

Если обрабатываемой заготовке или калибрующей оправке придать дополнительное вращательное движение, можно калибровать участки отверстия, расположенные по винтовой линии. Несквозные отверстия калибруют оправкой, которая совершает возвратно-поступательное движение. На рис. 1.89 приведены различные схемы калибровки отверстий.

Калибровка повышает точность обработки на 30...35 %, а также исправляет погрешности обработки. Точность обработки может быть также повышена за счет двух- или трехкратной калибровки с распределением натяга между каждым переходом.

Качество калибровки во многом зависит от состояния калибруемой поверхности, так как этот вид обработки связан с пластической деформацией поверхностных неровностей, а не с их удалением. Поэтому, чтобы достигнуть хороших результатов, отверстие под калибровку следует обрабатывать растачиванием или развертыванием. В этом случае отверстия могут быть доведены калибровкой до 6-го, 7-го квалитетов точности.

Применяемые для калибровки стальные шарики обладают тем преимуществом по сравнению с оправками, что срок их использования более продолжителен, так как они имеют практически бесконечное число калибрующих поясков. Кроме того, смещение точки приложения проталкивающей силы не вызывает перекоса. Область применения шариков ограничивается их стандартными размерами.

Калибрующие оправки изготавливают цельными или сборными с поясками любых размеров.

Для повышения износостойкости калибрующий инструмент подвергают хромированию или азотированию, применяют также наплавку калибрующих поверхностей твердым сплавом.

**Формообразование деталей методом обжатия или вытягивания заготовок** является прогрессивным методом обработки, обеспечивающим по сравнению с обработкой точением и шлифованием увеличение производительности в 5—6 раз со значительной экономией металла и повышением механических свойств обработанного поверхностного слоя благодаря наклепу и созданию напряжений сжатия. Этот метод обеспечивает высокую точность обработки (6-й, 7-й квалитет) и шероховатость поверхности  $Ra$  0,63... 0,32 мкм.

Принцип формообразования наружных поверхностей заключается в последовательном обжатии заготовки. Заготовка по мере продвижения вдоль оси деформируется под действием сжимающих сил вращающихся матриц. При этом происходит «течение» металла заготовки в направлении ее движения до тех пор, пока заготовка не будет обжата до размера, соответствующего наименьшему диаметру желоба матриц.

На рис. 1.90 показан процесс обжатия цилиндрического прутка. Шпиндель 5 головки, вращающийся с определенной скоростью, имеет диаметральный паз прямоугольного сечения, по которому к центру и от центра свободно перемещаются бойки с матрицами 3. Последние, соприкасаясь во время работы своими рабочими поверхностями с металлом прутка 2, придают заготовке требуемую форму, обжимая и вытягивая ее. На внешних торцах бойков установлены опорные ролики 1. Шпиндель 5 расположен

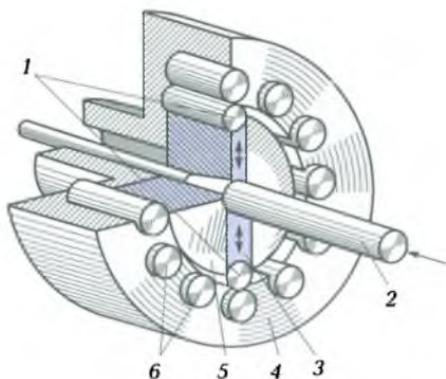


Рис. 1.90. Процесс обжатия цилиндрического прутка

внутри обоймы 4, в отверстиях которой по окружности свободно установлены ролики 6 таким образом, что их боковые поверхности частично выступают из обоймы. При вращении шпинделя с бойками и матрицами последние под действием центробежной силы отходят от центра к периферии в тот момент, когда ролики 1 находятся в пространстве между роликами 6, и сходятся к центру, когда ролики 1 натапливаются на ролики 6. При этом матрицы своими рабочими поверхностями приходят в соприкосновение с металлом заготовки, пластически деформируя его: заготовка обжимается и вытягивается.

**Метод обработки раскаткой** состоит в том, что внутрь полой заготовки вводят оправку соответствующей формы, после чего заготовку обжимают с помощью быстро вибрирующих профильных кулачков.

Станок состоит из вращающейся головки, в которой размещены четыре перемещающихся в радиальных направлениях суппортов. Суппорты снабжены криволинейными поверхностями, которыми они при вращении головки перекатываются по роликам, получая тем самым возвратно-поступательное радиальное перемещение. Головка вращается с частотой 200 мин<sup>-1</sup>. Сжимающая сила, создаваемая головкой, составляет 2 МН (200 тс); общее число сжатий заготовки 1 500 в минуту. Заготовку (пруток) перед раскаткой обтачивают по наружной поверхности с подрезкой торцов.

Сущность **обработки поверхностей гладкими роликами** заключается в том, что вращающиеся ролики, прижимаясь к обрабатываемой поверхности под давлением, сминают неровности и создают наклепанный слой, повышающий эксплуатационные свойства обрабатываемой поверхности. Схемы обработки поверхностей роликами могут быть самыми различными. Выбор той или иной схемы зависит от формы поверхности, жесткости обрабатываемой заготовки и технологического назначения обработки.

При обкатывании роликами наружных цилиндрических поверхностей их диаметр уменьшается, а при раскатывании отверстий — увеличивается. Поверхности жестких деталей обрабатывают односторонними роликовыми оправками (с одним роликом), а менее жестких — многороликовыми устройствами, которые уравновешивают действующие силы давления.

Обработку роликами обычно выполняют на универсальных станках. Так, например, обкатывание наружных цилиндрических поверхностей осуществляют на токарных, револьверных и карусельных станках, а раскатывание отверстий также на сверлильных

и горизонтально-расточных станках. Плоские поверхности обкатывают на поперечно-строгальных станках.

Основное условие получения заданной точности и шероховатости обрабатываемой поверхности — создание соответствующего давления на ролик и применение для его изготовления износостойкого материала с высокой твердостью. Так, при ширине рабочей части ролика 3 мм и диаметре ролика не более 100 мм сила давления на ролик колеблется в зависимости от обрабатываемого материала от 50 до 200 Н. Достижимая шероховатость поверхности при обкатывании составляет  $Ra$  1,25...0,32 мкм, а точность обработки 6—8-й квалификации.

В качестве материала для роликов рекомендуются инструментальные углеродистые стали, закаленные до твердости 58...65 HRC, легированные стали марок ХВГ, 5ХНЭД и др.

Ролик обычно закрепляют в резцедержателе станка или в оправке шпинделя станка и приводят во вращение. Благодаря силе трения, возникающей между роликом и обрабатываемой заготовкой, поверхность заготовки обкатывается до требуемого качества. Выбор конструктивных форм роликов зависит от технологического назначения и особенностей обрабатываемой поверхности. Так, ролики с цилиндрическим пояском применяют для обкатывания заготовок со свободным выходом по длине, ролики с закрытым радиусом — для галтелей, комбинированные формы роликов — для цилиндрических и торцовых поверхностей и т. п.

Для поддержания заданного давления процесс обкатывания регулируют и контролируют с помощью специальных тарированных пружин или гидравлических устройств. Основное технологическое время при обкатывании роликом определяется так же, как и при точении. Подача выбирается в пределах 0,1...0,2 мм/об.

При изготовлении из листового металла пустотелых деталей — тел вращения выпукло-вогнутой конфигурации, узких горловин на цилиндрических заготовках и других подобных деталей, для которых экономически нецелесообразно изготовление специальных вытяжных штампов, применяют метод обработки **выдавливанием**.

Этот метод применяют при вращательном движении заготовки, а в ряде случаев и деформирующего инструмента как на обычных (приспособленных) токарных станках, так и на станках, специализированных для этого вида обработки.

На рис. 1.91 показана схема выдавливания простым давильником с шаровой головкой.

При выдавливании на давильных станках металл заготовки утончается и наклепывается сильнее, чем при вытяжке на прес-

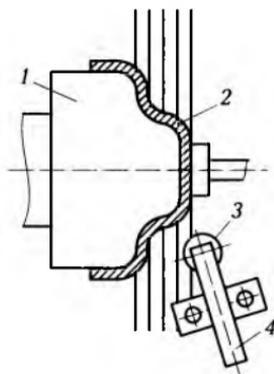


Рис. 1.91. Схема выдавливания давилником с шаровой головкой:

1 — патрон; 2 — заготовка; 3 — шаровая головка; 4 — рукоятка давилника

сах, поэтому детали, выдавливаемые за несколько операций, обычно подвергают промежуточному отжигу.

Поверхность выдавливаемых деталей часто имеет следы давилника и соответствует 6-му классу шероховатости поверхности. Для получения более высокого класса по окончании выдавливания по обработанной поверхности проходят давилником-шабером, снимающим тонкую стружку толщиной 0,05... 1 мм.

Точность выдавливания деталей обычно находится в пределах 0,001... 0,002 их диаметра.

Для **накатывания рифлений** на поверхностях цилиндрических деталей применяют плоские плашки (на разбонакатных станках) или вращающиеся цилиндрические ролики (на токарных и револьверных станках).

Плоские поверхности накатывают на поперечно-строгальных, долбежных и горизонтально-фрезерных станках свободно вращающимися роликами с принудительной подачей заготовки.

Накатывание рифлений может быть прямым, угловым и сетчатым. Выбор конструкции накатного инструмента зависит от технологического назначения и заданной формы поверхности. Прямое и угловое накатывание обычно выполняют одним, а сетчатое — двумя роликами с одновременным встречным накатыванием под углом.

На рис. 1.92 приведены виды накаток — прямых (рис. 1.92, а), сетчатых (рис. 1.92, б) и угловых (рис. 1.92, в) правого и левого рифлений. В процессе накатывания рифлений обычно происходит увеличение диаметра обрабатываемой поверхности. Необходимая глубина накатывания получается в результате нескольких последовательных рабочих ходов, число которых зависит от свойств обрабатываемого материала, заданного шага и глубины рифлений.

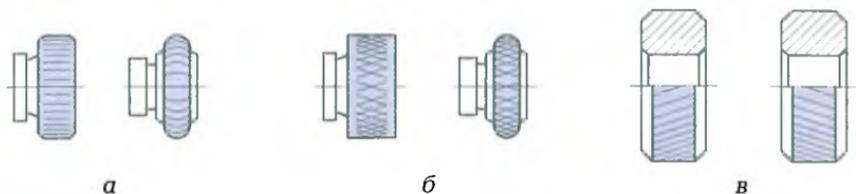


Рис. 1.92. Прямые (а), сетчатые (б) и угловые (в) накатки

Одним из производительных методов обработки зубчатых колес является **накатывание зубьев в холодном состоянии**. Этот метод обработки позволяет повысить производительность в 15—20 раз по сравнению с обычными методами нарезания зубчатых колес и обеспечивает качество поверхностей зуба как в отношении микрогеометрии, так и износостойкости.

Основным условием обработки зубчатых колес накатыванием в холодном состоянии является достаточная пластичность металла заготовки. Этому условию удовлетворяют алюминиевые и медные сплавы за исключением бронз некоторых марок, а также некоторые марки коррозионно-стойкой стали при соответствующей предварительной термической обработке.

Инструментом для накатывания зубчатых колес являются зубчатые валки, с обеих сторон которых надевают ограничительные реборды (диски), препятствующие вытеснению валками металла в осевом направлении и образованию облоя. Головка зуба валка образует ножку, а ножка зуба валка — головку зуба зубчатого колеса, что обуславливает размеры элементов зуба валков: головку зуба принимают равной 1,2 модуля, а ножку — равной модулю.

В процессе накатывания зубьев поверхностные слои металла сильно наклепываются, причем наклеп распространяется на значительную глубину. Для предотвращения износа зубонакатного инструмента зубчатых валков, а также возможного перенапряжения поверхности слоев металла заготовки целесообразно между операциями накатывания выполнять промежуточную термическую обработку заготовки — отжиг.

В технологии производства применяют несколько схем накатывания зубчатых колес:

- одним валком;
- двумя валками без заборной части;
- двумя валками с заборной частью;
- тремя валками;
- двумя рейками.

Выбор схемы накатывания в значительной степени зависит от длины образующей обрабатываемого зуба.

Мелкомодульные зубчатые колеса можно накатывать на обычных токарно-винторезных станках путем применения специального устройства с тремя неприводными зубчатыми валками, расположенными под углом  $120^\circ$  друг к другу. Этот метод обеспечивает накатывание зубчатых колес с точностью зацепления 7-й степени и с классами шероховатости поверхности  $Ra\ 1,25 \dots 0,32$  мкм.

Для повышения твердости и качества поверхности заготовки применяют **метод наклепывания шариками**. Сущность этого метода заключается в том, что обрабатываемую поверхность подвергают многократным, следующим один за другим ударам шариками. Для этого шарики помещают в гнезда диска, вращающегося с большой скоростью, в которых шарики под действием центробежной силы смещаются на определенную величину в радиальном направлении и через отверстия на периферии диска наносят удары по обрабатываемой поверхности. На рис. 1.93 приведена схема процесса наклепывания шариками наружных (рис. 1.93, а) и внутренних (рис. 1.93, б) поверхностей вала и отверстия.

Наклепывание шариками можно применять также для плоских поверхностей, а при использовании копира — и для обработки фасонных поверхностей. Этот процесс обычно осуществляют при скорости вращения диска до 25 м/с и обрабатываемой заготовки — до 90 м/мин. Для этого вида обработки применяют шлифовальные станки или приспособления, устанавливаемые на токарно-винторезном станке.

Твердость наклепанного слоя и качество обработанной поверхности зависят от силы и числа ударов шариков, приходящихся на  $1\text{ мм}^2$ , а также от исходной твердости обрабатываемого металла. Эти параметры в свою очередь зависят от скорости вращения диска (приблизительно 25 м/с) и обрабатываемой заготовки (приблизительно 30...90 м/мин), а также от расстояния принудительного отталкивания шариков (0,5...0,8 мм), размеров шарика (диаметром 7...10 мм) и др.

Поверхностная твердость наклепанного слоя повышается на 15...60 %, однако, чем выше исходная твердость материала, тем меньше эффект наклепа. Так, например, поверхностная твердость заготовки из стали 45 увеличивается на 17 %, а из стали 25 — на 45 %.

Выбор режима обработки поверхности шариками имеет существенное значение. Неправильно выбранный режим может привести к возникновению в поверхностном слое чрезмерно больших напряжений, а при обработке чугуна — даже к разрушению этого

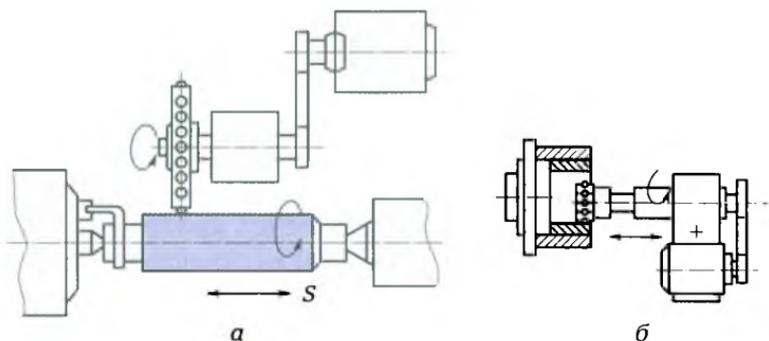


Рис. 1.93. Схемы наклепывания шариками наружных [а] и внутренних [б] цилиндрических поверхностей

слоя. Для работы шарики обычно смазывают смесью веретенного масла с керосином, а обрабатываемую поверхность — керосином.

Для повышения прочности деталей, работающих в условиях ударной нагрузки, предупреждения их растрескивания при работе в коррозионных средах, а также для повышения маслостойких свойств обработанной поверхности применяют **дробеструйное наклепывание**. Сущность этого процесса заключается в том, что обработанную заготовку подвергают многочисленным ударам дробинки из чугуна, стали, алюминия или стекла. Чугунную или стальную дробь применяют для наклепывания стальных изделий, а алюминиевую или стеклянную — для наклепывания изделий, изготовленных из цветных сплавов. Глубина наклепа обычно не превышает 1 мм. Толщина наклепанного слоя возрастает с увеличением диаметра дроби и ее скорости и снижается с увеличением твердости обрабатываемой заготовки. Твердость в результате наклепа несколько повышается. Так, у заготовок из стали 20 — на 40 %, а из стали 45 — на 20 %. Достижимая шероховатость поверхности  $Ra\ 0,63 \dots 0,32$  мкм. Эффективность дробеструйного наклепывания зависит от размера дроби (0,4... 2 мм), скорости ее движения (60... 100 м/с), угла между направлением полета дроби и плоскостью, проходящей через ось обрабатываемой поверхности, и продолжительности наклепывания (устанавливается экспериментально).

Для выполнения этой операции применяют специальное оборудование, состоящее из рабочей камеры и дробеструйного устройства.

Наибольшее распространение получили механические и пневматические дробеструйные устройства. Механическая установка

состоит из рабочей камеры, снабженной механизмами для перемещения обрабатываемой заготовки под струей дроби, и дробеструйного устройства в виде быстровращающегося ротора, снабженного лопатками, разбрасывающими дробь. В пневматической дробеструйной установке дробь выбрасывается сжатым воздухом под давлением 0,5...0,6 МПа (5...6 кгс/см<sup>2</sup>) из нескольких форсунок. Кроме этих основных рабочих органов дробеструйная установка снабжена различными (транспортирующим, очистным и специальным пылеулавливающим) устройствами, а также вентиляцией.

**Электрическая обработка.** В современном машиностроении применяют ряд методов электрической обработки заготовок. Основными из них являются следующие: электрохимический, электротермический, электроискровой, электрогидравлический, ультразвуковой, электронно- и светолучевой.

**Электрохимический метод обработки** (электрохимическое полирование металлов и анодно-химическая обработка) основан на явлениях, связанных с прохождением электрического тока через растворы электролитов.

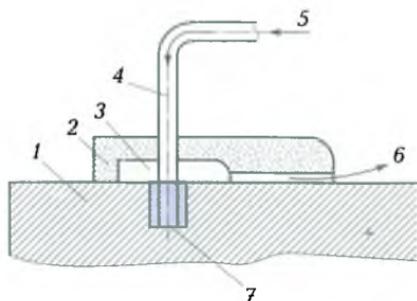
Этот метод обработки позволяет очищать поверхности обрабатываемых материалов от оксидов, ржавчины, жировых пленок и других загрязнений, а также сглаживать, доводить, шлифовать и полировать поверхности заготовки.

В процессе электрохимического полирования при анодном растворении металла, т.е. при переходе в раствор металла с поверхности электрода (анода), соединенного с положительным источником тока, на поверхности полируемой заготовки образуется вязкая пленка солей, защищающая микровпадины полируемой поверхности от действия тока, но не препятствующая растворению выступов. Интенсивность съема металла составляет 3...10 мкм/мин, длительность процесса зависит от заданного съема: для черных и цветных металлов 4...10 мин, для легких сплавов 3...5 мин. Достижимая точность обработки в пределах 6—8-го качественных, шероховатость поверхности в пределах  $Ra$  2,5...0,16 мкм.

Если на режущей кромке инструмента создать повышенную плотность тока и этим самым усилить процесс растворения этого участка, возможно электрохимическое затачивание режущего инструмента. На рис. 1.94 схематически показано прошивание отверстия электрохимическим методом. Если между торцом латунной трубки 4 (катодом) и поверхностью обрабатываемой заготовки 1 (анодом) создать местную электролизную ванну 3, то можно осуществить анодное растворение участка, ограниченного труб-

Рис. 1.94. Схема прошивания отверстий электрохимическим методом:

1 — заготовка (анод); 2 — прижим; 3 — электролизная ванна; 4 — латунная трубка (катод); 5 — подвод электролита; 6 — возврат электролита; 7 — отверстие



кой, т. е. произвести электрохимическое прошивание отверстия 7. Прошивание протекает при большой интенсивности съема металла с производительностью 500... 2000 мкм/г и обеспечивает шероховатость поверхности в пределах  $Ra$  2,5... 1,25 мкм.

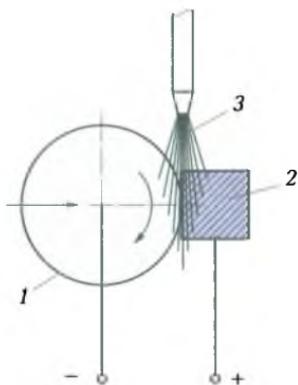
По этому же принципу, изменяя форму и размер катодной трубки, можно получать отверстия различных форм и размеров.

**Анодно-механическая обработка** основана на растворении поверхности анода с образованием пленок, которые удаляют механическим путем — путем движения металлического катода. На этом принципе, например, построена анодно-механическая резка металла (рис. 1.95). При движении катода 1 (диска или ленты), соприкасающегося под давлением через образующуюся пленку с поверхностью разрезаемого металла (анода) 2, происходит направленное разрушение металла в результате совместного действия электрохимического и электротермического тока 3, проходящего между разрезаемым материалом и диском в среде водного раствора жидкого стекла. При разрезании интенсивность съема металла составляет 2000... 6000 мм<sup>3</sup>/мин, точность обработки — 11-й kvalitet, шероховатость поверхности в пределах  $Ra$  2,5... 1,25 мкм.

При **анодно-механическом долблении** направленное разрушение металла осуществляется также под действием электрохимического и электротермического тока, причем катодом является инструмент, представляющий негативную форму обрабатываемой поверхности, а анодом — обрабатываемый металл. При этом методе обработки съем металла составляет 50... 250 мм<sup>3</sup>/мин, точность обработки 6—9-й качества и шероховатость поверхности  $Ra$  2,5... 1,25 мкм.

Анодно-механической обработкой можно выполнять также **отгелочное и притирочное шлифование**. В этом случае процесс заключается в механическом удалении пленок, образующихся на поверхности обрабатываемой заготовки (анода) при прохождении

Рис. 1.95. Схема анодно-механической резки металла



тока между его поверхностью и пластинкой (катодом), помещенной в электролит. Инструмент, удаляющий пленку, является электронейтральным. Интенсивность съема металла составляет  $2 \dots 6 \text{ мм}^3/\text{мин}$ , точность обработки 6-й, 7-й квалитеты, шероховатость поверхности  $Ra 0,32 \dots 0,16 \text{ мкм}$ .

**Электротермический метод обработки** основан на свойстве электрического тока выделять теплоту при прохождении по замкнутой цепи. Так как степень тепловыделения пропорциональна сопротивлению цепи, на участках сопротивления может быть достигнута высокая температура. В местах контакта электрический ток может разогревать, размягчать и даже плавить металл.

Используя этот принцип, можно сглаживать поверхность, удалять металл, наносить его на поверхность, прошивать отверстия, прорезать пазы, а также затачивать режущий инструмент. Для регулирования хода процесса можно применять искусственное охлаждение или изменять скорость перемещения инструмента.

Этим же методом можно производить наплавку, нанося слой металла на заготовку путем плавления электродной проволоки теплотой, выделяющейся при контакте электрода с заготовкой.

**Электроискровой метод обработки** основан на разрушении металла в результате импульсного разряда между поверхностями обрабатываемой заготовки и электрода. Так как преимущественно разрушается анод (обрабатываемый металл), по форме и размерам разрушенный участок соответствует катоду (электроду). Это свойство успешно используют для выполнения отверстий, диаметр которых составляет доли миллиметра, а также для резки металла, прорезки узких пазов, фигурной резки, формообразования режущих кромок, гравирования и других подобных операций. Отверстия обычно обрабатывают в масляной или керосиновой среде, а упрочнение инструмента и деталей производят в воздушной среде.

На рис. 1.96 приведена схема установки для электроискрового прошивания отверстий. Импульсы электрического разряда, возникающие между торцом электрода 3 и поверхностью заготовки 1, разрушают металл заготовки, образуя отверстие, соответствующее

шее форме электрода. Малые отверстия прошивают при обязательной вибрации электрода или заготовки, необходимой для удаления образующихся отходов. Направление инструмента (электрода) определяет кондуктор 4, изготовленный из материала, не проводящего ток. Обработку осуществляют в жидком диэлектрике или в специально обработанной воде 2 при питании от источника тока 5.

Поверхности сложной формы обрабатывают этим методом с точностью до 8-го, 9-го квалитетов и шероховатостью поверхности до  $Ra\ 2,5 \dots 1,25$  мкм. Производительность обработки отверстий диаметром 0,15 мм на глубину 3 мм составляет 1,5 мин.

**Электрогидравлический метод обработки** в последнее время получил большое распространение, он основан на возбуждении импульсного высоковольтного разряда в среде жидкости. В результате этих импульсов возникает сверхвысокое давление жидкости также в виде импульсов, при фокусировании которых на заданный участок поверхности производится обработка. Мощность и длительность импульсов определяются параметрами электрической схемы. Этот метод применяют для наклепа поверхностей металлических заготовок, прошивания отверстий в неметаллических хрупких материалах и т. п.

**Ультразвуковой метод** применяют в настоящее время для обработки твердых и хрупких материалов (например, стекла, рубина, алмаза, керамики, карбида вольфрама и др.), с большим трудом обрабатываемых обычными методами.

Использование ультразвуковых колебаний для обработки твердых и хрупких материалов основано на создании высокой скорости изнашивания обрабатываемого материала при контакте вибрирующего инструмента и абразивов (в виде пасты, водной или масляной суспензии) с местом обработки. Инструмент изготавливают преимущественно из пластичного металла, в который абразивные частицы внедряются без его существенного изнашивания. Таким образом, стержень инструмента (вибратор) служит только для направления, а резание производят абразивным материалом. Чтобы соз-

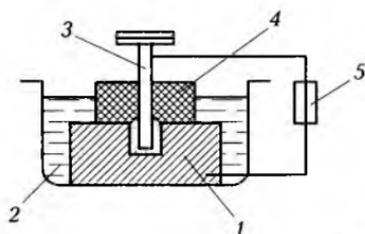


Рис. 1.96. Схема установки для электроискрового прошивания отверстий

дать надлежащий контакт, вибратор прижимают к головке. Однако его чрезмерное давление на заготовку приводит к затуханию колебаний, в результате чего скорость резания уменьшается.

На рис. 1.97 приведена схема ультразвуковой обработки. Инструмент 2 совершает продольные колебания с частотой 16 000... 25 000 Гц и амплитудой 0,02... 0,06 мм. Инструмент изготавливают из конструкционной стали, по профилю он соответствует форме обрабатываемого отверстия.

В зону обработки, т. е. в зазор между колеблющимися с ультразвуковой частотой рабочим торцом инструмента 2 и заготовкой 1, с помощью насоса 6 подают абразивный порошок, взвешенный в воде (в качестве абразива, как правило, применяют карбид бора). Источником колебаний инструмента является магнитострикционный вибратор 3, в котором электрические колебания мощного электронного генератора 4 преобразуются в механические. Магнитострикционная деформация торца вибратора небольшая — 5...10 мкм. Для увеличения амплитуды в 2—5 раз применяют трансформаторы скорости или акустические концентраторы 5. К узкому сечению концентратора крепят инструмент. В процессе обработки инструмент должен непрерывно перемещаться по направлению к заготовке. При обработке глухих отверстий инструмент необходимо периодически поднимать для заполнения полости свежим абразивом и удаления продуктов резания. При обра-

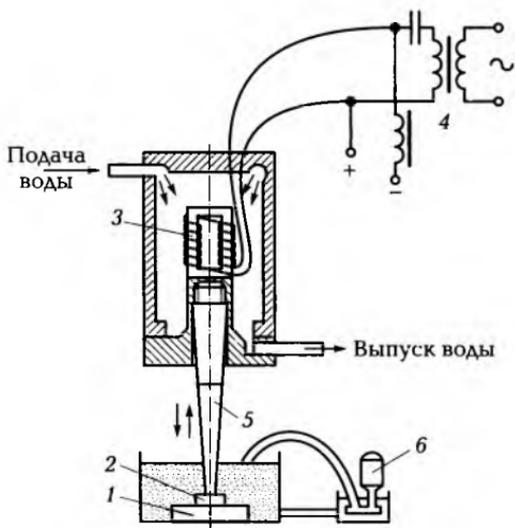


Рис. 1.97. Схема ультразвуковой обработки

ботке заготовок из электропроводящих материалов предварительную обработку для снятия большей части материала целесообразно производить электроискровым методом, а чистовую обработку для получения шероховатости поверхности  $Ra$  2,5... 1,25 мкм — ультразвуковым методом.

Производительность ультразвуковой обработки зависит от свойств обрабатываемого материала, амплитуды и частоты колебаний инструмента, вида и зернистости абразивного материала, размеров обрабатываемой площади, конфигурации обрабатываемой поверхности и величины давления (статического) между инструментом и заготовкой.

Существующие модели ультразвуковых станков позволяют обрабатывать отверстия диаметром 0,15... 90 мм при максимальной глубине обработки 2—5 диаметров с точностью обработки для твердых сплавов 0,01 мм.

Ультразвуковой метод может быть применен при изготовлении твердосплавных штампов для чеканки рельефов (например, медалей), в этом случае вибрирующий инструмент должен иметь рельеф детали.

**Метод обработки электронным лучом** (электронная бомбардировка) — высокопроизводительный метод обработки твердых материалов. Практика применения электронного микроскопа позволила установить возможность использования энергии концентрированного электронного луча для обработки твердых материалов методом расплавления. В безвоздушной камере образуется электронный луч с частотой от 1 до 3 000 Гц и продолжительностью импульсов от 0,01 до 0,00005 с при скорости электронов примерно 115 000... 165 000 км/с. Температура в зоне обработки зависит от количества удаляемого металла и его термических и химических свойств, механические свойства металла на время обработки влияния не оказывают.

Электронно-лучевая установка состоит из источника питания, вакуумной аппаратуры, блока программного управления и электронно-оптической трубки. Для образования эмиссии электронов и электронного луча служит источник питания, который осуществляет накал катода. Вакуумная аппаратура, состоящая из механического и диффузионного масляного насосов, создает глубокий вакуум, без которого обработка материалов этим способом невозможна. Блок программного управления служит для автоматизации обработки электронным лучом.

В электронно-оптической трубке (рис. 1.98) находятся источник электронного луча — так называемая электронная пушка 1,

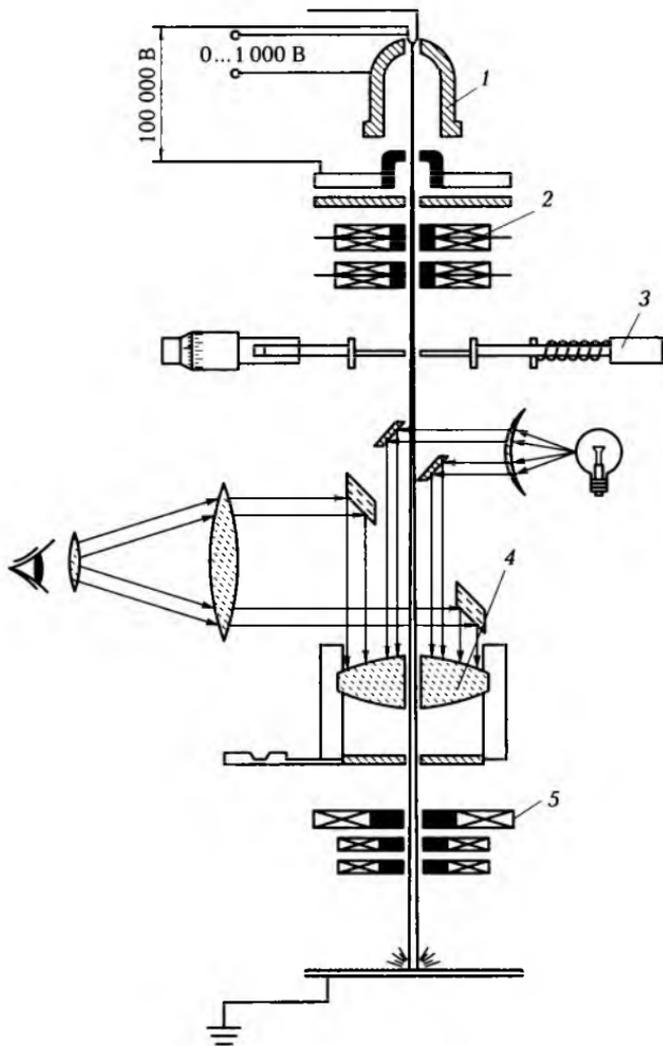


Рис. 1.98. Устройство электронно-оптической трубки

импульсный генератор 2, электромагнитное регулирующее устройство 3, магнитно-фокусирующая линза 4 и электромагнитное отклоняющее устройство 5. Импульсный генератор 2 обеспечивает в целях ограничения зоны нагрева прерывистость электронного луча, а электромагнитное регулирующее устройство 3 его стабилизирует.

Магнитно-фокусирующая линза 4 предназначена для фокусирования луча до диаметра менее 0,5 и даже 0,01 мм посредством

бесступенчатого регулирования фокусного расстояния, а электромагнитное отклоняющее устройство 5 — для перемещения электронного луча по обрабатываемой поверхности.

Производительность обработки электронным лучом значительно выше, чем при прочих методах обработки; так, для обработки паза шириной 0,005 мм и длиной 3 мм в пластине из стали толщиной 0,5 мм необходимо 29...30 с. Стальные листы толщиной до 1 мм режут электронным лучом со скоростью 1 200 мм/мин.

Электронным лучом в настоящее время обрабатывают отверстия диаметром до 0,001 мм в изделиях точного приборостроения, а также фрезеруют сложные профили.

Электронный луч применяют для очистки поверхностей деталей, изготовленных из таких материалов, как тантал, молибден, цирконий, ниобий, титан и вольфрам, а также для сварки некоторых сплавов.

**Метод обработки световым лучом** основан на использовании электромагнитных колебаний светового диапазона, получаемых с помощью квантово-оптических генераторов (лазеров). Этими электромагнитными колебаниями можно управлять, их можно фокусировать в очень тонкие пучки, измеряемые единицами угловых минут (приблизительно 30'), они обладают высокой когерентностью, т.е. колебания в излучаемом свете имеют практически одну фазу и частоту. Направленный когерентный световой луч обладает огромной световой и тепловой энергией.

На рис. 1.99 приведена схема обработки лучом лазера с квантово-опти-

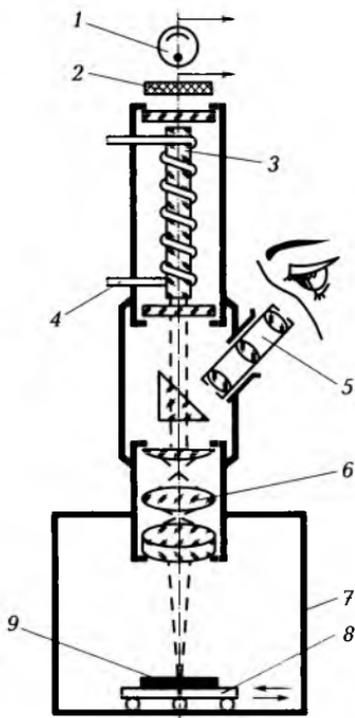


Рис. 1.99. Схема обработки лучом лазера с квантово-оптическим рубиновым генератором:

1 — фотоэлемент для регулирования световой энергии; 2 — фильтр; 3 — рубиновый стержень; 4 — лампа накачки; 5, 6 — оптическая система; 7 — рабочая камера; 8 — механизм подачи; 9 — обрабатываемая деталь

ческим рубиновым генератором. Рубиновый стержень 3 представляет собой кристалл корунда (оксид алюминия), где часть атомов алюминия (примерно 0,05 %) заменена атомами хрома.

Торцы рубинового стержня шлифуют и полируют так, чтобы они были плоскопараллельными, а затем серебрят. Когда свет, возбуждаемый лампой накачки, проходит вдоль стержня, он попеременно отражается от зеркальных торцов. Генерирование световых колебаний производится разрядами конденсаторной батареи на лампу накачки. При этом свет достигает большой интенсивности, определяемой также числом возбужденных атомов хрома. Для вывода светового луча одно из зеркал изготавливают частично прозрачным.

Исходящий из оптического генератора луч обладает большой направленностью, его можно далее сфокусировать до диаметра, не превышающего 0,01 мм. При этом точка, в которую направлен световой луч, разогревается до десятков тысяч градусов и материал испаряется. Возможности применения рассматриваемого метода весьма многообразны. В качестве примера можно привести сверление отверстий диаметром 0,01 ... 0,3 мм в материале толщиной 0,1 ... 5 мм при шероховатости поверхности 5-го, 6-го классов за время менее 20 с. Данный метод позволяет прошивать отверстия и щели в любом материале (алмаз, рубин, тантал и др.). Мощный световой луч можно использовать также для сварки на расстоянии в труднодоступных местах машин и приборов, пайки и сварки тонких деталей современных микросистемных изделий и т. д.

## 1.9. БАЛАНСИРОВКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Вследствие неоднородности материала детали, погрешностей заготовки и механической обработки, а также погрешностей сборки (в результате перекоса или смещения сопряженных деталей) появляется **неуравновешенность** деталей и сборочных единиц машины.

Различают три вида неуравновешенности:

- статическую — смещение центра тяжести детали (под действием силы тяжести  $P$ ) относительно оси ее вращения на величину  $r$  (рис. 1.100, а);
- моментную — действие неуравновешенных масс металла, приведенных к паре сил  $Q$ , действующих в одной

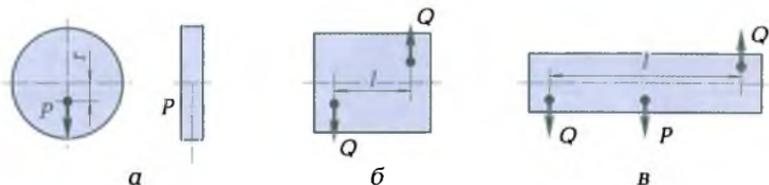


Рис. 1.100. Статическая (а), динамическая (б) и смешанная (в) неуравновешенность деталей

плоскости в противоположных направлениях, с плечом  $l$  (рис. 1.100, б);

- динамическую, при которой может быть одновременно смещение центра тяжести детали относительно оси ее вращения и действие неуравновешенных масс (рис. 1.100, в).

Первый вид неуравновешенности характерен для деталей небольшой длины  $L$  при значительном диаметре  $d$ , когда  $L/d < 1$ , а второй и третий — при отношении  $L/d > 1$ .

Для устранения неуравновешенности применяют балансировку, которая заключается в нахождении величины и направления неуравновешенности и компенсации этой неуравновешенности путем снятия или добавления металла в соответствующем месте детали. После балансировки не допускаются никакие виды обработки детали (за исключением в некоторых случаях полирования или суперфиниширования отдельных поверхностей).

Балансировка вращающихся деталей является ответственной технологической операцией, так как неуравновешенные массы в современных быстроходных конструкциях могут привести к вибрациям, нарушающим нормальную эксплуатацию механизма или машины.

**Статическая балансировка** производится следующим образом (рис. 1.101, а). Балансируемую деталь 1, надетую на специальную оправку 2, устанавливают на две горизонтальные параллельные призмы 3.

Неуравновешенность детали выявляют, прокатывая ее по указанным призмам. При совпадении центра тяжести детали с ее осью деталь будет неподвижна в любом своем угловом положении на призмах. В случае неуравновешенности «тяжелая» сторона А детали (рис. 1.101, б) будет стремиться занять наиболее низкое положение. Закрепляя груз на противоположной стороне детали,

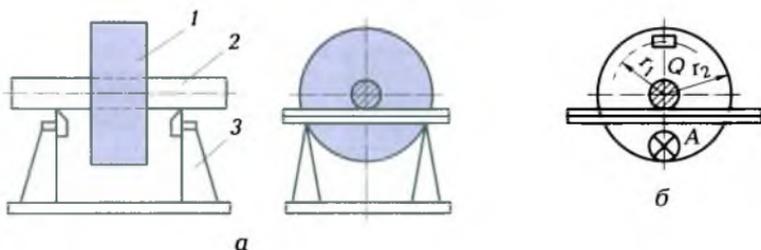


Рис. 1.101. Схемы статической балансировки (а, б)

можно уравновесить деталь. Вместо прикрепления груза с «легкой» стороны детали можно применить ее высверливание с более «тяжелой» стороны. Количество массы  $Q_1$  металла, которое нужно снять с более «тяжелой» стороны на расстоянии  $r_1$  от оси вращения, может быть определено по формуле

$$Q_1 = Q r_1 / r_2,$$

где  $Q$  — масса детали;  $r_1$  — величина смещения центра тяжести;  $r_2$  — радиус детали.

При статической балансировке иногда вместо призм применяют шлифованные стержни (при балансировке деталей с небольшой массой) или шарики (при балансировке маховиков).

**Динамическая балансировка** производится при вращении балансируемой детали. При такой балансировке обеспечивается совпадение оси вращения детали с главной осью инерции всей системы. Динамическая неуравновешенность вызвана неправильным распределением массы металла по длине детали. Если в детали имеются две точки сосредоточения неуравновешенных масс, расположенные по обе стороны оси вращения, центробежные силы создают пару сил  $Q_1$  с моментом

$$M = (Q_1/g)r_1\omega^2l_1,$$

где  $g$  — ускорение свободного падения;  $r_1$  — смещение неуравновешенных масс относительно оси вращения;  $\omega$  — частота вращения;  $l_1$  — расстояние между точками сосредоточения неуравновешенных масс.

При этом центр тяжести детали находится на оси вращения и неуравновешенность при статической балансировке не обнаруживается.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Перечислите методы обработки наружных поверхностей тел вращения.
2. Какие основные технологические схемы токарной обработки наружных поверхностей тел вращения вы знаете?
3. Перечислите виды токарных автоматов и полуавтоматов, которые применяют при обработке тел вращения.
4. На какие группы подразделяют станки для наружного шлифования тел вращения?
5. Перечислите виды отделочной обработки наружных поверхностей деталей типа тел вращения.
6. Какие методы обработки отверстий вы знаете?
7. Назовите основные виды станков для обработки отверстий.
8. Дайте определение понятия «протягивание». Какие виды протягивания вы знаете?
9. Какие виды резьбы вы знаете?
10. Какие критерии используются для выбора метода обработки плоских поверхностей?
11. Дайте классификацию сложных поверхностей.
12. Перечислите методы обработки шлицевых и шпоночных пазов.
13. Укажите методы обработки зубчатых соединений.
14. Перечислите методы обработки фасонных поверхностей.
15. Какие особые методы обработки деталей, применяемые в машиностроении, вы знаете?
16. Расскажите о критериях выбора особых методов обработки деталей.

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

## 2.1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

**Назначение и технические условия на изготовление корпусных деталей.** Корпусные детали предназначены для размещения в них сборочных единиц и деталей. Корпусные детали должны обеспечивать постоянство точности относительного положения деталей и механизмов как в статическом состоянии, так и при эксплуатации машины, поэтому они должны обладать достаточной жесткостью.

**Конструктивные особенности и точность изготовления.** Так как к корпусным деталям прикрепляют сборочные единицы, агрегаты и отдельные детали, то их базовые поверхности должны быть точными, а сами корпуса — прочными и жесткими, чтобы обеспечивалась неизменность взаимного положения всех присоединенных элементов в течение всего ресурса машины. Многообразие машин определяет все многообразие форм корпусных деталей. В укрупненном плане корпусные детали можно условно подразделить на следующие группы:

- коробчатого типа;
- сложной пространственной формы;
- совершающие возвратно-поступательное или вращательное движение (подвижные);
- открытые типа крышек, плит, поддонов;
- цельные или составные (разборные) и др.

Базовые поверхности корпусов, служащие для прикрепления к ним других элементов конструкции машины, в большинстве случаев имеют плоскую и цилиндрическую форму. На этих поверх-

ностях могут располагаться вспомогательные базирующие поверхности — поверхности отверстий и плоскостей. Отверстия корпусных деталей подразделяют на основные (точные) и вспомогательные. Основные отверстия служат опорами валов и подшипников, вспомогательные предназначены для монтажа болтов, масленок и др.

К корпусным деталям предъявляют требования по точности, прочности, жесткости, износостойкости, минимальным деформациям при переменной температуре, герметичности, удобству монтажа и демонтажа деталей. Требованиями по точности являются изготовление диаметров основных отверстий под подшипники с полем допуска  $H7$  и  $Ra\ 1,6 \dots 0,4$  мкм, допуск соосности отверстий, который задают в пределах половины поля допуска на диаметр меньшего отверстия, допуск конусообразности и овальности не более  $0,3 \dots 0,5$  поля допуска на соответствующий диаметр.

Допуск параллельности осей отверстий составляет  $0,02 \dots 0,05$  мм на 100 мм длины. Сопрягаемые поверхности имеют отклонения от прямолинейности  $0,05 \dots 0,2$  мм на всей длине и  $Ra\ 1,6 \dots 0,8$  мкм. Поверхности скольжения допускают отклонения от плоскостности  $0,02 \dots 0,05$  мм на 1 000 мм и  $Ra\ 0,8 \dots 0,4$  мкм. Допуск перпендикулярности торцовых поверхностей осей отверстий не более  $0,01 \dots 0,05$  мм на 100 мм радиуса торца и  $Ra\ 0,8 \dots 0,4$  мкм. У разъемных корпусов несовпадение осей отверстий с плоскостью разъема допускается в пределах  $\pm 0,2$  мм.

**Материал и способы получения заготовок.** Заготовки корпусных деталей в большинстве случаев изготавливают из серого чугуна, ковкого чугуна, цветных сплавов. Заготовки корпусных деталей, работающих в условиях вибраций, ударных нагрузок, скручивающих и изгибающих моментов, выполняют из стали, а работающих в условиях агрессивной среды изготавливают из коррозионно-стойких сталей марок 3Х13, 3Х18Н10Т и др. Для сварных корпусных деталей применяют низкоуглеродистые стали Ст3, Ст4. Заготовки корпусных деталей изготавливают литьем, сваркой и штамповкой. Литые заготовки получают литьем в землю, оболочковые формы и кокиль, для мелких деталей используют литье по выплавляемым моделям. Литье в кокиль или в металлические формы применяют для получения заготовок из цветных сплавов.

Литье под давлением используют для получения из алюминиевых сплавов заготовок сложной формы с отверстиями, внутренними и наружными резьбами. Этот способ позволяет получать точность размеров по 12-му качеству. Заготовки, полученные литьем и сваркой, подвергают термической обработке.

**Обработка корпусных деталей.** Процесс обработки корпусной *детали* определяется выбором баз и размерными связями между различными поверхностями. Корпусные детали базируют, выдерживая принципы постоянства и совмещения баз. При их изготовлении наиболее часто используют два способа базирования: по трем плоскостям, образующим координатный угол; по плоскости и двум отверстиям, обработанным по качеству H7 с посадкой на два установочных пальца приспособления.

На первой операции заготовку устанавливают на необработанные поверхности, стремясь достичь правильного положения обрабатываемой одной или нескольких поверхностей, предназначенных для использования в качестве технологических баз на большинстве дальнейших операций. На этой операции стремятся обеспечить правильное распределение припусков на обработку на поверхностях, подлежащих обработке на последующих операциях. Часто на первой операции заготовку базируют по двум основным отлитым отверстиям, если они имеют достаточные диаметральные размеры. Такой способ базирования обеспечивает снятие равномерного припуска при последующей обработке основных отверстий. Для базирования используют самоцентрирующие оправки или специальные приспособления.

**Маршрут обработки корпусной детали** включает в себя следующие основные этапы:

- обработку поверхностей, используемых в качестве технологических баз при последующей обработке;
- обработку взаимосвязанных плоских поверхностей;
- обработку основных и крепежных отверстий;
- отделочную обработку плоских поверхностей;
- отделку основных отверстий.

Каждый из этапов состоит из нескольких операций в зависимости от вида обрабатываемых поверхностей и требований по точности. В некоторых случаях между черновой и чистовой обработкой в маршрут включают старение.

Установку и выверку заготовки на столе станка или на спутнике осуществляют с использованием специальных приспособлений.

Для **обработки наружных плоскостей корпусных деталей** применяют строгание, фрезерование, точение, шлифование и протягивание.

В зависимости от характера и расположения обрабатываемых поверхностей, масштаба выпуска деталей используют консольно-

фрезерные, продольно-фрезерные (многошпиндельные), карусельно-фрезерные, барабанно-фрезерные станки, станки с ЧПУ и многоцелевые станки. В автоматических линиях применяют агрегатно-фрезерные станки. Продольно-фрезерные станки общего назначения используют для чернового и чистового фрезерования в мелкосерийном производстве.

В среднесерийном и крупносерийном производстве обработку ведут набором фасонных или стандартных фрез на специализированных многошпиндельных продольно-фрезерных станках. На барабанно-фрезерных станках (рис. 2.1) обрабатывают одновременно две параллельные плоские поверхности заготовок 1 и 2 предварительно и окончательно.

Плоскости фрезеруют на карусельно-фрезерных станках (рис. 2.2) при непрерывном вращении стола с переключением деталей попарно. Черновую и чистовую обработку выполняют последовательно двумя фрезами. На автоматических линиях плоские поверхности обрабатывают торцовыми фрезами с использованием агрегатных продольно-фрезерных автоматов с одной или двух сторон одновременно. Двухшпиндельные фрезерные головки 4 (рис. 2.3) перемещаются влево до упора 1, осуществляя последовательно черновую и чистовую обработку заготовки 3, которая зафиксирована в рабочей позиции. Конвейер 2 подает следующую заготовку, при этом головки 4 перемещаются в исходное положение. Затем цикл обработки повторяется. Фрезерованием за два рабочих хода (черновой и чистовой) достигают точности 10-го качества и шероховатости  $Ra\ 3,2 \dots 1,6$  мкм.

Шлифование производят на плоскошлифовальных станках периферией круга, торцом чашечного и сборного сегментного кру-

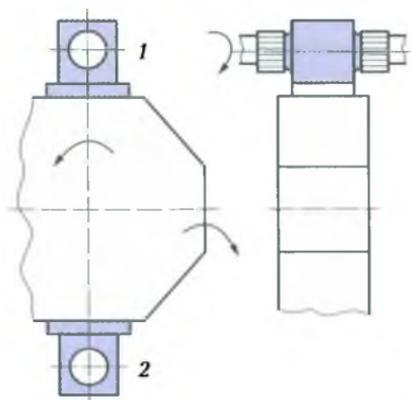


Рис. 2.1. Схема обработки на барабанно-фрезерном станке двух параллельных плоскостей

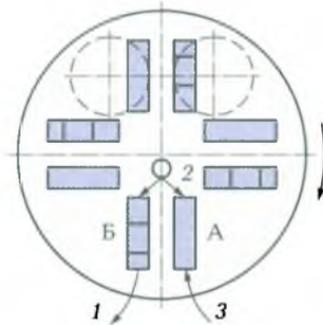


Рис. 2.2. Схема обработки на карусельно-фрезерном станке двух поверхностей заготовки с переустановкой заготовок:

1 — съем заготовок; 2 — переустановка заготовок из позиции А в позицию Б; 3 — установка заготовки, подлежащей обработке

гов. Плоское силовое шлифование маловосприимчиво к литейным коркам и прерывистым поверхностям, поэтому заготовки можно шлифовать без предварительной обработки фрезерованием или строганием при сравнительно малых припусках (3...5 мм).

В массовом производстве широко используют протягивание наружных поверхностей жестких деталей, его применяют для черновой и чистовой обработки, а также для зачистки и калибрования. Протягивание высокопроизводительно и его выполняют на мощных и быстроходных протяжных станках протяжками из твердых сплавов со скоростью резания до 60 м/мин. Протяжные станки горизонтального и вертикального типов, однопозиционные и многопозиционные встраивают в автоматические линии. При высоких требованиях к точности и шероховатости поверхностей вводят отделочную операцию, тонкое шлифование или фрезерование. В мелкосерийном производстве базовые поверхности шабрат.

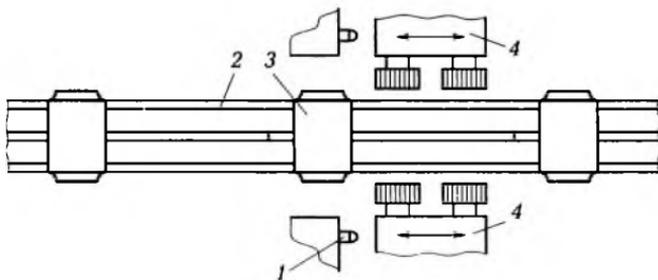


Рис. 2.3. Схема обработки корпусной детали на автоматической линии

Для **обработки основных отверстий** применяют сверла, резцы, зенкеры, расточные головки, расточные пластины и развертки. Для отделочной обработки используют также шариковые или роликовые раскатки. Сверла применяют для предварительного сверления отверстий в сплошном материале. Отверстия диаметром более 30 мм, как правило, получают литьем. При сверлении по кондуктору достигают точности диаметрального размера по квалитетам Н11, Н12.

Отверстия в отливках в условиях единичного и мелкосерийного производства растачивают резцами; эта обработка обеспечивает правильное положение оси отверстия. Резцы применяют в резцовых головках и резцовых блоках для обработки отверстий большого диаметра. Зенкеры используют для черновой обработки литых отверстий, для получистовой обработки отверстий после сверления или растачивания резцом. Для отверстий, точность которых не выше квалитета Н10, зенкер можно использовать для окончательной обработки. Шероховатость поверхности при зенкерования  $Ra$  1,6 мкм и более.

Основные отверстия большого диаметра (100 мм и более) обрабатывают многорезцовыми расточными головками, оснащенными пластинами из твердого сплава, они позволяют при повышенных режимах снимать большой припуск за минимальное число рабочих ходов и являются самым производительным инструментом. Чистовую обработку по квалитетам Н6—Н10 отверстия диаметром до 400 мм осуществляют в большинстве случаев развертыванием. Используют развертки, оснащенные пластинами из твердого сплава.

Отверстия квалитетов Н8 и Н9 получают путем однократного развертывания, а отверстия квалитета Н7 — двукратного развертывания. Обработку отверстий квалитета Н6 развертыванием осуществляют вручную разверткой с доведенными режущими кромками и СОЖ. При этом получают шероховатость поверхности  $Ra$  0,8 мкм и более.

Припуски под черновое развертывание оставляют до 0,5 мм на диаметр, под чистовое — 0,07...0,15 мм. В серийном и массовом производстве широко используют расточные блоки и плавающие пластины для обработки отверстий (чернового и чистового растачивания) диаметром до 600 мм. По сравнению с однорезцовым растачиванием при обработке расточными блоками или пластинами радиальные составляющие сил резания уравновешены, что исключает изгиб оправки. Точность обработки обеспечивается по квалитету Н7 и шероховатости  $Ra$  0,63 мкм и более. Торцовые поверхности отвер-

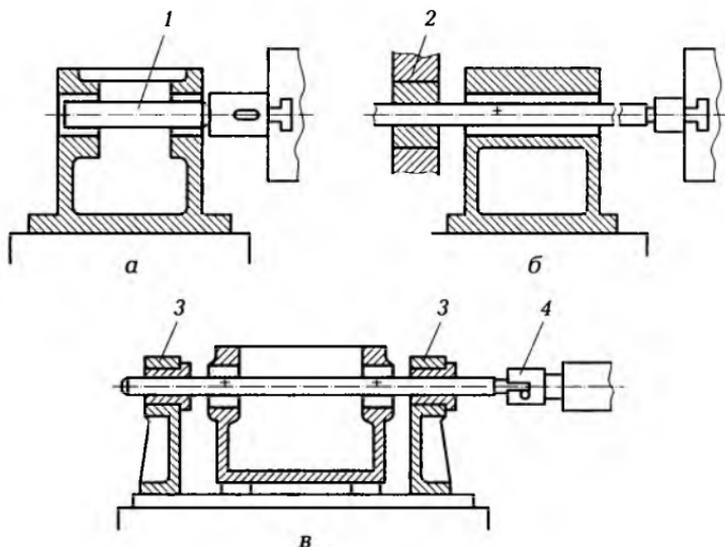


Рис. 2.4. Схемы растачивания отверстий на горизонтально-расточных станках оправкой (а), борштангой (б) и в специальных приспособлениях (в)

стей обрабатывают подрезными резцами и торцовыми зенкерами. Подрезку торцов осуществляют также резцом или фрезой.

Обработку основных отверстий выполняют на горизонтально-расточных, координатно-расточных, вертикально-расточных, карусельных, агрегатных, многоцелевых станках и станках с ЧПУ. Точность межосевых расстояний, параллельность и перпендикулярность осей, соосность отверстий обеспечивают их обработкой с одного установа.

В единичном и мелкосерийном производстве при растачивании основных отверстий на горизонтально-расточных станках используют три основных способа:

- обработку консольными оправками 1 (рис. 2.4, а);
- обработку борштангами с использованием опоры задней стойки 2 (рис. 2.4, б);
- обработку в специальных приспособлениях 3 с шарнирным соединением расточных оправок со шпинделем станка 4 (рис. 2.4, в).

Подачу при каждом из этих способов осуществляют шпинделем или столом. Консольная обработка проще, но обеспечивает меньшую точность по сравнению с другими двумя способами.

Длина оправки и длина выступающей части шпинделя при консольном растачивании не должна превышать  $(5...6)d$ , где  $d$  — диаметр оправки. При консольном растачивании подачу предпочтительнее осуществлять перемещением стола станка, так как при подаче шпинделем увеличивается вылет оправки и снижается жесткость технологической системы, что приводит к появлению погрешности размеров и формы отверстия. Растачивание борштангами с использованием опоры задней стойки применяют для растачивания длинных отверстий в крупных деталях, что связано с большими затратами вспомогательного времени на установку и выверку борштанги.

Точность межосевых расстояний и точность положения осевых отверстий относительно баз достигают растачиванием. Координатное растачивание на горизонтально-расточных станках осуществляют за один установ заготовки. При растачивании совмещение оси шпинделя с осью каждого из обрабатываемых отверстий выполняют перемещением шпиндельной бабки в вертикальном, а стола в горизонтальном направлениях в соответствии с заранее рассчитанными координатами (рис. 2.5). Этот метод используют при обработке на станках с ручным управлением и станках с ЧПУ. При такой обработке достигается точность межосевых расстояний  $\pm 0,02$  мм. Растачивание отверстий координатным методом выполняют также на координатно-расточных станках. Эти станки отличаются повышенной точностью, имеют

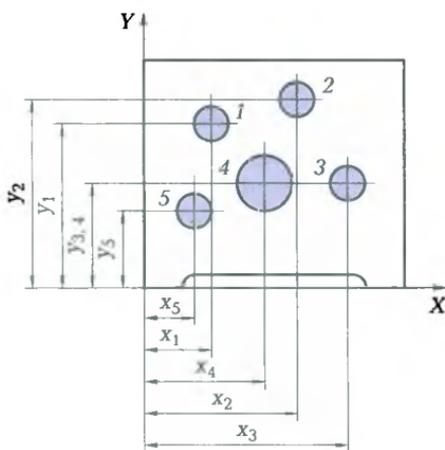


Рис. 2.5. Схема обработки отверстий 1—5 в корпусной детали по координатам:

$x_i, y_i$  — координаты осей отверстий, подлежащих обработке

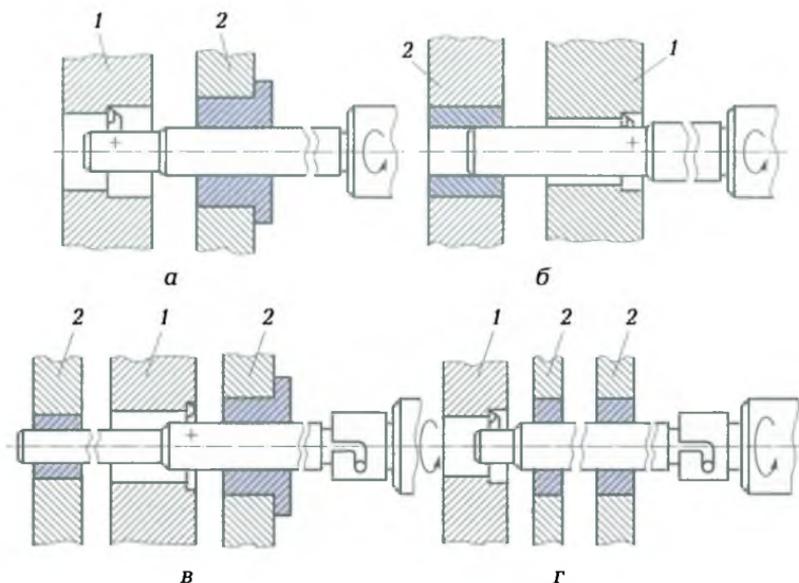


Рис. 2.6. Расположение направляющих элементов приспособлений для растачивания отверстий:

*а* — переднее; *б* — заднее; *в* — переднее и заднее; *г* — двойное переднее; 1 — заготовка; 2 — приспособление для растачивания

отсчетно-измерительные системы и обеспечивают высокую точность размеров и межосевых расстояний отверстий в пределах 1...8 мкм.

В серийном производстве широко используют растачивание в кондукторах. Точность расположения отверстий достигают с помощью направляющих втулок приспособления. Приспособления имеют различное расположение направляющих элементов (рис. 2.6). При растачивании с шарнирным соединением оправки со шпинделем геометрические погрешности станка практически не влияют на точность обработки. В этом случае точность обработки определяется точностью приспособления, величиной зазоров между оправками и втулками.

На горизонтально-сверлильных станках растачивание осуществляют в поворотных приспособлениях, имеющих направляющие элементы. Для растачивания используют накладные кондукторы, которые базируют и закрепляют на заготовке или основании приспособления. Отверстия в кондукторе растачивают с высокой точностью относительного положения на координатно-расточных станках, они соответствуют отверстиям, подлежащим обработке в корпусной детали.

Использование на расточных станках многошпиндельных расточных головок 4 (рис. 2.7) повышает производительность обработки. Головку шарнирно соединяют со шпинделем 5. Шпиндели 3 головки передают крутящие моменты расточным борштангам 2, которые по кондуктору 1 растачивают несколько отверстий с параллельными осями в заготовке 6.

В крупносерийном и массовом производстве для обработки основных отверстий используют многошпиндельные агрегатно-расточные станки, которые работают в автоматических линиях или используются отдельно. Агрегатно-расточные станки имеют различные компоновки; их силовые головки могут перемещаться в вертикальном, горизонтальном или наклонном направлении. Цикл работы на этих станках автоматизирован. На агрегатных станках выполняют сверление, зенкерование, растачивание, развертывание цилиндрических и конических отверстий, подрезку торцов, снятие фасок, растачивание различных канавок и нарезание резьбы.

В мелкосерийном производстве для обработки основных отверстий используют многоцелевые станки с ЧПУ, оборудованные магазином для автоматической смены инструмента.

**Обработку крепежных и других отверстий** выполняют на вертикально-, радиально-сверлильных и агрегатных станках. В за-

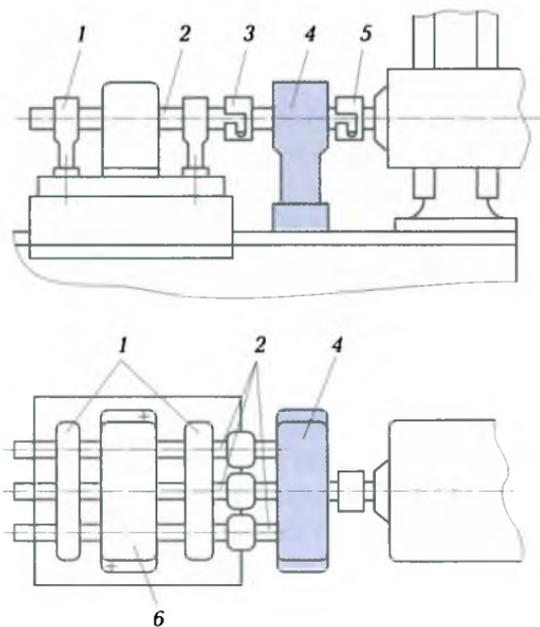


Рис. 2.7. Схема растачивания отверстий многошпиндельной головкой

висимости от размеров и конструктивных форм корпусных деталей, серийности выпуска используют кондукторы коробчатого типа, накладные, поворотные кондукторы или выполняют обработку по разметке.

Обработка крепежных и других отверстий небольшого диаметра включает в себя сверление, зенкерование, цековку, снятие фасок, развертывание и нарезание резьбы. В индивидуальном и мелкосерийном производстве на станках с ручным управлением обработку ведут по разметке. При большой серийности выпуска применяют многошпиндельные и резьбонарезные головки, а также ведут обработку на агрегатных станках.

**Отделка основных отверстий** включает в себя тонкое растачивание, планетарное шлифование, хонингование и раскатку роликами. Тонкое растачивание на алмазно-расточных станках применяют для получения высокой точности размеров отверстий по квалитетам Н6 и Н7, точности их геометрической формы (допуск на овальность и конусообразность 3...4 мкм) и прямолинейности оси отверстия. Получаемая шероховатость поверхности  $Ra$  1,25...0,63 мкм. Такую обработку применяют для точных гладких отверстий небольших диаметров в деталях средних и небольших размеров.

Растачивание ведут однолезвийными резцами с пластинами из твердых сплавов, а также алмазными резцами и резцами, оснащенными сверхтвердыми режущими материалами. Для обработки отверстий диаметром более 150 мм применяют внутреннее планетарное шлифование.

Шлифовальный круг вращается относительно оси шпинделя, совершая планетарное движение, т. е. вращение относительно оси отверстия. Продольную подачу осуществляют поступательно-возвратным движением заготовки, поперечную — перемещением шлифовального круга. При этом достигают точности отверстия по квалитету Н6 и шероховатости поверхности  $Ra$  0,32 мкм и более. Однако этот процесс малопроизводителен.

Хонингование выполняют на одно- или многошпиндельных хонинговальных станках. Хонингованием обрабатывают отверстия диаметром 15...200 мм и достигают точности по квалитету Н6 и шероховатости поверхности  $Ra$  0,08...0,04 мкм. Хонингование является производительной отделочной операцией и применяется после развертывания и шлифования.

Раскатыванием отверстий в стальных корпусных деталях достигают шероховатости поверхности  $Ra$  0,08...0,04 мкм, при этом твердость поверхностного слоя возрастает на 20...25%. Производительность этого способа выше по сравнению с производитель-

ностью хонингования в 5 раз. В единичном и мелкосерийном производстве для обеспечения минимальной шероховатости отверстий используют притирку с применением мягких и твердых абразивных материалов.

**Обработка корпусных деталей на станках с ЧПУ.** Для повышения производительности обработки корпусных деталей в мелкосерийном производстве используют многооперационные станки с ЧПУ (рис. 2.8), имеющие автоматическую смену инструмента. Многооперационные станки позволяют автоматически обрабатывать заготовку с четырех-пяти сторон за один установ (рис. 2.9). На этих станках используют консольный инструмент и выполняют фрезерование по контуру и плоских поверхностей, координатное сверление и растачивание, зенкерование и развертывание отверстий, цековку и нарезание резьбы.

На базе таких станков создают ГПС, имеющие индекс АСК (автоматизированные системы обработки корпусных деталей), осна-

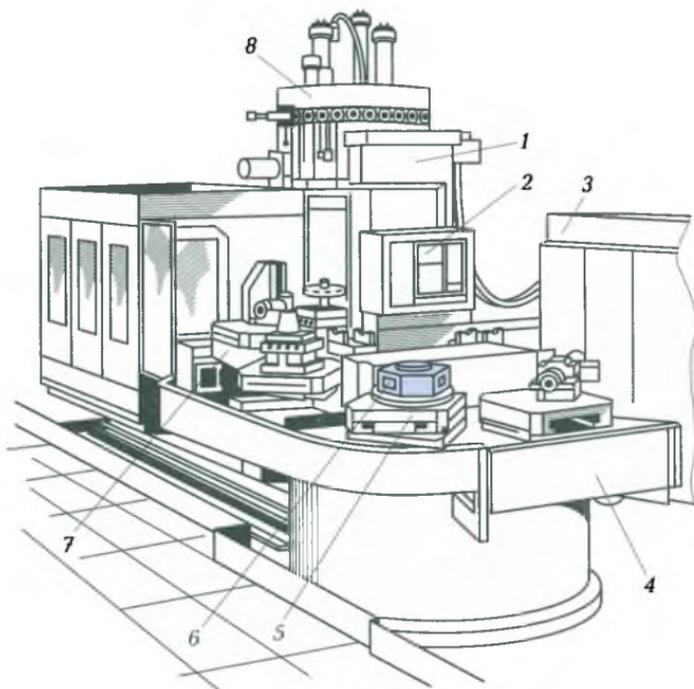


Рис. 2.8. Многооперационный станок с ЧПУ для обработки корпусных деталей:

1 — многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный станок с ЧПУ; 2 — пульт управления; 3 — шкаф ЧПУ; 4 — поворотный накопитель заготовок; 5 — приспособление-спутник; 6 — заготовка; 7 — токарный стол; 8 — инструментальный магазин

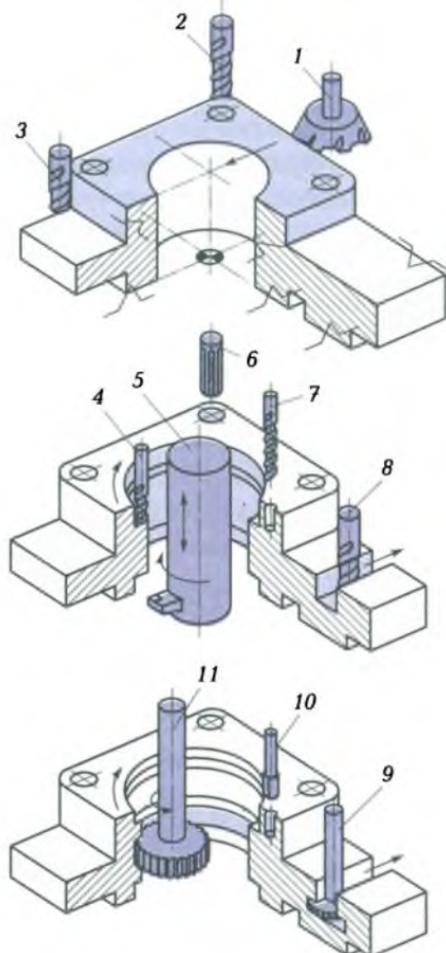


Рис. 2.9. Схема технологических переходов, выполняемых при обработке заготовок корпусных деталей с одного установа на многоцелевом станке вертикальной компоновки:

1 — фрезерование плоскости; 2 — сверление мелких отверстий; 3 — фрезерование по контуру; 4 — круговое фрезерование отверстия; 5 — растачивание главного отверстия; 6 — развертывание; 7 — сверление резьбовых отверстий; 8 — фрезерование канавки; 9 — фрезерование Т-образного паза; 10 — нарезание резьбы метчиками; 11 — фрезерование круговых канавок в отверстии

щенные автоматическими транспортными устройствами и роботами. На этих ГПС обрабатывают широкую номенклатуру корпусных деталей и выполняют черновые, получистовые и чистовые фрезерные, расточные, сверлильные, резьбонарезные и другие операции с трех-четырёх сторон без переустановки заготовки.

Предварительную обработку базовых поверхностей и операции, выполнение которых нерентабельно или невозможно на станках с ЧПУ (например, высокоточные координатно-расточные, шлифовальные или долбежные работы), производят вне ГПС. Иногда в состав ГПС можно ввести дополнительное оборудование для окончательных операций. Кроме станков с ЧПУ в состав автоматизированного участка типа АСК могут быть включены координатно-разметочная машина для предварительного обмера и разметки заготовок и контрольно-измерительная машина для автоматического измерения окончательно обработанных корпусных деталей. В ГПС при обработке корпусных деталей обычно используется спутниковый способ транспортирования заготовок. Одной из особенностей построения маршрутного технологического процесса в ГПС является обеспечение максимальной концентрации операций на одном станке, т. е. возможность выполнения наибольшего числа технологических переходов за один установ.

**Контроль корпусных деталей.** Обычно у корпусных деталей контролируют следующие характеристики:

- прямолинейность и правильность расположения основных (базовых) поверхностей;
- размеры и форму основных отверстий;
- соосность осей отверстий;
- межосевые расстояния;
- параллельность и перпендикулярность осей;
- правильность расположения отверстий относительно основных поверхностей;
- перпендикулярность торцовых поверхностей относительно осей отверстий.

Прямолинейность поверхностей контролируют уровнем или индикатором. Для измерения диаметра отверстий используют универсальные измерительные устройства: индикаторные и микрометрические нутромеры, штангенциркули, калибры-пробки. Соосность отверстий контролируют гладкими или ступенчатыми контрольными оправками. Эти оправки выполняют по качеству  $h5$  и с шероховатостью  $Ra 0,63 \dots 0,16$  мкм.

При контроле отверстий больших диаметров применяют переходные втулки (рис. 2.10, а). Межосевые расстояния и отклонения от параллельности проверяют индикаторами, микрометрами и штангенциркулем. Правильность расположения оси отверстия относительно основной поверхности (параллельность) проверяют с

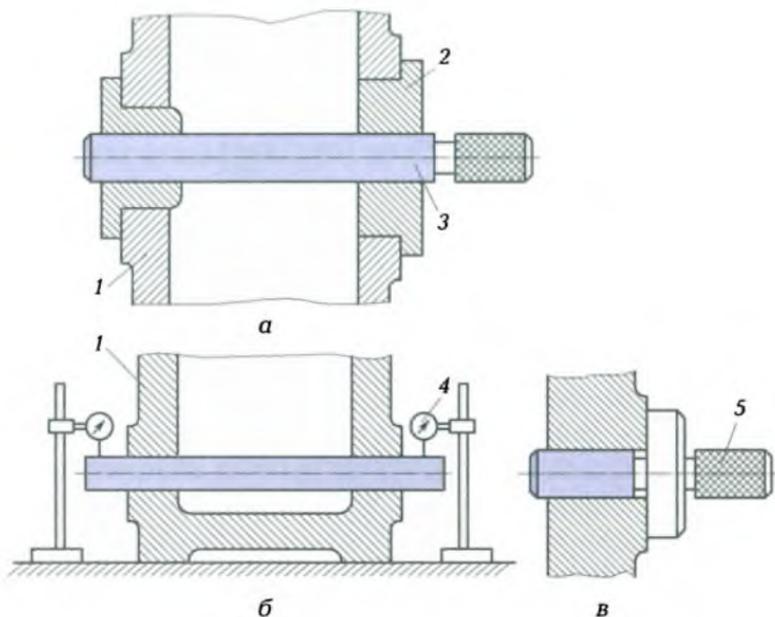


Рис. 2.10. Схема контроля корпусной детали (а—в):  
 1 — корпус; 2 — втулка; 3 — оправка; 4 — индикатор; 5 — калибр

помощью индикаторов (рис. 2.10, б). Отклонение от перпендикулярности осей отверстий контролируют оправками с индикаторами. Контроль перпендикулярности торцов поверхности относительно оси отверстия выполняют посредством индикатора с помощью щупа и калибра (рис. 2.10, в).

Специальные контрольно-измерительные устройства с ЧПУ позволяют контролировать точность комплекса параметров корпусной детали.

**Типовой процесс обработки составного корпуса коробки в крупносерийном производстве** может включать в себя следующие операции:

- 05 — плоскошлифовальная: предварительно шлифовать плоскость разъема на плоскошлифовальном станке;
- 10 — сверлильная: на плоскости разъема обработать два отверстия с точностью 7-го качества, используемые для базирования детали на двух пальцах на последующих операциях;
- 15 — фрезерная: окончательно фрезеровать боковые стороны на продольно-фрезерном четырехшпиндельном станке в зажимном четырехместном приспособлении с

пневмоприводом (базирование заготовки по плоскости разъема и двум отверстиям);

- 20 — фрезерная: окончательно фрезеровать остальные поверхности корпуса на продольно-фрезерном восьмишпиндельном станке в зажимном четырехместном приспособлении с пневмоприводом (базирование заготовки по плоскости разъема и двум отверстиям);
- 25 — агрегатная: обработать отверстия с двух сторон корпуса на агрегатном 32-шпиндельном четырехпозиционном станке в зажимном четырехместном приспособлении (базирование по плоскости разъема и двум отверстиям);
- 30 — агрегатная: окончательная обработка отверстий с двух других сторон и по верхней плоскости на агрегатном четырехпозиционном многошпиндельном станке;
- 35 — шлифовальная: окончательно шлифовать плоскость разъема на плоскошлифовальном станке на магнитной плите (базирование по плоскости основания);
- 40 — алмазно-расточная: расточить отверстия под подшипники шпинделя с припуском на хонингование на алмазно-расточном станке в зажимном приспособлении (базирование по плоскости разъема и двум отверстиям);
- 45 — хонинговальная: хонинговать отверстие под подшипники.

## 2.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВАЛОВ

**Конструктивные особенности и точность изготовления.** Вал любой машины является одной из наиболее ответственных деталей, так как он работает с большими нагрузками и в большинстве случаев при высоких оборотах. По этой причине валы стремятся делать более легкими, но прочными, а точнее пустотелыми и тонкостенными. Внешние поверхности валов турбин, компрессоров, редукторов представляют собой различные комбинации гладких шеек, шлицов, резьбы, зубьев зубчатых колес, фланцев, радиальных и осевых отверстий и др.

Тяжелые условия работы валов определяют высокие требования к точности обработки их поверхностей и точности взаимного

положения поверхностей, являющихся конструкторскими базами. Точность большинства ответственных валов характеризуется следующими величинами.

1. Точность шеек под подшипники — 7—8-й квалитет.
2. Точность нерабочих поверхностей — 9—10-й квалитет.
3. Отклонение геометрической формы рабочих поверхностей от круглости — 0,005...0,02 мм.
4. Отклонение геометрической формы нерабочих поверхностей от круглости — 0,01...0,04 мм.
5. Точность осевых отверстий — 9—10-й квалитет.
6. Точность сопрягаемых поверхностей — 7—9-й квалитет.
7. Точность резьбы — 6—8-й квалитет для резьбы.
8. Точность шлицов — 8-й квалитет.
9. Взаимное биение рабочих поверхностей — 0,05...0,2 мм.
10. Шероховатость рабочих поверхностей — 7—10-й класс.
11. Шероховатость нерабочих поверхностей — 5—7-й класс.

#### **Обязательная статическая или динамическая балансировка.**

Рабочие поверхности валов, изготавливаемых из низкоуглеродистых сталей, часто цементируют на глубину 0,7...1,2 мм. Рабочие поверхности некоторых валов азотируют на глубину 0,6...0,9 мм. Не допускаются трещины, задиры, сколы и другие поверхностные дефекты.

Валы изготавливают из сталей 35, 40, 45, 40X, 40Г и др. Заготовки для валов получают из горячекатаного и калиброванного проката. В единичном и мелкосерийном производстве, как правило, заготовки из проката получают путем его резания с последующей механической обработкой. Заготовки валов массой более 15 кг целесообразно получать методом свободнойковки (без штампов).

В среднесерийном производстве заготовки для валов получают из проката путем резки с последующей механической обработкой или ковкой в подкладных или групповых переналаживающих штампах. Широко используют ротационную ковку на ковочных машинах с программным управлением. В крупносерийном и массовом производстве заготовки для валов, как правило, получают путем резания (рубки) проката с последующей ковкой в дорогостоящих штампах, обеспечивающих минимальные припуски (1,5...2 мм) и максимальное приближение конфигурации заготовки к конфигурации готового вала.

Заготовки валов изготавливают в заготовительных цехах при отделениях механического цеха, в которых кроме кузнечно-прессового оборудования устанавливают правильно-калибровочные, отрезные, фрезерно-центровальные, центровальные, токарно-

обдирочные и другие станки. На этом оборудовании выполняют рубку проката и его ковку для получения поковок и штамповок (кузнечно-прессовое оборудование), правку проката на правильнокалибровочных станках в целях устранения местной и общей кривизны, резания проката после правки.

Резание выполняют на отрезных станках, работающих дисковыми сегментными пилами, шлифовальными кругами на вулканистой связке и поковочными полотнами. Выбор методов резания проката зависит от типа производства, диаметра заготовки и твердости материала. Наиболее производительным методом получения штучных заготовок из проката является рубка на прессах. Этот метод при надлежащей организации производства может быть использован во всех типах производства. Обработку торцов и сверление центровых отверстий на валах в серийном производстве выполняют на фрезерно-центровальных станках-полуавтоматах мод. МР77 и МР78 барабанного типа.

На рис. 2.11, а показана схема наладки фрезерно-центровального полуавтомата мод. МР77 на обработку деталей, изготавливаемых сериями. Позиция 1 (не показана) — загрузочная, служит для установки и снятия заготовки. В позиции 2 выполняется фрезерование торцов с обеих сторон, в позиции 3 — сверление центровых отверстий. Конструкции центровых отверстий с предохранитель-

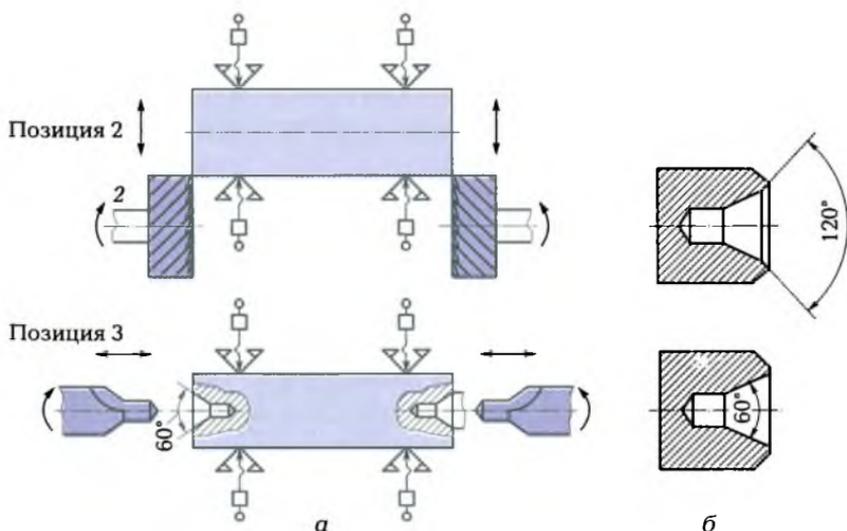


Рис. 2.11. Схема наладки фрезерно-центровального полуавтомата для обработки вала (а) и конструкция центровых отверстий (б)

ной фаской 120° и без фаски показаны на рис. 2.11, б. Перемещение заготовки из позиции в позицию осуществляются поворотом барабана на 120°.

Широко используют раздельное фрезерование торцов и сверление центровых отверстий. Эти операции производят на фрезерных станках и на одно- и двусторонних центровальных станках мод. 73С1 и др. В единичном и мелкосерийном производстве обработку торцов и сверление центровых отверстий осуществляют на токарно-винторезных станках за два установка.

В автоматических линиях применяют станки мод. А981 для фрезерования торцов и мод. А982 для центrovания. Основным достоинством фрезерно-центровальных станков является возможность точной обработки обоих торцов и повторных отверстий за один установ и создание технологических баз с минимальными погрешностями. Благодаря применению на этих станках тисков с самоцентрирующимися губками призматической формы (на рис. 2.11, а установка тисков показана по ГОСТ 3.1107—81 «Единая система технологической документации. Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения») обеспечено постоянство положения центра заготовки относительно оси сверлильных шпинделей независимо от диаметра заготовки. На рис. 2.12 показаны самоцентрирующие тиски с губками призматической формы, используемые на фрезерно-центровальных и центровальных станках. Тиски, показанные на рис. 2.12, а, снабжены винтом 1 с разнонаправленными резьбами на концах. При вращении винта (электродвигателем или вручную) губки 2 и 3 сходятся и закрепляют заготовку или расходятся. У тисков, показанных на рис. 2.12, б, привод пневматический. При поступлении сжатого воздуха в правую полость цилиндра 4

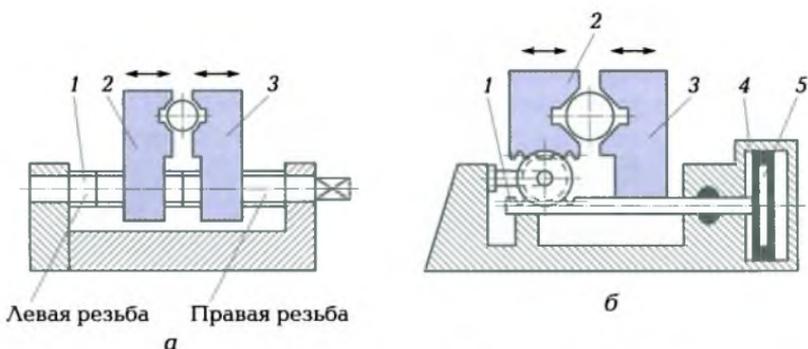


Рис. 2.12. Самоцентрирующие тиски с призматическими губками (а, б)

поршень 5 и шток 1 вместе с губкой 3 перемещаются влево, а губка 2 благодаря реечной передаче — вправо и происходит зажим. Эти тиски обеспечивают постоянство положения центровых отверстий независимо от диаметра устанавливаемого вала.

**Технические требования, предъявляемые к валам, методы их обеспечения и контроля.** К валам, устанавливаемым в коробках скоростей, редукторах и других механизмах станков нормальной точности, предъявляют следующие требования:

- точность шеек под подшипники качения и зубчатые колеса должна быть в пределах 6-го качества (посадки h6, js6, k6 и др.), шероховатость  $Ra$  0,8...0,4 мкм;
- допуск цилиндричности и круглости шеек под подшипники примерно 0,25...0,5 допуска на изготовление;
- допуск радиального биения шеек под зубчатые колеса относительно шеек под подшипники 0,01...0,03 мм;
- допуск соосности шеек под подшипники 0,01...0,02 мм;
- допуск симметричности боковых сторон шпоночных канавок и зубьев шлицевых поверхностей относительно общей оси подшипниковых шеек 0,03...0,05 мм.

Для обеспечения технических требований используются следующие методы. Точность диаметров шеек 6-го качества и шероховатость  $Ra$  0,8...0,4 мкм достигаются шлифованием в центрах на круглошлифовальных станках класса Н. Эту операцию выполняют после чистового точения. Жесткий допуск на отклонение от цилиндричности и круглости обеспечивают шлифованием кругами, подвергнутыми точному уравниванию, и правке, исключаящей вибрации.

Стол следует установить так, чтобы направление его продольного перемещения с большой точностью совпадало с направлением оси центров вала. Для этой цели на круглошлифовальных станках имеется механизм поворота стола с заготовкой с микронной точностью. Для исключения радиального биения и обеспечения соосности шеек их шлифование нужно выполнять с одного установа. Однако, ввиду того что центры на круглошлифовальных станках не вращаются, шлифование шеек выполняют за два и более установов, обеспечивая высокую степень соосности и, следовательно, допуск на радиальное биение.

Симметричность боковых сторон шпоночных канавок относительно оси вала в партии обеспечивается использованием приспособлений с базированием вала на призме при фрезеровании канавки. В этом случае при наладке фрезерного станка следует до-

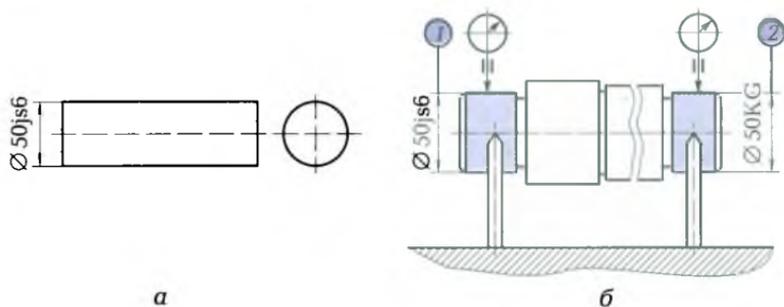


Рис. 2.13. Схема измерения отклонения от цилиндричности и круглости (а) и соосности (б)

биться совпадения оси фрезы и оси вала на первой детали. Симметричность боковых сторон зубьев шлицевых поверхностей достигается на шлицефрезерных и шлицешлифовальных станках правильным взаимным расположением инструмента и осью вала при наладке.

**Контроль точности элементов валов.** В среднесерийном производстве контроль точности производят универсальным измерительным инструментом и калибрами. Шейки точностью 6-го и 7-го квалитетов измеряют рычажными скобами или микрометрами с ценой деления рычажной шкалы 0,002 мм и калибрами-скобами или измеряют допуск цилиндричности и круглости (рис. 2.13, а). Шейки 8-го, 9-го квалитетов измеряют микрометрами с ценой деления 0,01 мм. Шейки 10-го квалитета и грубее измеряют штангенциркулем с ценой деления нониуса 0,1 ... 0,05 мм.

Радиальное биение и отклонение от соосности шеек измеряют в приспособлении с центрами или на призмах с помощью индикатора с ценой деления 0,01 ... 0,002 мм в зависимости от заданного допуска (рис. 2.13, б), симметричность боковых сторон шпоночной канавки и шлицевой поверхности проверяют комплексными калибрами-кольцами и др.

**Типовой технологический процесс изготовления вала** (табл. 2.1). Дано: вал — представитель группы валов (рис. 2.14); материал — сталь 45; тип производства — среднесерийное; заготовка — штамповка.

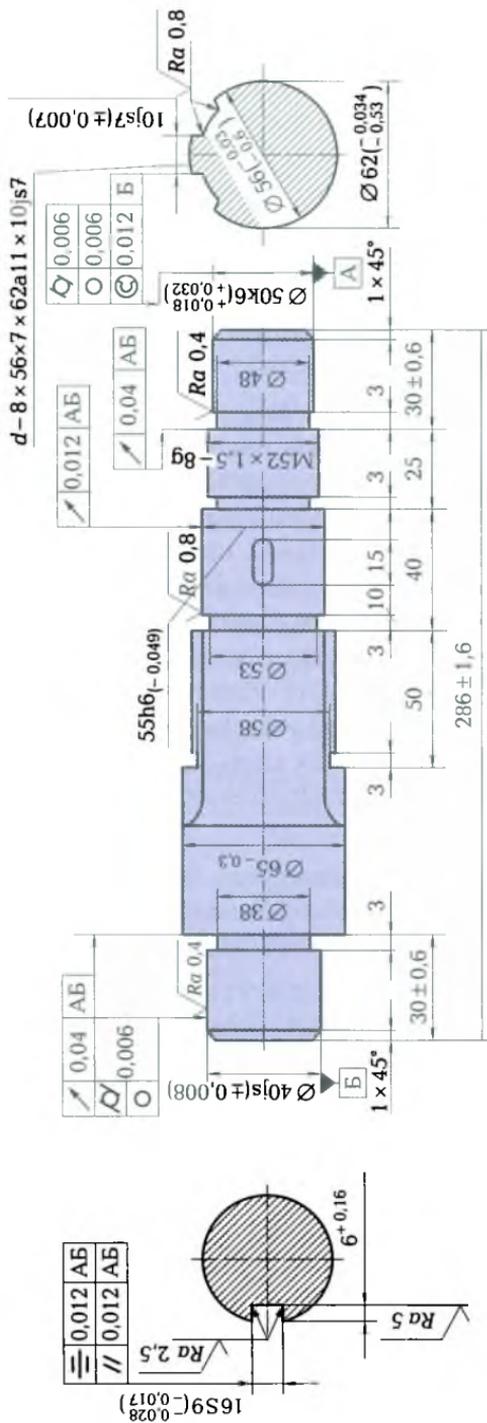
Типовой технологический процесс изготовления вала может состоять из следующих операций:

- 05 — фрезерно-центровальная (код 4269): фрезеровать торцы и сверлить центровое отверстие окончательно. Станок — фрезерно-центровальный мод. МР76М (код

**Таблица 2.1. Типовые технологические операции обработки различных поверхностей валов в серийном производстве**

Поверхности вала	Квалитет	Шероховатость $Ra$ , мкм	Характер и последовательность выполнения операций (переходов)
Цилиндрическая и коническая незакаливаемая	11 и грубее	25 и грубее	Черновое точение на станках класса Н
	9 и грубее	3,2 и грубее	Черновое и чистовое точение на станках класса Н
	6—8	1,0...0,4	Черновое, чистовое точение и круглое шлифование на станках класса Н
Черновое и чистовое точение на станках класса П			
Цилиндрическая и коническая закаливаемая	6—8	1,6...0,4	Черновое и чистовое точение, закалка, круглое шлифование на станках класса Н
			Черновое и чистовое точение на станках класса П
			Черновое, чистовое точение, закалка, круглое шлифование на станках класса Н
			Черновое и чистовое точение на станках класса П с использованием сверхтвердых режущих материалов на основе нитрида бора (композит 01), карбонадо (например, марки АСПК) и др.
Шлицевая закаливаемая	6 для наружного диаметра	1,6...0,4	Черновое, чистовое точение, круглое шлифование и шлицешлифование

Поверхности вала	Квалитет	Шероховатость $Ra$ , мкм	Характер и последовательность выполнения операций (переходов)
Шлицевая закаливаемая	6 для наружного диаметра	1,6...0,4	Черновое, чистовое точение, шлицефрезерование, закалка и шлицешлифование
Закаливаемые шлицевые поверхности	6, 7 для внутреннего диаметра	1,6...0,4	Черновое, чистовое точение, шлицефрезерование, закалка и шлицешлифование
			Чистовое точение, шлицефрезерование, закалка и шлицешлифование
Цилиндрическая со шпоночной канавкой	8, 9 для ширины канавки, 6—8 для наружного диаметра	0,4; 1,6; 0,8	Черновое, чистовое точение, шпоночное фрезерование и круглое шлифование
			Чистовое точение, фрезерование шпонки и круглое шлифование
Крепежная резьба с нормальным и мелким шагами	8h—8g	1,6	Черновое, чистовое точение, нарезание резьбы плашками или резьбофрезерованием
			Чистовое точение, нарезание резьбы плашками или резцами
			Получистовое точение и накатывание резьбы
Резьбовая с нормальным и мелким шагами	4h—6g	0,8	Чистовое, черновое точение и нарезание резьбы резцами
			Черновое, чистовое точение, резьбонакатывание и резьбошлифование



Неуказанные предельные отклонения размеров:  
валов h14, отверстий h14, остальных  $\pm$  JT14/2

Рис. 2.14. Типовой вал

381825). Приспособление — тиски с самоцентрирующими губками призматической формы, привод пневматический (код 396131). Базирование — по наружным поверхностям и одному торцу заготовки. Инструменты — торцовые фрезы диаметром 100 мм с числом зубьев 12, материал режущей части Т14К8 (код 381855), центровочные сверла диаметром 5 мм, материал Р6М5 (код 391242). Измерительный инструмент — штангенциркуль ШЦ-I, диапазон измерения 400 мм, цена деления нониуса 0,1 мм (код 393310 для наладки), шаблон для контроля длины  $286 \pm 0,6$  (код 393610 для работы);

- 10 — токарно-копировальная (код 4117): точить начерно поверхности диаметрами 50k6; 55h6; 52; 62 и 65 мм. Станок — токарно-гидрокопировальный полуавтомат мод. 1Н713 (код 381115). Приспособление — центры (код 382840) и патрон поводковый с пневмоприводом (код 396115). Инструмент — проходной резец, правый с сечением  $25 \times 20$  мм, материал режущей части Т14К8, с главным углом в плане  $\varphi = 45^\circ$ , задним углом  $\alpha = 8^\circ$  и передним углом  $\gamma = 2^\circ$  (код 392101). Измерительный инструмент — штангенциркуль ШЦ-I, диапазон измерения 125 мм, цена деления нониуса 0,1 мм (код 393310 для наладки), калибры-скобы — 51; 5h14; 53; 5h14; 56; 5h14; 63; 5h14 (код 393120 для работы);
- 15 — токарно-копировальная (код 4117): обточить поверхности диаметрами 40js6 и 65 мм начерно (остальные данные приведены в операции 10);
- 20 — токарная с программным управлением: обточить поверхности диаметрами 50k6, 55h6, 40js6 с припуском на шлифование диаметром 65; 60a11; 52, проточки диаметром 38; 48; 53; 58 мм и фаски  $1 \times 45^\circ$  окончательно. Станок — токарный мод. 16К20Т с ЧПУ (код 381021). Приспособление — поводковый плавающий центр с диаметром поводковой части 36 мм (код 392840). Базирование заготовки — по центровым отверстиям и левому торцу диаметром 10 мм. Инструменты — проходные резцы, правый и левый с сечениями  $20 \times 25$  мм, материал режущей части Т14К8;  $\varphi = 90^\circ$  (код 392101), прорезной резец, ширина режущей части 3 мм, материал режущей части Т14К8 (код 392112); фасонные резцы левый и правый с  $\varphi = 45^\circ$  (код 392114). Измерительный инструмент —

штангенциркуль ШЦ-I для наладки, калибры-скобы для работы — 40, 3h9; 50, 4h9; 60a11; 65<sub>-0,3</sub>;

- 25 — шпоночно-фрезерная (код 4272): фрезеровать шпоночный паз 16S9 окончательно. Станок — шпоночно-фрезерный полуавтомат мод. 692A (код. 381610). Приспособление — тиски с призматическим основанием и пневматическим приводом (код 396131). Базирование — по поверхности диаметром 58h6 и торцу диаметром 62 мм. Инструмент — шпоночная фреза диаметром 16 мм, материал режущей части T14K8 или P6M5 (код 391826 или 391856). Измерительный инструмент — штангенциркуль ШЦ-I (код 393310), калибр-пробка 16S9 (код 393110);
- 30 — шлицефрезерная (код 4260): фрезеровать шлицы с припуском на шлифование. Станок — шлицефрезерный мод. 535013 (код 381630). Приспособление — поводковое устройство (код 39615), центры (код 392840). Базирование — по центровым отверстиям. Инструмент — червячная шлицевая фреза марки P6K5,  $d=8 \times 56 \times 7 \times 62a11 \times 10js7$  (код 391810). Измерительный инструмент — комплексный калибр-втулка (код 393180);
- 35 — шлицешлифовальная (код 4142): шлифовать шлицы окончательно. Станок — шлицешлифовальный мод. 3Б450 (код 381315). Приспособление — центры (код 392840), поводковое устройство (код 396115). Базирование — по центровым отверстиям. Инструмент — шлифовальный профильный круг ПП250×16×7624A25ПСМ15 K435M/С2КЛА (код 397111). Измерительный инструмент — комплексный калибр-втулка (код 393180), микрометр гладкий с диапазонами измерения 50...75 и 0...25 мм и ценой деления 0,01 мм (код 393310) для измерения внутреннего диаметра и толщины зубьев (шлицов);
- 40 — круглошлифовальная (код 4131): шлифовать поверхности диаметрами 50k6, 55h6, 40js6 окончательно. Станок — круглошлифовальный (код 381311) мод. 3М150А. Приспособления — центры (код 393840), поводковое устройство (код 396155). Базирование — по центровым отверстиям. Инструмент — шлифовальный круг ПП350×50×12724A25ПСМ15K435M/С2КЛА (код 397111). Измерительный инструмент — рычажные скобы с диапазонами измерения 25...50 и 50...75 мм и це-

ной деления 0,002 мм для наладки (код 394240), калибры-скобы 40js6, 50K6 (код 393120);

- 45 — резьбофрезерная (код 4271): фрезеровать резьбу М52×1,5—8g окончательно. Станок — резьбофрезерный (код 391632) мод. 5Б63Г. Приспособления — центры (код 392840), поводковое устройство (код 396115). Базирование — по центровым отверстиям. Инструмент — резьбовая гребенчатая фреза марки Р6М5 (код 391810). Измерительный инструмент — резьбовые калибры-кольца М52×1,5—8g (код 393140).

При составлении рабочих маршрутных процессов на конкретные валы данной группы часть операций может быть опущена (например, при отсутствии на вале резьбы, шлицов, шпоночной канавки или др.). В некоторых операциях приведенного процесса перечислены не все режущие и измерительные инструменты, необходимые для обработки и измерения вала.

При токарной обработке валов обтачивают цилиндрические, конические, шлицевые, резьбовые и другие поверхности. Получаемые при этом точность и шероховатость поверхностей приведены в табл. 2.2. Технологическими базами при токарной обработке валов являются центровые отверстия и левый торец установленного на станке вала. От этого торца удобно обеспечивать точность осевых и линейных размеров, так как система упоров, ограничивающих продольное перемещение суппортов, связана с положением буртика шпинделя. Токарную обработку в зависимости от конструкции валов и типа производства выполняют на различных станках: в единичном и мелкосерийном производстве — на токарно-винторезных и токарных станках с ЧПУ, в среднесерийном производстве — на многорезцовых и др.

На рис. 2.15, а показана схема наладки многорезцового станка **при обработке заготовки из проката**. В этом случае наладку проводят по методу деления припуска. Припуски, снимаемые резцами 2 и 3, слишком большие, и их удаление за один рабочий ход затруднительно. Поэтому резец 1 начинает работу с правого торца и срезает припуск I, а резцы 2 и 3 срезают оставшиеся части припуска II и III. Суммарная мощность резания в данном случае меньше, чем когда каждый резец полностью срезает припуск, приходящийся на ступень, которую он обтачивает. Этот метод также используется при недостатке мощности двигателя.

Машинное время

$$t_{\text{маш}} = (l_1 + l_2 + l_3 + l_{\text{вп}}) / (nS),$$

**Таблица 2.2. Средняя экономическая точность и шероховатость при обработке заготовок из стали и серого чугуна**

Операция	Квалитет	Ra, мкм	
Наружное точение и растачивание:			
	предварительное	12 и грубее	12,5
	чистовое	10 и грубее	3,2...1,6
тонкое на станках класса П	5—6	0,6...0,4	
Фрезерование:			
	предварительное	12 и грубее	6,3
чистовое	8	3,2...1,6	
Сверление	11, 12	6,3...3,2	
Зенкерование	10 и грубее	3,2...1,6	
Развертывание:			
	предварительное	8 и грубее	1,6...0,8
чистовое	7	0,8...0,4	
Протягивание отверстия	8, 7	0,8...0,4	
Шлифование наружное и внутреннее:			
	чистовое	7	0,4...0,2
тонкое на станках класса П	5, 6	0,1...0,05	
Притирка	5 и точнее	0,1...0,25	
Доводка	4 и точнее	0,05 и менее	
Хонингование	5 и грубее	0,05...0,025	
Суперфиниширование	5 и грубее	0,05 и менее	

где  $l_1, l_2, l_3$  — длины ступеней вала, мм;  $l_{вр}$  — величина врезания, мм;  $n$  — частота вращения, мин<sup>-1</sup>;  $S$  — подача, мм/об.

**При обработке штампованных ступенчатых заготовок** наладку следует выполнять по методу деления длины обработки (рис. 2.15, б). В этом случае резец 1 обтачивает ступень длиной  $l_1$ , резец 2 — ступень длиной  $l_2$  и т. д.

$$t_{\text{маш}} = (l_1 + l_{\text{вп}}) / (nS),$$

где  $l_1$  — длина ступени наибольшей протяженности, мм.

Иногда при наладке многорезцового станка используют оба рассмотренных метода, т.е. обрабатывают путем деления длины обработки и снимаемого припуска.

В мелко- и среднесерийном производстве для обточки валов целесообразно использовать гидрокопировальные автоматы и полуавтоматы. Гидрокопировальное обтачивание особенно подходит для валов нежесткой конструкции и чистового точения валов с длинными шейками, которые из-за высоких требований к поверхности нельзя обработать методом деления длины. Кроме того, при копировальной чистовой обработке обеспечивается более высокая точность. При обработке валов в центрах на многорезцовых и

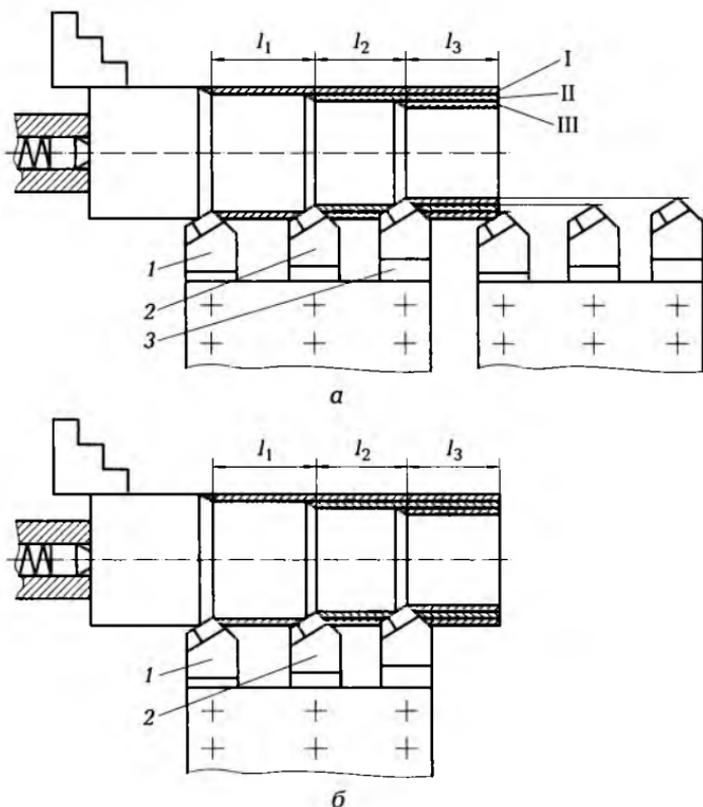


Рис. 2.15. Схемы наладки многорезцового станка при обработке вала (а, б)

гидрокопировальных полуавтоматах для выдерживания линейных размеров от постоянной базы рекомендуется применять плавающие передние центры.

Для токарной обработки применяют гидрокопировальные полуавтоматы мод. 1708, 1Н713, 1Б732 и 1Б732ФЗ. Обтачивание валов на гидрокопировальных полуавтоматах позволяет сократить затраты подготовительно-заключительного времени и времени технического обслуживания.

В крупносерийном и массовом производстве для обточки валов небольшой длины и большого диаметра используют многошпиндельные токарные полуавтоматы мод. 240-6П, 11А261П и др. Наличие шести или восьми позиций в полуавтомате позволяет осуществлять всю токарную обработку. На каждой позиции обработку ведут одним или двумя резцами. При этом заготовка крепится в центрах или в патроне.

**Обработка валов на токарных станках с ЧПУ.** В мелкосерийном производстве экономически целесообразно применять при обработке ступенчатых валов станки мод. 16К20Т, 16К20Т1, 16К20ФЗС5, 1713ФЗ с ЧПУ и др.

При разработке управляющей программы (УП) определяют траектории движения инструментов и рассчитывают координаты опорных точек траектории. Траектория движения инструмента относительно заготовки в станках с ЧПУ представляется в виде ряда его последовательных положений (опорных точек), каждое из которых определяется числом. Полученную информацию заносят в операционную расчетно-технологическую карту (РТК) и затем определенным образом записывают геометрические и технологические параметры в карту программирования, а также команды, необходимые для управления рабочим циклом станка. Полученные данные в установленном коде записывают на программоноситель. Изготовленную УП перед использованием проверяют и, если нужно, корректируют.

На токарных станках с ЧПУ наибольшее распространение получили две традиционные схемы установки: в центрах (для заготовок валов) и в патроне (для заготовок дисков и втулок).

Центры, самоцентрирующий патрон или цанговый зажим автоматически совмещают направление оси заготовки с координатной осью  $Z$  станка. Для определения местоположения начала отсчета перемещений инструмента (нуля детали) необходимо, чтобы заготовка имела базовый торец, который с достаточной точностью и постоянством всегда обеспечивал бы установку заготовки на равном расстоянии от начала отсчета по оси  $Z$ .

На рис. 2.16, а показан ступенчатый вал, технологическими базами которого являются обработанная цилиндрическая шейка  $\varnothing 30js6$ , торец А и центровое отверстие (со стороны задней бабки). От торца А на расстоянии  $(200 \pm 0,1)$  мм указана точка положения нуля детали (О). Нужно также знать, на каком расстоянии  $z_0$  от нуля станка по оси Z расположена поверхность Б кулачков патрона (рис. 2.16, б).

Для получения размера детали от базового торца А в пределах заданного допуска нужно на ее установку и расположение относительно начала отсчета использовать не более половины допустимого отклонения. Начало отсчета по оси X располагается в зоне между максимальным диаметром заготовки и наибольшим допустимым диаметром обработки. На токарных станках с ЧПУ с автоматической сменой инструмента, как правило, используются для обработки несколько позиций инструментальных головок. Координату нуля детали назначают исходя из положения вершины режущих кромок резца с наибольшим вылетом. Для выхода других инструментов в исходное положение в УП предусматривают холостые перемещения инструмента.

Для токарной обработки выпускают станки с системами ЧПУ на базе мини-ЭВМ (микропроцессорные системы). В этих системах оператор может вводить УП вручную с помощью клавишей, расположенных на панели управления, УП хранится в памяти системы. Системой ЧПУ этого класса «Электроника НЦ-31» оснащен станок мод. 16К20Т1, имеющий шестипозиционную револьверную головку. Нулевую точку располагают по оси X на оси центров станка, а по оси Z — на некотором расстоянии (4...5 мм) от торцевой

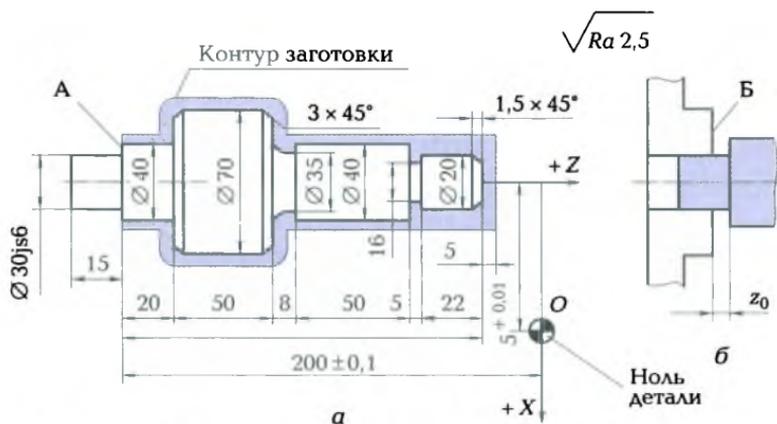


Рис. 2.16. Схема для определения нуля детали (а, б)

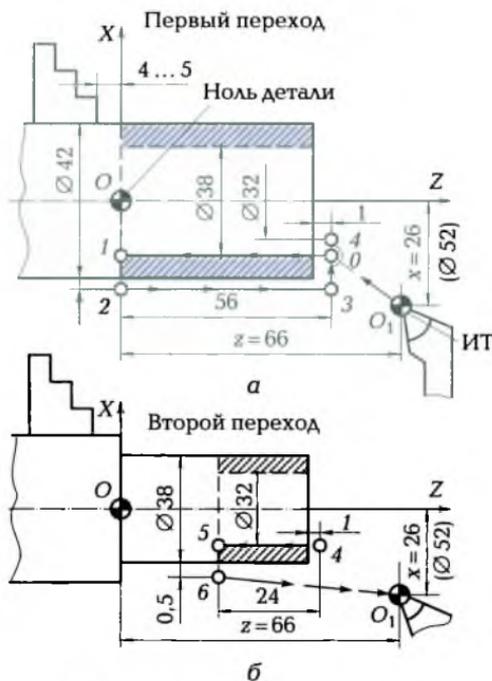
поверхности кулачков патрона или торца шпинделя (рис. 2.17, а). Положение исходной точки (ИТ)  $O_1$ , из которой инструмент подводят к заготовке в начале обработки и в которую его отводят после обработки, выбирается так, чтобы при смене инструмента последний не задевал заготовку или узлы станка, а при снятии детали последняя не задевала инструмент. В ИТ происходит смена позиций инструмента.

Примеры составления траектории движения инструмента для обработки двух цилиндрических поверхностей за два перехода одним подрезным резцом показаны на рис. 2.17. Направление движения инструмента показано стрелками, рабочий ход инструмента обозначен сплошной линией, а холостой — пунктирной.

Выбираем положение ИТ относительно нуля детали ( $x = 26$  мм,  $z = 66$  мм). Из ИТ (см. рис. 2.17, а) на ускоренном ходу резец перемещаем в нулевую опорную точку  $O$ . Положение нулевой опорной точки в системе координат детали выбирается из следующих соображений: по оси  $X$  — с учетом чертежа детали, межпереходного размера и допуска диаметра цилиндрической поверхности (например, при диаметре 38 мм); по оси  $Z$  — в зависимости от точности базирования детали (точности положения опорной точки  $\delta$ ) нулевую опорную точку необходимо располагать на определенном расстоянии от торца детали (например, на расстоянии 1 мм). С учетом длины детали ( $l = 55$  мм) и выбранного расстояния от торца детали ( $l_1 = 1$  мм) нулевая опорная точка относительно нуля детали будет находиться на расстоянии 56 мм. Такое положение нулевой опорной точки позволит предохранить резец от врезания в деталь на ускоренном ходу.

Из нулевой опорной точки в опорную точку  $1$  резец перемещается на рабочем ходу (обработка цилиндрической поверхности). Опорная точка  $1$  будет иметь следующие координаты: по оси  $X$  — значение предыдущей опорной точки, т. е. равной диаметру 38 мм; по оси  $Z$  — 0 мм, так как ноль детали находится на крайнем левом торце детали. Из опорной точки  $1$  в опорную точку  $2$  резец перемещается на рабочем ходу (проточка первого торца детали). Координаты опорной точки  $2$  по оси  $X$  равны диаметру 43 мм (с учетом допуска на размер заготовки и 100%-ной гарантии подрезки всего торца опорной точки  $2$  вдоль оси  $X$  координаты задаются на некотором расстоянии от цилиндрической поверхности — 42 мм, например на расстоянии 0,5 мм); по оси  $Z$  — значение предыдущей опорной точки.

Из опорной точки  $2$  в опорную точку  $3$  резец перемещается на ускоренном ходу. Координаты опорной точки  $3$  по оси  $X$  — 43 мм;



Первый переход

Номер опорной точки	Значение координат опорных точек (мм) и дискрет			
	Ось X		Ось Z	
0	52	5 200	66	6 600
1	38	3 800	56	5 600
2	43	4 300	0	0
3	43	4 300	56	5 600
4	32	3 200	56	5 600

Второй переход

Номер опорной точки	Значение координат опорных точек (мм) и дискрет			
	Ось X		Ось Z	
4	32	3 200	56	5 600
5	32	3 200	32	3 200
6	39	3 900	32	3 200
ИТ	52	5 200	66	6 600

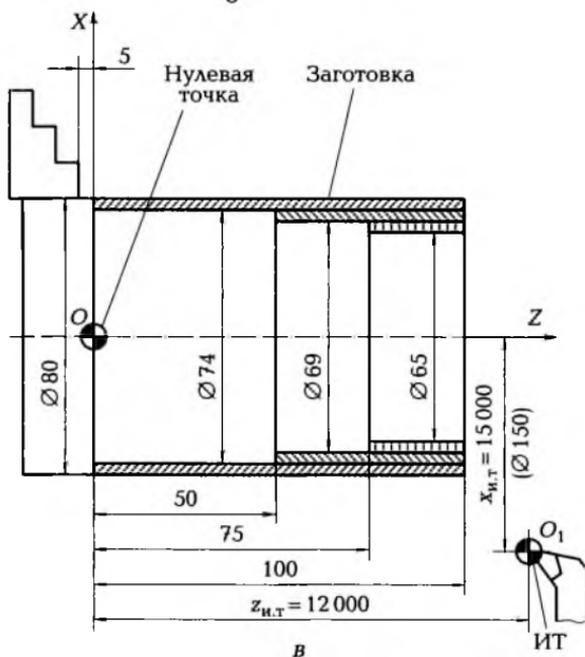


Рис. 2.17. Схема наладки токарного станка мод. 16К20Т1 на обработку ступенчатого вала:

а, б — траектории движения резца и таблица значений координат опорных точек;  
в — ступенчатый вал

по оси  $Z$  — 56 мм. Из опорной точки 3 в опорную точку 4 резец также перемещается на ускоренном ходу. Координаты опорной точки 4 по оси  $X$  — 32 мм (подвод резца в радиальном направлении для обработки другой ступени детали); по оси  $Z$  — значение предыдущей опорной точки 56 мм. На рис. 2.17, б показана траектория движения резца при обработке второй ступени вала: продольное перемещение резца на рабочем ходу из опорной точки 4 в опорную точку 5 (обработка цилиндрической поверхности  $\varnothing 32$  мм); радиальное перемещение резца на рабочем ходу из опорной точки 5 в опорную точку 6 (проточка второго торца детали) и ускоренное перемещение резца в исходную точку. На эскизах первого и второго переходов координаты исходной и опорных точек показаны в миллиметрах, а в таблицах соответствующих переходов — в миллиметрах и дискретах.

Рассмотрим составление УП для обработки ступенчатого вала, показанного на рис. 2.17, в. Технологический процесс содержит следующие переходы:

- точить поверхность  $\varnothing 74$  мм на длине 100 мм с глубиной резания  $t = 3$  мм; подачей  $S = 0,3$  мм/об; частотой вращения  $n = 500$  мин<sup>-1</sup> при прямом вращении шпинделя;
- точить поверхность  $\varnothing 69$  мм на длине 50 мм с  $t = 2,5$  мм;  $S = 0,3$  мм/об;  $n = 500$  мм<sup>-1</sup> при прямом вращении шпинделя;
- точить поверхность  $\varnothing 65$  мм на длине 25 мм с  $t = 2$  мм;  $S = 0,3$  мм/об;  $n = 500$  мм<sup>-1</sup> при прямом вращении шпинделя.

Выбирают инструмент и устанавливают его в револьверную головку станка. Для привязки инструмента выбирают нулевую точку с координатами  $z = 5$  мм от торца кулачка и  $x = 0$  (т. е. на оси центров станка). Исходную точку выбирают на длине 150 мм от нулевой точки и на диаметре 120 мм (т. е.  $x_{ит} = 15\,000$  и  $z_{ит} = 12\,000$ ), УП будет задана следующим набором кадров:

№ 0 M3 — задано прямое вращение шпинделя;

№ 1 M39 — задан средний диапазон частоты вращения шпинделя;

№ 2 S5 — задана частота вращения шпинделя  $n = 500$  мин<sup>-1</sup>;

№ 3 F30 — задана рабочая подача 0,3 мм/об;

№ 4 T1 — задан номер инструмента (резец для чернового точения);

№ 5 Z10100 ~ — подвод резца на ускоренном ходу в точку 101 мм по длине, т. е. не доходя на 1 мм до детали (это расстояние оставляют для того, чтобы, подходя на быстром ходу по оси  $X$ , резец не задевал заготовку);

№ 6 X7400 — подвод резца на ускоренном ходу в точку  $\varnothing 74$  мм;  
№ 7 Z0 — перемещение резца на рабочей подаче по оси Z (обрабатываемая поверхность  $\varnothing 74$  мм);

№ 8 X8100 — выход резца на рабочей подаче из заготовки вала по оси X до  $\varnothing 81$  мм (это делается, чтобы избежать изнашивания резца на обратном ускоренном ходу);

№ 9 Z10100 — отвод резца на ускоренном ходу по оси Z в начало обработки и остановка его на расстоянии 1 мм от заготовки по оси Z;

№ 10 X6900 — подвод резца на ускоренном ходу в точку с размером  $\varnothing 69$  мм (следующая ступень вала);

№ 11 Z5000 — перемещение резца на рабочей подаче по оси Z на 50 мм от нулевой точки, обрабатываемая поверхность —  $\varnothing 68$  мм;

№ 12 X7500 — выход резца на рабочей подаче из заготовки вала по оси X до точки  $\varnothing 75$  мм;

№ 13 Z10100 — отвод резца на ускоренном ходу по оси Z в начало обработки на 1 мм до заготовки вала;

№ 14 X6500 — подвод резца на ускоренном ходу в точку  $\varnothing 65$  мм последней ступени вала;

№ 15 Z7500 — перемещение резца на рабочей подаче по оси Z до длины 75 мм от нулевой точки с обработкой последней ступени заготовки вала;

№ 16 X7000 — выход резца на рабочей подаче из заготовки вала по оси X до точки  $\varnothing 70$  мм;

№ 17 X12000 — отвод резца на ускоренном ходу в исходную точку по оси X;

№ 18 Z15000 — отвод резца на ускоренном ходу в исходную точку по оси Z;

№ 19 M5 — автоматический останов шпинделя;

№ 20 M30 — конец программы.

Знак «~» означает отработку перемещений вдоль оси на ускоренном ходу.

Поверхности деталей, окончательную обработку которых на токарном станке с ЧПУ можно осуществлять проходным или расточным контурным резцом с главным углом в плане  $\varphi = 93^\circ$  и вспомогательным углом в плане  $\varphi_1 = 27 \dots 32^\circ$ , относят к **основным** — торцовые, цилиндрические и конические поверхности, а также поверхности с криволинейной образующей и неглубокие до 1 мм канавки и выточки. Поверхности, для формообразования которых требуется режущий инструмент, отличный от контурного резца, относят к **дополнительным**.

На токарных станках с ЧПУ обработку заготовок осуществляют по следующей технологической схеме:

- центрование, если диаметр сверла меньше 20 мм;
- сверление;
- подрезание торца;
- черновая обработка основных поверхностей;
- черновая обработка дополнительных поверхностей;
- чистовая обработка дополнительных поверхностей;
- чистовая обработка дополнительных поверхностей, не требующих черновой обработки;
- чистовая обработка основных поверхностей (при обработке в центрах первые три перехода нужно исключить).

На токарных станках с ЧПУ применяют резцы с многогранными перетачиваемыми твердосплавными пластинами (трехгранные, ромбические, пятигранные и чашечные) с механическим креплением. Использование пластин с покрытием из карбида титана и оксида алюминия повышает их стойкость в несколько раз. На этих станках применяют также резцы с напаянными пластинами из твердого сплава (отрезные, канавочные и расточные). Вспомогательный инструмент обеспечивает быструю и точную смену режущего инструмента, его настройку на размер вне станка и регулировку положения режущей кромки.

**Шлифование шеек валов.** Наиболее ответственными операциями, влияющими на конечную точность вала, являются операции отделочной обработки основных базирующих шеек вала, а также торцов шеек, определяющих положение вала и расположенных на нем деталей. Точность указанных поверхностей достигается шлифованием как в центрах, так и бесцентровым шлифованием. Валы шлифуют в центрах на круглошлифовальных станках типа 3К12 кругами зернистостью 25П—32П, твердостью СМ1—СМ2.

В зависимости от диаметра вала  $D$ , его длины  $L$  и их соотношения валы шлифуют методом продольной подачи, глубинного шлифования и методом врезания, т. е. методом поперечной подачи.

**Методом продольной подачи** шлифуют валы большой длины за несколько рабочих ходов с глубиной резания  $t = 0,03 \dots 0,1$  мм на ход или двойной ход стола (рис. 2.18, а).

**Методом глубинного шлифования** (рис. 2.18, б) обрабатывают шейки жестких валов при  $L/D < 10$ . Особенностью глубинного шлифования является повышенная глубина резания  $t = 0,1 \dots 0,4$  мм и подача  $S = 1 \dots 6$  мм/об, что позволяет обрабатывать деталь за

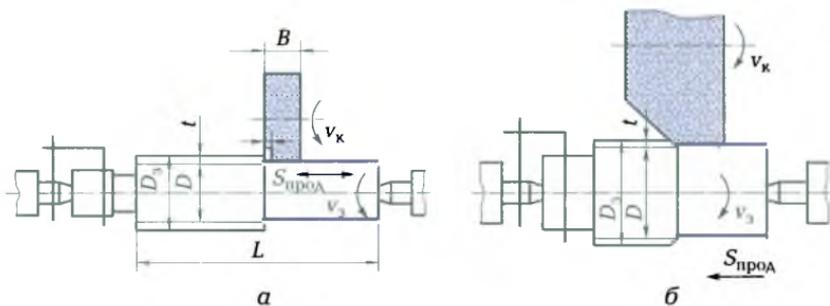


Рис. 2.18. Схемы наружного круглого шлифования в центрах с продольной подачей (а) и глубинного шлифования (б):

$D_3$  — диаметр заготовки до шлифования;  $D$  — диаметр детали после снятия припуска  $t$ ;  $S_{\text{прод}}$  — продольная подача;  $v_3$  — окружная скорость вращения заготовки;  $v_k$  — окружная скорость круга

один-два рабочих хода. Благодаря этому метод глубинного шлифования более экономичен.

Метод врезания используют, когда длина шлифуемой поверхности меньше ширины  $B$  круга. Шлифование продольной подачей и шлифование врезанием осуществляют также на бесцентровошлифовальных станках. Особенностью бесцентрового шлифования по сравнению со шлифованием в центрах является большая точность обработки, так как в этом случае не возникает погрешность фрезерно-центровальной операции (погрешность изготовления центровых отверстий), но нельзя достичь точной concentricity (соосности) отдельных шеек вала.

**Обработка шлицевых, шпоночных и резьбовых поверхностей вала. Обработка шлицевых поверхностей.** По конструкции шлицы бывают прямобочными, эвольвентными и других профилей. Шлицевые соединения с прямобочными шлицами выполняют с центрированием по внутреннему  $d$  или наружному  $D$  диаметрам и ширине шлицов  $b$  (рис. 2.19, а). При эвольвентных шлицах центрирование осуществляют по боковому профилю шлица. Качество шлицевого вала определяется точностью диаметральных размеров ступеней, их соосностью, точностью ширины и шага шлицов, твердостью и шероховатостью центрирующих и других поверхностей. На эти элементы устанавливают нормы точности.

Шлицы на валах нарезают фрезерованием, строганием, протягиванием и холодным накатыванием. Обработка шлицов зависит от способа центрирования шлицевого соединения, вида термической обработки и серийности производства. В серийном производ-

стве шлицы обычно нарезают на шлице- или зубофрезерных станках червячными фрезами методом обкатки. Таким способом нарезают шлицы за один-два рабочих хода в зависимости от требуемой точности. В качестве технологических баз используют центровые отверстия вала. У закаливаемых валов шлицы фрезеруют после предварительного наружного шлифования, у незакаливаемых — после чистового шлифования наружных поверхностей вала.

Нарезание прямобочных шлицов на валах в крупносерийном производстве осуществляется фрезерованием фасонными дисковыми фрезами с последующим шлифованием поверхностей шлицов. Обработку выполняют на механизированных горизонтально-фрезерных станках. Заготовку закрепляют в центрах делительной головки, установленной на столе станка. Такой метод нарезания шлицов в 3—4 раза производительнее, чем обработка на шлице- и зубофрезерных станках.

Прогрессивным способом получения шлицов является также контурное шлицедолбление методом копирования набором фасонных резцов 3, собранных в корпусе 5 головки (рис. 2.19, б), их число и профиль соответствуют числу шлицов и профилю впадины между шлицами вала. За каждый двойной ход резцы 3 сходятся к центру заготовки 1 вала на глубину установленной подачи. Этим методом можно обрабатывать сквозные и несквозные шлицы.

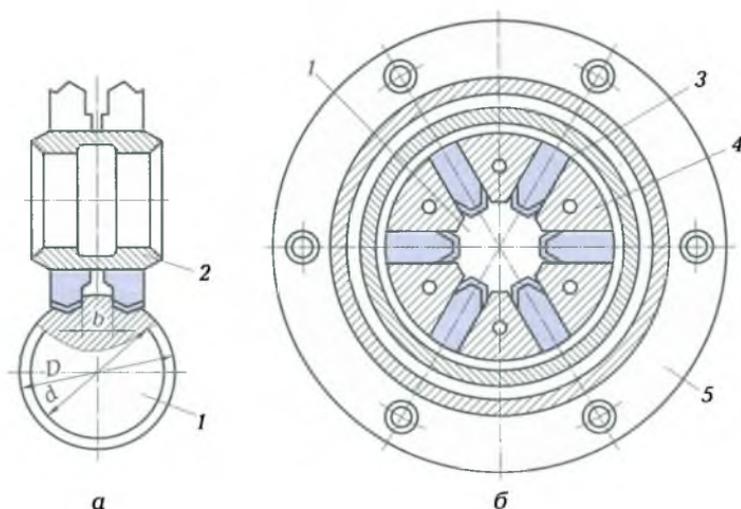


Рис. 2.19. Схема нарезания шлицов на валах фасонными фрезами (а) и резцовая головка шлицестрогального станка (б):

1 — заготовка; 2 — фреза; 3 — резец; 4 — направляющая; 5 — корпус головки

В последнем случае необходимо в конструкциях вала предусмотреть канавку размером 6...8 мм для выхода стружки. При этом шероховатость обработанной поверхности  $Ra$  2,5...1,25 мкм.

Шлицепротягивание производят двумя блочными протяжками одновременно с двух диаметрально противоположных впадин на валу с последующим поворотом вала на угол  $\alpha = 360^\circ/z$ , где  $z$  — число шлицов. Блок протяжки состоит из набора резцов, имеющих независимое радиальное перемещение. Этот метод позволяет обрабатывать сквозные и несквозные шлицы.

По производительности шлицеобработка и шлицепротягивание в 5—8 раз (в зависимости от размеров шлицов) превосходят шлицефрезерование. Перспективен метод холодного накатывания шлицов, при котором их профиль образуется пластическим деформированием роликами, рейками и многороликовыми профильными головками без снятия стружки. Уплотнение слоя металла при накатывании повышает прочность шлицевых валов. Иногда холодное накатывание позволяет отказаться от термической обработки валов и дальнейшей механической обработки шлицов. Холодной накаткой в основном выполняют эвольвентные шлицы.

Шлицы эвольвентного профиля с модулем до 2,5 мм получают холодным накатыванием двумя или тремя роликами, которые устанавливают по делительной окружности предварительно обработанной заготовки с учетом упругих деформаций технологической системы. Накатные ролики изготавливают из высоколегированных сталей марок Х122ФН и Х6ФН. Одним и тем же роликом определенного модуля можно обработать валы с различным числом шлицов. Накатыванию подвергают заготовки с твердостью не более 220 НВ. Получаемая точность по шагу 0,01...0,03 мм, накопленная погрешность по шагу 0,05...0,1 мм, шероховатость  $Ra$  0,63...0,32 мм. В зависимости от длины шлицов производительность при накатывании в 10 раз выше, чем при шлицефрезеровании.

Большинство термообработанных шлицевых поверхностей, центрируемых по поверхности внутреннего диаметра, после нарезания шлицов подвергают дальнейшему шлицешлифованию. Поверхности, образующие профиль шлицов на валах, центрируемых по поверхности внутреннего диаметра, шлифуют профильным фасонным кругом за один установ. За два установка шлифуют боковые поверхности шлицов двумя цилиндрическими кругами, а затем шлифуют поверхность внутреннего центрирующего диаметра профильным кругом.

По точности и производительности наилучшие результаты дает шлифование шлицов одним профильным кругом. Шлицевые валы

с центрированием по наружному диаметру шлифуют на круглошлифовальных станках, а затем фрезеруют шлицы, что позволяет обходиться одним комплексным калибром-втулкой.

**Обработка шпоночных поверхностей.** Шпоночные канавки на валах могут быть закрытыми для установки призматических шпонок (рис. 2.20, а), открытыми для установки призматических и клиновых шпонок с плоским торцом (рис. 2.20, б), а также сегментных шпонок (рис. 2.20, в). Шпоночные пазы в зависимости от их формы обрабатывают концевыми или дисковыми фрезами на обычных фрезерных или специальных станках (шпоночно-фрезерных), работающих по маятниковому методу, который заключается в снятии шпоночными двухзубыми концевыми фрезами небольших слоев металла за каждый ход.

В случае открытой канавки наиболее производительным методом является фрезерование дисковой фрезой. Канавки под сегментные шпонки фрезеруют на вертикальных и горизонтально-фрезерных станках дисковой фрезой (рис. 2.21).

**Обработка резьбовых поверхностей.** Наружную резьбу на валах в зависимости от технических условий, масштаба выпуска и имеющегося оборудования нарезают плашками, резьбовыми резцами, гребенками, резьбовыми фрезами, резьбонарезными и резьбонакатными головками, накатными роликами.

**Круглыми плашками** нарезают резьбу низкого класса точности (8h—8g квалитеты). Плашками с центрозаточенными режущими кромками до высокой степени точности можно калибровать резьбу среднего и высокого классов точности (6g—4h квалитеты).

**Резьбовыми резцами** нарезают резьбу на токарно-винторезных станках. Так как резьбовой резец представляет собой проходной резец с углом при вершине  $60^\circ$  (для нарезания метрической резь-

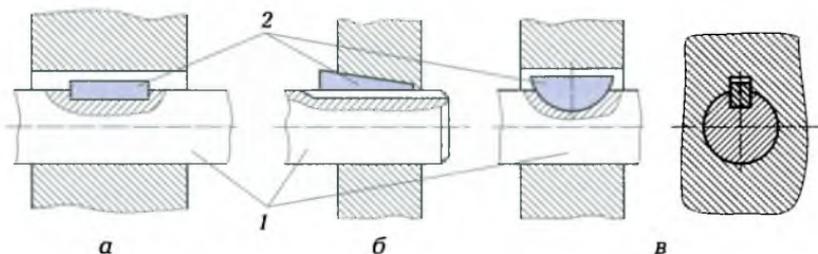


Рис. 2.20. Шпоночные соединения с призматической (а), клиновой (б) и сегментной (в) шпонкой:

1 — вал; 2 — шпонка

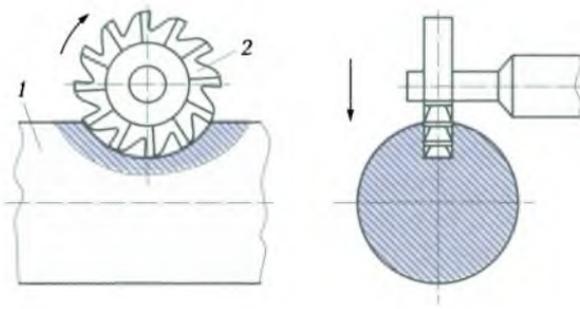


Рис. 2.21. Схема фрезерования шпоночной канавки для сегментной шпонки:

1 — вал; 2 — дисковая фреза

бы) или  $55^\circ$  (для нарезания дюймовой резьбы) и имеет одну главную режущую кромку, нарезание резьбы осуществляют за несколько рабочих ходов, что является неэкономичным. Нарезание резьбы резьбовым резцом осуществляют в единичном и мелкосерийном производстве при отсутствии плашек, метчиков и без обработки точных резьб.

Фрезерование крепежной резьбы на резьбофрезерных станках **гребенчатыми фрезами**, а также крупной резьбы дисковыми фрезами осуществляют в средне- и крупносерийном производстве. Получаемая точность довольно низкая, поэтому дисковыми фрезами выполняют предварительную обработку.

Резьбу небольшого диаметра получают **накатыванием роликами**, закрепленными в державке. Диаметр заготовки должен соответствовать среднему диаметру нарезаемой резьбы. Накатывание резьбы осуществляется на токарно-винторезных станках и специальных автоматах.

Получение резьбы методом шлифования осуществляют на резьбошлифовальных станках шлифовальным кругом, профиль которого соответствует профилю впадины нарезаемой резьбы.

**Отделочная обработка валов.** Кроме шлифования наиболее ответственные поверхности валов подвергают отделочной обработке: притирке, суперфинишированию, обкатке роликами и полированию.

**Притирку** осуществляют притирами, на поверхность которых наносят шлифпорошок, смешанный со смазочным материалом, или пасту. В качестве шлифовального материала используют наждачную бумагу, электрокорунд, алмазную пыль и т.д. Во время

притирки шлифовальный порошок смачивают керосином. Припуск на притирку составляет 0,005 ... 0,02 мм.

**Суперфинишование** применяют для обработки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей с получением наименьшей шероховатости, его производят шлифовальными брусками, совершающими колебательные возвратно-поступательные движения с большой частотой по поверхности вращающейся заготовки. Припуск на суперфиниш не оставляют, поскольку процесс заключается в снятии гребешков, оставшихся от предыдущей обработки. При этом размеры изменяются на 1 ... 2 мкм.

При **полировании** происходит сглаживание поверхностных неровностей, а съем металла или вовсе не имеет места, или очень мал. После полирования поверхность достигает зеркального блеска. Полирование осуществляют войлочными кругами с применением электрокорундовых микропорошков зернистостью М20 — М14.

**Обкатывание** цилиндрических поверхностей роликами приводит к снижению концентраций напряжений, что повышает долговечность деталей, работающих при знакопеременной нагрузке. В процессе обкатывания улучшается также шероховатость обрабатываемой поверхности с 5 до 0,32 мкм. Погрешность формы заготовок обкатыванием исправляется незначительно.

**Приспособления для токарных станков.** Для установки и крепления заготовок валов применяемые на токарных станках приспособления можно подразделить на приспособления для установки валов на центровых отверстиях для передачи вращательного момента от шпинделя и приспособления для крепления валов за опорные шейки.

К первой группе относят **центры, поводковые патроны и люнеты**. Центры бывают упорные, вращающиеся, поводковые, плавающие, плавающе-поводковые и др. Разработаны конструкции поводковых патронов, которые обеспечивают автоматическое крепление деталей в центрах при минимальной затрате вспомогательного времени и физической силы рабочего. В этих патронах перемещение кулачков для зажима осуществляется с помощью сил резания, инерционных сил или энергии пневмопривода. При обработке нежестких валов с отношением длины к диаметру больше 10 в качестве подводимых опор используют подвижные и неподвижные люнеты, которые крепят на каретке станка или станине.

Ко второй группе относят **самоцентрирующие и несамодцентрирующие патроны, цанговые патроны и консольные оправки для крепления валов по наружным шейкам**. Для наружного обтачивания валов на токарных станках наибольшее применение

нашел трехкулачковый самоцентрирующий патрон с пневмо- и гидроприводом, а также с ручным управлением. Погрешность установки заготовок в этих патронах достигает 0,1 мм. Цанговые патроны, используемые при обработке валов, имеют преимущества перед кулачковыми в более точном центрировании заготовок (0,04... 0,06 мм), они не портят зажимаемую поверхность и не вызывают деформаций при креплении заготовок.

**Обработка валов в условиях ГПС.** В настоящее время для обработки валов используют ГПС, состоящие из оборудования с ЧПУ, управляемого от ЭВМ. Гибкие производственные системы — это несколько единиц технологического оборудования, снабженного средствами и системами, обеспечивающими функционирование оборудования в автоматическом режиме. Данная система обладает свойством автоматизированной переналадки при переходе на производство новых деталей в пределах заданной номенклатуры (ГОСТ 26228—90 «Системы производственные гибкие. Термины и определения, номенклатура показателей»).

В ГПС кроме основных операций, связанных с обработкой заготовок, автоматизированы также вспомогательные операции: доставка на рабочее место заготовок, оснастки, режущего и измерительного инструмента, их замена и подналадка; диагностирование технического состояния оборудования и инструмента; автоматическая корректировка УП; планирование и управление производством и др. Управление ГПС осуществляется от автоматизированных систем управления (АСУ), построенных на базе ЭВМ.

Автоматизированная система управления выполняет:

- автоматическое проектирование изготавливаемых деталей и необходимые технологические процессы, что реализуется системой автоматического проектирования (САПР);
- планирование производства и загрузки оборудования, реализуемые автоматизированной системой управления производством (АСУП);
- технологическую подготовку производства (ТПП), в том числе подготовку УП, реализуемую автоматизированной системой технологической подготовки производства (АСТПП) и др.

По организационным признакам ГПС подразделяют на следующие виды:

- гибкая автоматизированная линия (ГАЛ);
- гибкий автоматизированный участок (ГАУ);
- гибкий автоматизированный цех (ГАЦ).

В производстве ГПС является обобщенным понятием, относящимся ко всем видам организационных структур автоматизированного производства.

Верхний уровень ГПС — гибкий автоматизированный завод (ГАЗ), который состоит из отдельных ГАЦ, которые включают в себя ГАЛ и ГАУ. В состав ГАЗ может также входить и неавтоматизированное оборудование. Гибкие автоматизированные участки и линии, имеющие в своем составе ПР, называют роботизированными технологическими линиями или участками.

В ГАУ и ГАЛ входят гибкие производственные модули (ГПМ) или отдельные единицы технологического оборудования. Гибкий производственный модуль — это единица технологического оборудования, оснащенная системой ЧПУ или каким-либо другим устройством программного управления и функционирующая как самостоятельно, так и в составе ГПС. При этом все другие функции, связанные с изготовлением детали, должны осуществляться автоматически.

В общем случае средства автоматизации ГПМ включают в себя:

- накопители заготовок, режущего и измерительного инструментов, технологической оснастки;
- устройство автоматической загрузки и выгрузки деталей;
- устройство удаления стружки;
- устройства автоматизированного контроля, диагностирования состояния оборудования и инструмента и т. д.

Совокупность единицы технологического оборудования, ПР и средств оснащения, функционирующую автономно и осуществляющую многократные рабочие циклы, называют роботизированным технологическим комплексом (РТК).

В целом ГАЛ — это ГПС, состоящая из ГПМ, РТК или другого технологического оборудования, объединенного АСУ. Технологическое оборудование в ГАЛ располагается в соответствии с принятой последовательностью технологических операций (рис. 2.22). На ГАЛ в отличие от автоматических линий можно обрабатывать детали различных конструкций, которые по технологии обработки аналогичны ранее изготавливаемым деталям.

В общем случае ГАУ — это ГПС, состоящая из ГПМ, РТК или другого оборудования, объединенных АСУ, в которой в отличие от ГАЛ имеется возможность изменения последовательности использования оборудования, что обеспечивает его оптимальную загрузку (рис. 2.23).

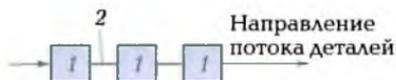


Рис. 2.22. Схема компоновки гибкой автоматизированной линии:  
1 — оборудование; 2 — транспортная система (конвейер)

Отечественные ГПС, применяемые для обработки тел вращения, имеют индекс АСВ (автоматизированные системы обработки тел вращения), ГАУ типа АСВ предназначены для обработки (токарной, фрезерной, сверлильной и др.) деталей типа тел вращения (валов, фланцев и др.) в условиях среднесерийного производства. В состав ГАУ типа АСВ входят токарные и многоцелевые (сверлильно-фрезерные) станки с ЧПУ. При необходимости в ГАУ включают шлифовальные, зубообрабатывающие и другие станки.

Станки одного технологического назначения выбирают одной модели, что обеспечивает их технологическую взаимозаменяемость. На АСВ выполняют предварительные и окончательные операции обработки ступенчатых и криволинейных наружных, внутренних, торцовых поверхностей, резбонарезание, сверление, зенкерование, развертывание отверстий, фрезерование лысок, пазов, контуров и т. д.

На ГАУ типа АСВ обрабатывают детали типа тел вращения диаметром до 250 мм и длиной до 1 000 мм (АСВ-20, АСВ-21, АСВ-22, АСВ-23, АСВ-24). При обработке используют типовые процессы, основанные на типизации технологических маршрутов, способов базирования и крепления заготовок, последовательности выполнения переходов, режущих инструментов и оснастки, режимов резания, приспособлений и оборудования с ЧПУ.

Для изготовления сложных деталей в ГАЛ встраивают специализированные и специальные станки с ЧПУ (для которых характерно ограниченное число одновременно работающих инструмен-

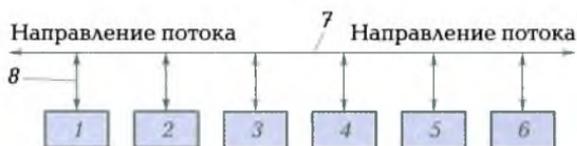


Рис. 2.23. Схема компоновки гибкого автоматизированного участка:  
1–6 — оборудование; 7 — конвейер; 8 — отводящие конвейеры

тов), служащие для выполнения точения, шлифования, накатки резьбы, фрезерования торцов, центрирования и др. При переходе на обработку заготовки детали новой модификации производство останавливают и перенастраивают оборудование и системы управления. Для транспортирования заготовок в ГАЛ служат конвейеры, являющиеся одновременно и межоперационными накопителями.

На рис. 2.24 представлен многостаночный РТК, состоящий из трех токарных станков 1, обслуживаемых одним ПР 4 (компоновка типа робот — группа станков). Конвейер-накопитель 3 служит для перемещения приемных столов (ПС) с установленными в них заготовками, ПС перемещаются на шаг и выводят новые заготовки на позицию захвата ПР, а на освободившуюся позицию ПС робот устанавливает обработанную деталь. Один раз в смену оператор снимает готовые детали и устанавливает новые заготовки в ПС. Такой конвейер является тактовым столом для хранения заготовок. Робот в

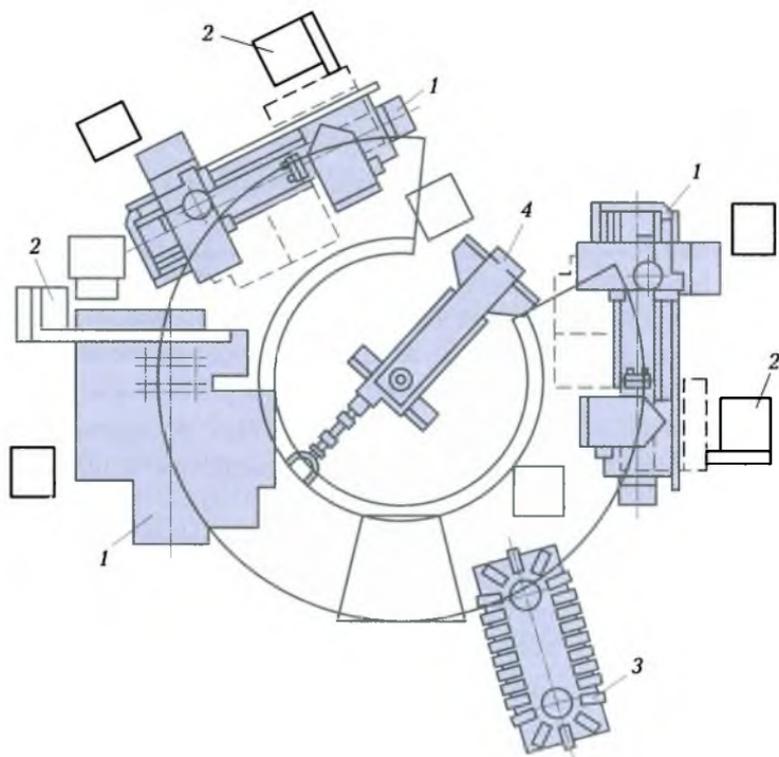


Рис. 2.24. Многостаночный роботизированный технологический комплекс

РТК оснащен, как правило, универсальным захватом, имеющим широкий диапазон регулирования, что обеспечивает обработку деталей широкой номенклатуры в любой технологической последовательности. Управление РТК осуществляется от малой ЭВМ 2.

## 2.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

**Типизация и группирование зубчатых колес.** Цилиндрические зубчатые колеса служат для передачи вращательного движения между двумя параллельными или перекрещивающимися валами.

Различают силовые зубчатые передачи, служащие для передачи крутящего момента с изменением частоты вращения валов, и кинематические зубчатые передачи, служащие для передачи вращательного движения между валами при малых значениях крутящего момента.

Цилиндрические зубчатые колеса изготавливают с прямыми и косыми зубьями. В зубчатой передаче с перекрещивающимися осями применяют колеса с криволинейными зубьями.

В соответствии с ГОСТ 1643—81 установлено 12 степеней точности зубчатых колес (в порядке убывания точности): 1, 2, ..., 11, 12.

Конструкция зубчатых колес связана с их служебным назначением. По технологическим признакам зубчатые колеса принято подразделять на пять типов:

- тип I — одновенцовые (рис. 2.25, а) с большой длиной базового отверстия  $l$  (отношение  $l/D > 1$ , где  $D$  — диаметр колеса). При изготовлении этих колес в качестве технологических баз используют поверхность отверстия и большой торец;
- тип II — многовенцовые (рис. 2.25, б), которые также имеют соотношение  $l/D > 1$  (базирование при изготовлении такое же, как и колеса типа I);
- тип III — одновенцовые (рис. 2.25, в) типа дисков, у которых отношение  $l/D < 1$ . Технологическими базами при обработке таких колес являются большой торец (установочная база) и поверхность отверстия (опорная база);
- тип IV — венцы (рис. 2.25, г), которые после обработки насаживают и закрепляют на ступице колеса и вместе с ней образуют одно- или многовенцовые зубчатые колеса;
- тип V — зубчатые колеса-валы (рис. 2.25, г), которые имеют большую длину. Технологическими базами при

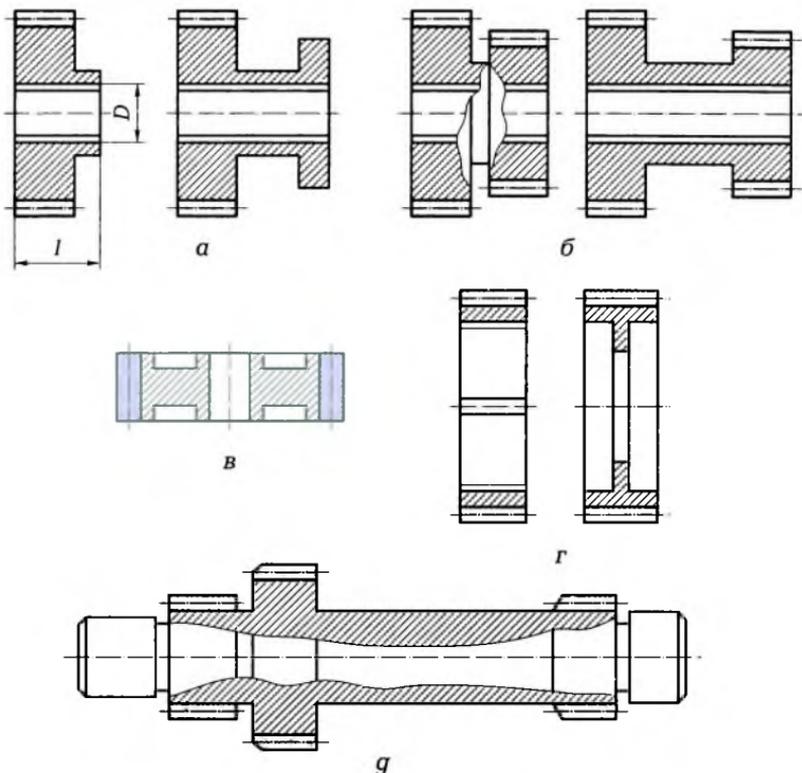


Рис. 2.25. Основные типы зубчатых колес (а—д)

их обработке являются поверхности центровых отверстий;

- тип VI — зубчатые колеса авиационных двигателей, которые можно выделить в особую группу, так как они работают с большими нагрузками на зуб (700...800 Н/мм длины зуба). Эти зубчатые колеса должны быть легкими и надежными в работе, поэтому их делают ажурными, но с достаточным запасом прочности. Эвольвентную поверхность зубьев в большинстве случаев цементируют или азотируют. Глубину слоя цементации выдерживают в пределах 0,7...1,2 мм, а глубину слоя азотизации выдерживают в пределах 0,3...0,6 мм с последующим снятием небольшого припуска шлифованием.

Марки сталей для зубчатых колес, вид термообработки и механические свойства материала приведены в табл. 2.3.

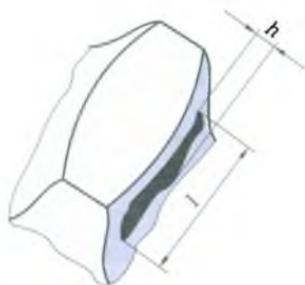


Рис. 2.26. Пятно контакта при бочкообразной форме зуба

Хромоникелевые цементируемые стали с малым содержанием углерода, из которых делают почти все зубчатые колеса авиационных двигателей, обладают после цементации, закалки и отпуска высокой твердостью цементируемой поверхности и низкой твердостью сердцевины. Это обеспечивает высокую контактную прочность поверхности зубьев и большую ударную вязкость их сердцевины, предохраняющую зубья при вибрационной нагрузке от появления трещин и преждевременного разрушения.

Таблица 2.3. Марки сталей, вид термообработки и механические свойства материала

Марка стали	Вид термообработки	Прочность $\sigma_{вн}$ , $10^5 \text{ Н/м}^2$	Твердость	
			сердцевины НВ	поверхности зуба HRC
37ХНЗА	Закалка, отпуск	115	352...415	—
40ХНМА		110	293...375	
18ХНВА		115...120	321...388	
18ХНВА	Цементация, закалка, отпуск	115...120	321...388	58...62
12Х2НВФА		100	285...388	60...65
ЭИ712		100	285...388	60...65
20Х3МВФА		Закалка, азотизация	90	306...359
ЭИ415	90		306...359	
ЭИ69	72		197...285	
38ХМЮА	100		302...340	

Наибольшее распространение получили зубчатые колеса 5—8-й степеней точности, для которых рекомендуется окружная скорость 2,5... 40 м/с. Соотношение степени точности, параметра шероховатости  $R_a$ , окружной скорости и величины пятна контакта зуба ( $h$  и  $l$ ) (рис. 2.26) показано в табл. 2.4.

Допуски на изготовление зубчатых колес задают в зависимости от степени точности по ГОСТ 1643—81. Допуск на накопленную погрешность шага  $F_p$  по зубчатому колесу с диаметром делительной окружности 80... 120 мм и модулем 1... 6 мм для 5-й степени точности — 22 мкм, для 6-й — 34 мкм, для 7-й — 48 мкм, для 8-й — 67 мкм.

Допуск на радиальное биение зубчатого венца  $F_r$  колеса с диаметром делительной окружности 50... 125 мм и модулем 3,5... 6 мм для 5-й степени точности — 19 мкм, для 6-й — 30 мкм, для 7-й — 42 мкм, для 8-й — 53 мкм.

При изготовлении зубчатых колес высокой степени точности важно обеспечить заданное отклонение от перпендикулярности торца зубчатого колеса оси его центрального отверстия до зубонарезания.

В табл. 2.5 приведены требования к торцовому биению заготовок зубчатых колес после их токарной обработки до нарезания зуба. Биение окружности выступов для колес диаметром 50... 200 мм должно составлять не более 15... 30 мкм (6-я, 7-я степени точности), биение по торцам колес перед окончательным шлифованием зубьев для 5-й степени точности — не более 3 мкм, для 6-й — 5 мкм.

Точность базового отверстия, достигаемая до нарезания зуба, соответствует 7-му качеству, а для прецизионных колес 5-й, 6-й степеней точности 5-му, 6-му качествам.

**Таблица 2.4. Степени точности, окружная скорость, шероховатость и величина пятна контакта зуба зубчатого колеса**

Окружная скорость, м/с	Степени точности	Шероховатость $R_a$ , мкм	Пятно контакта, %, не менее	
			по высоте $h$	по длине $l$
До 2,5	8	2,5... 1,25	40	50
2,5... 6	7, 8	1,25... 0,63	45... 40	50... 60
6... 16	6, 7	1,25... 0,63	45... 50	60... 70
16... 40	5, 6	0,63... 0,32	50... 55	70... 80

**Таблица 2.5. Требования к торцовому биению заготовки зубчатого колеса, мкм, обработанной до зубонарезания**

Степень точности колеса	Радиус колеса, мм			
	50	100	150	200
5	10	20	30	40
6	15	30	45	60
7	20	40	60	80
8	25	50	75	100

**Материал и методы получения заготовок зубчатых колес.** Зубчатые колеса изготавливают из конструкционных сталей марок 45 и 50, легированных сталей марок 40Х, 18ХГТ, 12ХНЗА, синтетических материалов (текстолит, нейлон), серого чугуна и бронзы.

Заготовками для стальных зубчатых колес являются штампованные поковки и горячекатаный прокат. Цилиндрические колеса диаметром до 50 мм и плоские колеса без ступицы диаметром до 65 мм получают из круглого горячекатаного проката, а цилиндрические колеса диаметром более 80 мм в среднесерийном производстве — из поволоков, изготавливаемых штамповкой на прессах и молотах.

В крупносерийном производстве заготовки для зубчатых колес получают горячей высадкой на горизонтально-ковочных машинах из проката.

**Основные этапы обработки зубчатых колес.** Изготовление зубчатых колес осуществляется в несколько этапов:

- первый этап — обработка наружных и внутренних поверхностей зубчатого колеса до нарезания зубьев;
- второй этап — обработка зубьев;
- третий этап — термическая обработка зубчатого колеса;
- четвертый этап — окончательная обработка зубьев и других поверхностей.

На первом этапе окончательно обрабатывают наружные и торцовые поверхности. Центральное отверстие обрабатывают по 7-му качеству, так как оно является базой для нарезания зубьев.

При отсутствии термической обработки обработку зубьев осуществляют на зубонарезных станках методом обкатки или на фрезерных станках методом копирования. При этом необходимо оставить припуск на шлифование. Термическая обработка заклю-

чается в закалке зубчатого венца ТВЧ. Если при термической обработке зубья деформировались, необходим четвертый этап обработки.

**Типовые технологические процессы обработки зубчатых колес до нарезания зубьев.** Данные процессы определяются типом зубчатого колеса, его степенью точности и серийностью производства. Заготовки зубчатых колес обрабатывают на токарно-револьверных, горизонтальных и вертикальных многошпиндельных токарных, многорезцовых, гидрокопировальных и токарно-винторезных станках, станках с ЧПУ, автоматических линиях, сверлильных, горизонтально- и вертикально-протяжных станках.

Рассмотрим несколько вариантов типовых технологических процессов выполнения первого этапа изготовления зубчатых колес.

**Первый вариант** — обработка зубчатого колеса типа I (см. рис. 2.25, а): колесо одновенцовое диаметром до 80 мм; центральное отверстие — шлицевое с центрированием по наружному диаметру; производство — крупносерийное; заготовка — штамповка.

Типовой технологический процесс состоит из следующих операций:

- 05 — сверлильная: сверлить отверстие на вертикально-сверлильном станке мод. 2А125 в трехкулачковом патроне; базирование — по наружному венцу и большому торцу;
- 10 — протяжная: протянуть шлицевое отверстие на горизонтально-протяжном станке мод. 7Б55;
- 15 — токарная: обточить наружную поверхность и торцы на токарном гидрокопировальном станке мод. 1Н713 в шлицевой оправке; базирование заготовки — по отверстию.

**Второй вариант** — обработка заготовки (рис. 2.27) зубчатого колеса типа III диаметром 100... 250 мм; производство — среднесерийное; зубья подвергают закалке ТВЧ; заготовка — штамповка.

Типовой технологический процесс включает в себя следующие операции:

- 05 — токарная: обработать центральное отверстие с точностью, соответствующей 7-му качеству, и один торец на токарно-револьверном станке мод. 1А340 в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне; базирование заготовки — по наружной поверхности и торцу;
- 10 — токарная: обработать противоположный торец на токарно-револьверном станке мод. 1А340 в оправке; ба-

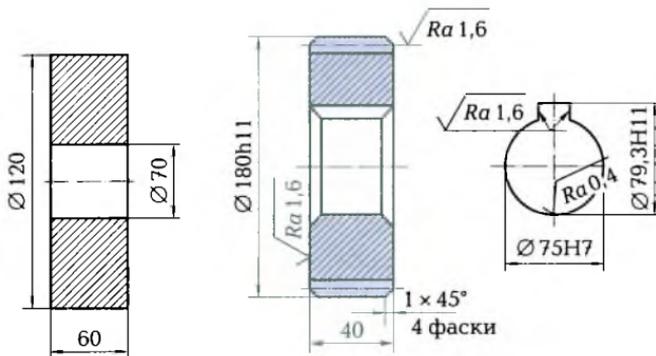


Рис. 2.27. Обработка заготовки зубчатого колеса типа III

зирование — по центральному отверстию и обработанному торцу;

- 15 — шлифование: шлифовать торцы окончательно на плоскошлифовальном станке;
- 20 — токарная: обработать наружную поверхность зубчатого венца и фаски на токарно-многолезцовом станке мод. 1A720.

Зубчатые колеса-валы обрабатывают на оправках или в центрах, поэтому первой операцией является фрезерование. После обработки технологических баз заготовку обрабатывают на токарных многолезцовых или гидрокопировальных станках. Затем осуществляют фрезерование шпоночных канавок, шлицов, нарезание зубьев и их окончательную обработку.

Обработку зубьев производят методом обкатки и копирования (табл. 2.6). Обработка методом копирования осуществляется в единичном производстве из-за малой точности обработки. Зубья методом обкатки получают в результате взаимного зацепления режущего инструмента с нарезаемым зубчатым колесом. Точность метода обкатки выше точности метода копирования. Обработку методом копирования осуществляют фрезерованием зубьев дисковыми и пальцевыми модульными фрезами на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках с использованием делительных головок, точность обработки — 10-я степень и грубее (рис. 2.28).

При одновременной обработке нескольких заготовок используют заднюю бабку (рис. 2.29). Во время обработки модульная фреза совершает вращательное движение (движение резания), а заготовка со столом — поступательное движение (движение подачи). После

Таблица 2.6. Типовые способы обработки зубьев зубчатых колес

Способ обработки зубьев	Режущий инструмент и его точность	Станок	Степени точности колеса	Тип производства
Фрезерование с помощью делительной головки	Дисковые и пальцевые модульные фрезы	Горизонтально- и вертикально-фрезерный	10 и грубее	Единичное и мелкосерийное
	Комплект дисковых модульных фрез из 15 шт.		8 и грубее	
Фрезерование или накатывание	Червячные модульные фрезы	Зубофрезерный класса Н	9	Серийное и массовое
Фрезерование	Червячные модульные фрезы	Зубофрезерный класса Н	8	
		Зубофрезерный класса П	7	
	Фрезы	Зубофрезерный класса Н	—	
	Червячные модульные фрезы		6	
Накатывание или протягивание	Накатки и протяжки	Накатной протяжной	7, 8	
Долбление	Долбяки	Зубодолбежный класса Н	7	
Шлифование	Шлифовальные круги	Зубошлифовальный	6	
	Червячные шлифовальные круги		—	
			5, 6	
Протягивание	Протяжка	Протяжной	5, 6	

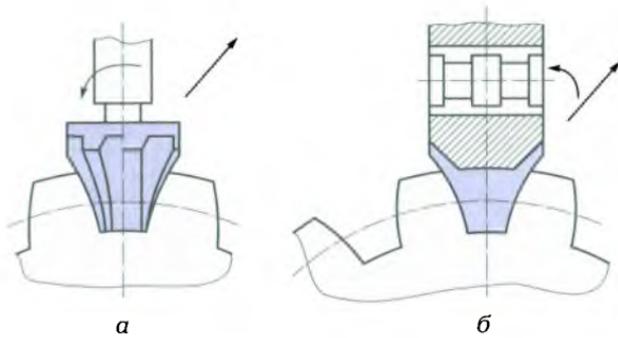


Рис. 2.28. Фрезерование зубчатых колес методом копирования пальцевой (а) и дисковой (б) модульной фрезой

того как фреза обработала одну впадину, заготовку с помощью делительной головки поворачивают на угол  $\alpha = 360^\circ/z$  ( $z$  — число зубьев нарезаемого колеса), а затем прорезают следующую впадину.

При нарезании зубчатых колес метод обкатки нашел широкое применение. Образование зубьев при фрезеровании червячной модульной фрезой 1 осуществляют в результате взаимного зацепления червячной фрезы с нарезаемым зубчатым колесом (рис. 2.30, а). Червячными фрезами нарезают зубчатые колеса с прямы-

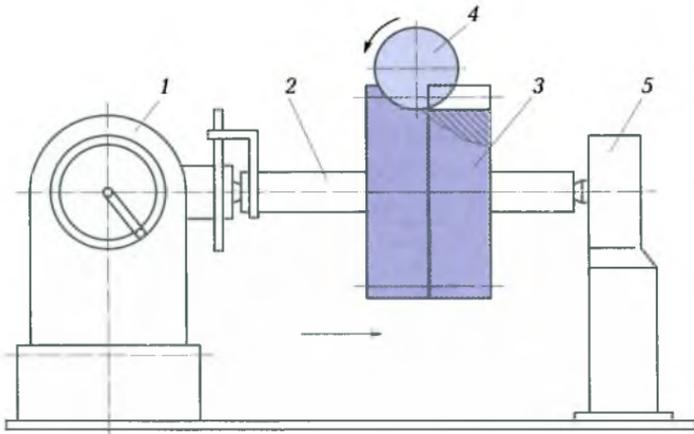


Рис. 2.29. Схема нарезания цилиндрического зубчатого колеса методом копирования:

1 — делительная головка; 2 — оправка; 3 — заготовка; 4 — дисковая модульная фреза; 5 — задняя бабка

ми и спиральными зубьями. При этом червячную фрезу устанавливают так, чтобы направление витков ее спирали совпадало с направлением зубьев колеса. Если угол наклона витков червячной фрезы  $\omega$ , для получения зуба под углом  $\gamma$  к его оси червячную фрезу необходимо установить под углом  $\alpha = \omega - \gamma$ .

Нарезание зубьев с помощью круглых долбяков 2 осуществляют на зубодолбежных станках, на которых можно нарезать зубчатые колеса наружного и внутреннего зацепления с прямым и косым зубом (рис. 2.30, б).

Все большее распространение приобретает безотходная технология формирования зубьев зубчатых колес — процессы холодного и горячего накатывания зубьев. Эти способы обеспечивают получение зубчатых колес 7-й степени точности при модуле до 3 мм. Холодное накатывание используют как окончательную операцию при обработке зубьев, заменяющую шевингование. После зубофрезерования холодное накатывание позволяет получить зубчатые колеса 7—8-й степени точности.

Отделочные операции обработки зубьев осуществляют на шевинговальных, шлифовальных и хонинговальных станках. Шевингование применяют для уменьшения волнистости на поверхности зубьев специальным инструментом — шевером, соскабливающим с поверхности зуба стружку толщиной 0,005...0,1 мм. Шевингование уменьшает радиальное биение венца колеса, погрешность профиля и шероховатость рабочей поверхности зуба.

Зубья закаленных и незакаленных зубчатых колес 5—7-й степеней точности подвергают шлифованию. Для этого используют:

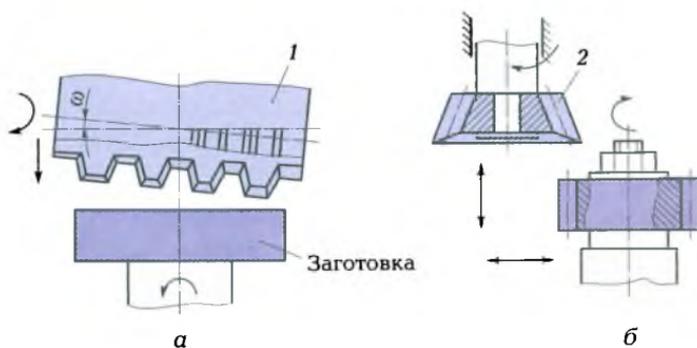


Рис. 2.30. Схема нарезания зубчатых колес методом обкатки червячной фрезой на зубофрезерном станке (а) и долбяком на зубодолбежном станке (б)

- копирование, когда каждую впадину между зубьями шлифуют фасонным кругом;
- обкатку зуба дисковыми коническими кругами с прямолинейными боковыми сторонами профиля (получают 7-ю, 6-ю степени точности);
- обкатку зуба шлифовальным кругом.

Для обработки зубьев после термической обработки применяют хонингование. Хон имеет форму зубчатого колеса. Хонингованием обрабатывают колеса с модулем 1,5...6 мм с припуском не более 0,02...0,05 мм. Хонингование уменьшает шероховатость поверхности, его применяют при обработке зубчатых колес 7-й степени точности после термической обработки шевингованных зубчатых колес.

**Типовые процессы изготовления зубчатых колес типа I и III.** Обработка зубчатого колеса типа I (рис. 2.31) диаметром 100...250 мм; производство — среднесерийное; заготовка — штамповка с отверстием; материал — сталь 45; степень точности — 6.

Типовой технологический процесс включает в себя следующие операции:

- 05 — токарная: обработать отверстие диаметром 65H7, бóльший торец и наружную поверхность диаметром 150,12 мм и выточки окончательно на станке мод. 16К20Ф3 в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне; базирование заготовки — по поверхности диаметром 90f7 и меньшему торцу;

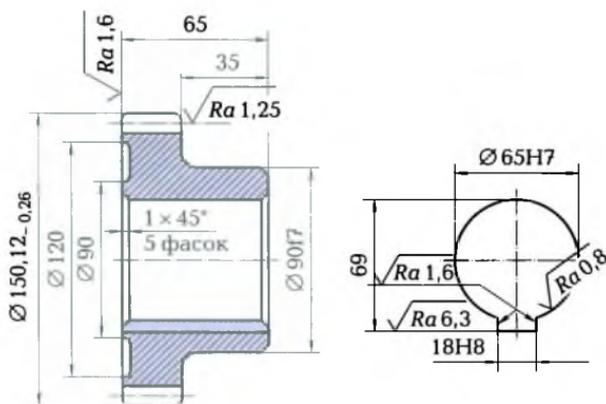


Рис. 2.31. Зубчатое колесо типа I

- 10 — протягивание: протянуть шпоночный паз на горизонтально-протяжном станке мод. 7Б55 в оправке для установки заготовки по отверстию; базирование заготовки — по отверстию и необработанному торцу диаметром 90f7;
- 15 — токарная: точить поверхность диаметром 90f7, торцы диаметрами 150,12 и 90 мм окончательно на гидрокопировальном станке мод. 1722 в оправке;
- 20 — зубофрезерная: фрезеровать зубья на зубофрезерном станке мод. 5К324 в оправке с пневмоприводом; режущий инструмент — червячная фреза; базирование — по отверстию и торцу;
- 25 — термическая: закалка зубьев ТВЧ до 52...56 HRC;
- 30 — калибровочная: калибровать отверстие на гидравлическом прессе; оснастка — прошивка диаметром 65H7;
- 35 — шлифовальная: шлифовать поверхность диаметром 90f7 окончательно на круглошлифовальном станке в центральной шпоночной оправке; базирование — по отверстию и большему торцу;
- 40 — зубошлифовальная: шлифовать зубья окончательно на зубошлифовальном станке мод. 5В833 в центральной оправке; базирование — по отверстию и большему торцу; режущий инструмент — шлифовальный круг.

Обработка зубчатого колеса типа III диаметром 100...250 мм; производство — крупносерийное; заготовка (см. рис. 2.25, в) — штамповка с отверстием; материал — сталь 45; степень точности колеса — 8.

Типовой технологический процесс состоит из следующих операций:

- 05 — шлифовальная: шлифовать торцы окончательно на плоскошлифовальном станке мод. 3Б722 на магнитной плите; инструмент — шлифовальный круг ПП200×50×7624А25; базирование — по торцу;
- 10 — протяжная: протянуть отверстие диаметром 75H7 окончательно на вертикально-протяжном автомате в патроне с автоматическим захватом протяжки; инструмент — протяжка; базирование заготовки — по торцу;
- 15 — сверлильная: зенкеровать фаски с двух сторон на вертикально-сверлильном полуавтомате в разжимной оправке; инструмент — зенкер диаметром 90 мм; базирование заготовки — по отверстию и меньшему торцу;

- 20 — протяжная: протянуть шпоночный паз (оборудование, как в операции 10);
- 25 — токарная: обточить поверхность зубчатого венца и торец на многорезцовом полуавтомате мод. 1А720; базирование заготовки — по отверстию диаметром 75Н7 и торцу;
- 30 — зубофрезерная: фрезеровать зубья на зубофрезерном полуавтомате в оправке; базирование заготовки — по отверстию и торцу;
- 35 — шевинговальная: шевинговать зубья окончательно на шевинговальном станке в центральной оправке.

В состав автоматизированных участков для изготовления зубчатых колес входят оборудование для термической обработки, система автоматизированного транспортирования и складирования деталей, а также система контроля и управления за ходом процесса.

На рис. 2.32 показана схема манипулятора, обеспечивающего установку и съем зубчатых колес. Захватное устройство 1 производит захват и установку заготовок в патрон станка, а захватное устройство 2 — съем готовых деталей и их установку в накопитель 3.

На рис. 2.33 показана схема обработки зубчатого колеса из штучной заготовки. Вначале происходит зацентровка (инструмент 1), затем сверление отверстия (инструмент 2) и расточка базового отверстия (инструмент 6). Для получения отверстия по качеству Н7 выполняют развертывание отверстия (инструмент 7). Обработку по контуру выполняют проходными резцами, а прорезку паза — канавочным резцом.

**Нарезание зубьев конических колес.** Конические зубчатые колеса предназначены для передачи вращательного движения между

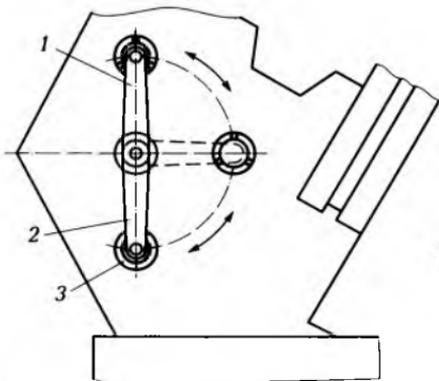


Рис. 2.32. Манипулятор для автоматической установки и съема штучных заготовок на токарно-револьверном станке с ЧПУ

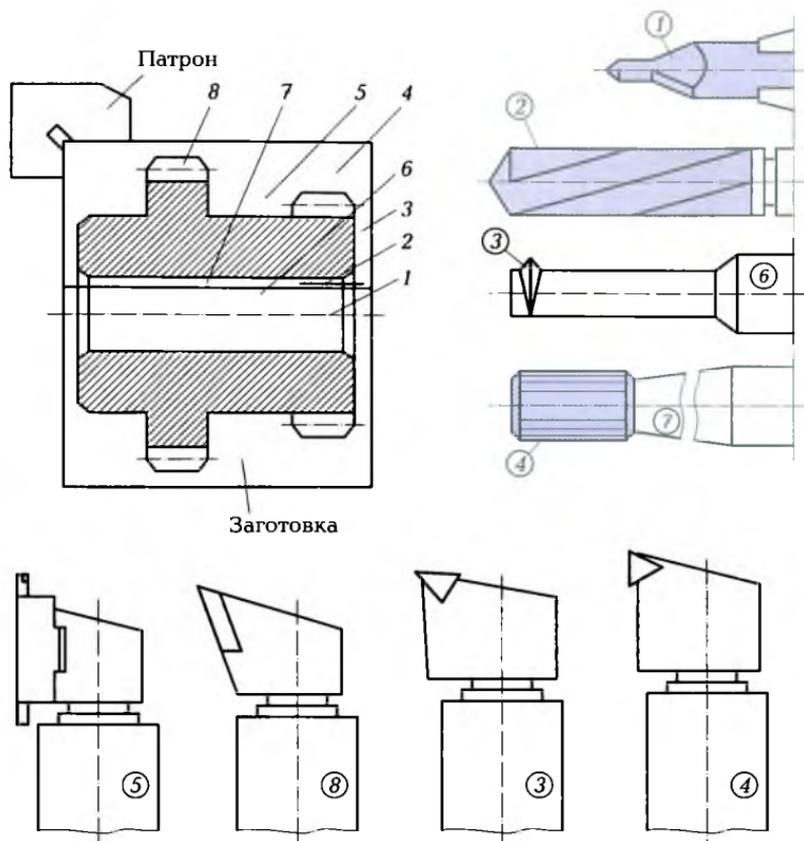


Рис. 2.33. Схема обработки зубчатого колеса на токарно-револьверном станке с ЧПУ (номер инструмента соответствует номеру обрабатываемой поверхности)

валами с пересекающимися осями, их изготавливают с прямыми, косыми и криволинейными зубьями. На конические передачи ГОСТ 1758—81 установлены 12 степеней точности.

В прецизионных станках и станках повышенной точности применяют колеса 5-й, 6-й степеней точности, а в станках нормальной точности — 7-й. Конические колеса изготавливают из углеродистых, цементируемых и легированных сталей. В качестве заготовок используют штамповку (массовое и крупносерийное производство) и круглый прокат (единичное и мелкосерийное производство). По конструкции конические зубчатые колеса подразделяют на три основных типа: I — со ступицей; II — венцы; III — валы (рис. 2.34).

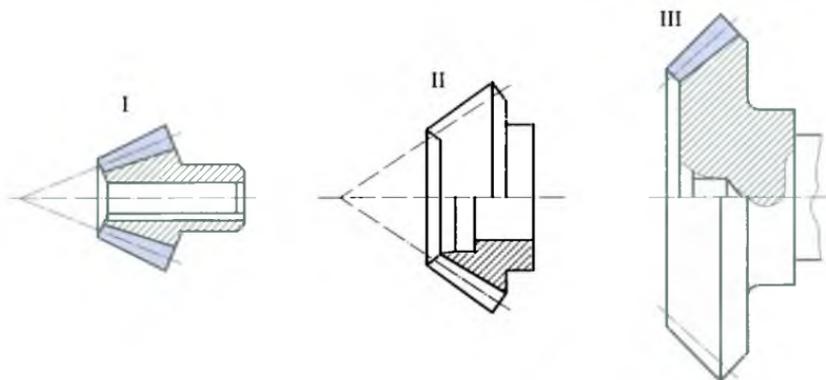


Рис. 2.34. Типы конических зубчатых колес

Колеса типа I обрабатывают на токарных станках в оправке с базированием по отверстию и торцу зубчатого колеса, колеса типа II — с базированием по торцу и отверстию, колеса типа III — при базировании в центрах.

Существуют шесть видов сопряжений зубчатых колес в передаче, которые в порядке убывания бокового зазора обозначаются буквами *A, B, C, D, E, H*.

Между видом сопряжения зубчатых колес и степенью точности на нормы плавности работы передачи существует зависимость:

Вид сопряжения.....	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>H</i>
Степень точности .....	4—12	4—11	4—9	4—8	4—7	4—7

В зависимости от степени точности зубчатого зацепления необходимо обеспечить определенный размер пятен контакта (табл. 2.7).

Зубья конических колес нарезают методом копирования с помощью набора фрез в три этапа. На первом этапе фрезеруют впадину, соответствующую впадине колеса на его меньшем диаметре. На втором этапе обработку ведут модульной фрезой, профиль ко-

Таблица 2.7. Размеры суммарного пятна контакта зубьев, %

Размеры пятна	Степени точности			
	4, 5	6, 7	8, 9	10—12
От длины зуба	70	60	50	40
От высоты зуба	75	65	55	45

торой соответствует впадине на большем диаметре. На этом этапе фрезеруют одну сторону зуба. На третьем этапе фрезеруют противоположную сторону, для чего делительную головку поворачивают в обратном направлении.

При обработке небольших прямозубых конических колес применяют протягивание на станках, на которых режущим инструментом является круговая протяжка. Протяжка состоит из нескольких резцов, расположенных на режущей 1 (рис. 2.35) и калибрующей 2 частях в порядке изменения профиля зубьев. При нарезании зубьев протяжка имеет как постоянное круговое движение, так и возвратно-поступательное, скорость и характер которого зависят от профиля копира.

Методом обкатки нарезают конические зубчатые колеса как двумя дисковыми фрезами, так и строганием двумя резцами с прямолинейной режущей кромкой на зубострогальных станках. Строгание двумя резцами по методу обкатки применяют для нарезания конических колес с прямыми зубьями и модулем до 20 мм. Зубчатые колеса с модулем до 3,5 мм нарезают за один рабочий ход.

Нарезание конических зубчатых колес с криволинейными зубьями производят резцовой головкой с профилем зуба по дуге окружности или конической червячной фрезой. При этом косые спиральные зубья образуются в результате обкатки производящего воображаемого колеса с заготовкой. После зубонарезания зубья конических зубчатых колес подвергают шлифованию.

**Обработка червячных колес.** Различают 12 степеней точности на червячные передачи. Кинематические передачи соответствуют 3—6-й степеням точности, а силовые червячные передачи 5—9-й. Обработку червячных колес осуществляют на зубофрезерных станках червячными фрезами, а также с помощью резцов, установленных на оправке и имитирующих один зуб фрезы.

На зубофрезерных станках обработку червячных колес осуществляют методом радиальной подачи  $S_p$  (рис. 2.36, а), методом

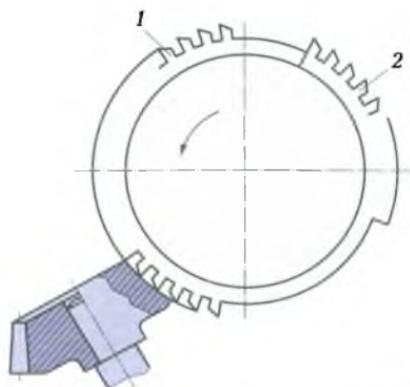


Рис. 2.35. Схема нарезания конического колеса круговой протяжкой

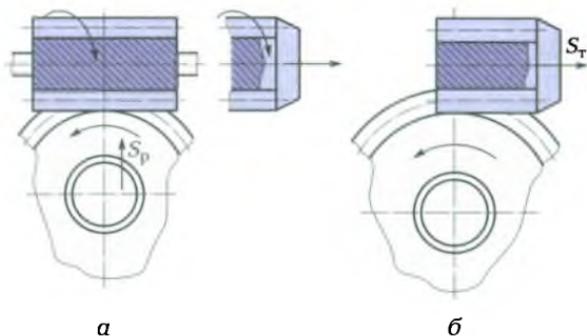


Рис. 2.36. Схемы нарезания червячных и шевронных колес методами радиальной (а) и тангенциальной (б) подачи

тангенциальной подачи  $S_T$  (рис. 2.36, б) и комбинированием этих методов.

**Нарезание шевронных зубчатых колес.** Обработку осуществляют на зубодолбежных станках двумя спиральными долбяками, которые получают возвратно-поступательное движение через кулачки, установленные вместе с долбяком в приспособлении.

**Контроль зубчатых колес.** При контроле зубчатых колес проверяют:

- биение базового торца (до нарезания зубьев) с помощью индикатора и оправки в центровом приспособлении (рис. 2.37, а);
- отклонение основного шага по разности действительного и заданного расстояния между параллельными касательными к двум соседним одноименным профилям зубьев (см. рис. 2.37, а);
- разность окружных шагов по разности расстояний между любыми окружными шагами по основной окружности колеса (рис. 2.37, б);
- накопленную погрешность окружного шага по измерениям окружных шагов последовательно по всем зубьям;
- погрешность профиля путем сравнения действительного профиля с теоретической эвольвентой по эвольвентомеру;
- толщину зуба по начальной окружности штангензубомером (рис. 2.37, в);

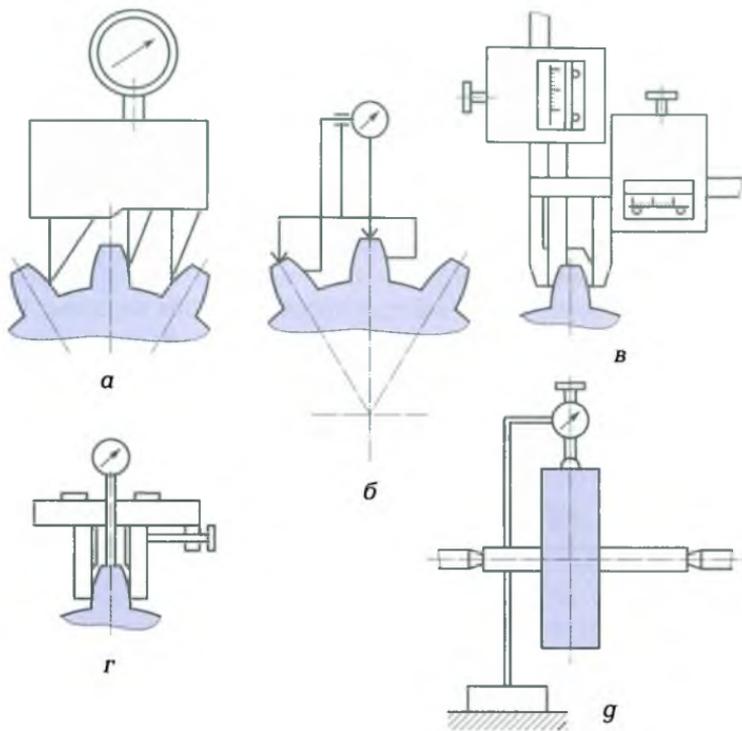


Рис. 2.37. Схемы контроля зубчатых колес (а—д)

- смещение исходного контура тангенциальным зубомером (рис. 2.37, г);
- радиальное биение зубчатого венца с помощью индикатора по шарiku или ролику, помещенному во впадину колеса (рис. 2.37, г).

Правильность зацепления проверяют с помощью эталонных приборов, с помощью которых осуществляют также подбор сопрягаемых зубчатых колес.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково назначение корпусных деталей?
2. Назовите последовательность разработки процесса обработки типовых деталей станков.
3. Перечислите основные операции типового процесса обработки корпуса коробки скоростей токарного станка.

4. Какие способы получения валов вы знаете?
5. Какие технические требования предъявляют к валам?
6. Назовите основные операции типового технологического процесса изготовления вала.
7. Какова последовательность изготовления ступенчатых валов?
8. Какие методы шлифования шеек валов вы знаете?
9. Какие инструменты используют для обработки наружных резьбовых поверхностей?
10. Перечислите основные приспособления для токарных станков.
11. Дайте классификацию зубчатых колес.
12. Перечислите последовательность изготовления зубчатых колес.

# ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МАШИН

## 3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КАЧЕСТВЕ МАШИН

Процесс сборки машин является одним из завершающих этапов производственного цикла их изготовления. В процессе сборки обеспечиваются практически все параметры, обеспечивающие требуемое качество не только новой машины, но и неизменность качества во время всего ресурса работы машины.

Под **качеством машин** и других изделий машиностроения будем понимать совокупность свойств машины, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Это всеобъемлющее свойство, которое охватывает и конструкцию машины, и ее структуру, и технологические процессы изготовления ее деталей, и экономичность в ее эксплуатации, и надежность, и безотказность и др. Качество машины формируется и закладывается на всех этапах ее изготовления, от проектирования до испытания, но обеспечивается в основном в процессе сборки.

Качество готовых машин подтверждается их испытаниями как на испытательных стендах, так и в условиях эксплуатации. При этом производят измерения многих параметров, определяющих качество. Достоверность определения тех или иных параметров зависит от достоверности измерений, т.е. от выбранных средств контроля этих параметров.

Метрологическое обеспечение качества готовых изделий представляет собой целый комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение требуемой точности определения характеристик готового изделия.

На уровне предприятия, выпускающего готовые машины, метрологическое обеспечение качества включает в себя:

- выбор рациональной номенклатуры измерительных средств и средств испытаний, обеспечивающих полный объем испытаний и измерений;
- разработку при необходимости специальных средств измерений и испытаний;
- надзор за эксплуатируемыми средствами;
- разработку стандартов предприятия на методы испытаний своей продукции и измерений ее параметров.

При этом следует иметь в виду, что все измерительные средства, участвующие в технологическом процессе производства, проходят систематическую проверку в рамках государственной системы обеспечения единства измерений.

Качество сборочного процесса характеризуется техническим уровнем сборочного производства, который, в свою очередь, оценивается долей механизированного труда, уровнем автоматизации, объемом пригоночных работ и др.

Кроме того, на качество сборочного процесса влияет технологичность собираемого изделия, объем производства, организация и культура сборочного процесса. Качество готового изделия контролируют поэтапно:

- входной контроль поступающих материалов и комплектующих изделий;
- цеховой пооперационный контроль собираемых сборочных единиц;
- выходной контроль готовых изделий.

Входной контроль материалов и покупных комплектующих изделий производится в целях выявления дефектов, полученных при упаковке, перевозке и распаковке изделий. Этот контроль производится независимо от того, что проверяемые изделия уже прошли выходной контроль на предприятии-изготовителе.

В процессе входного контроля материалов проверяется стабильность и однородность их химического состава, механические свойства и др. Особенно обращают внимание на параметры, которые влияют на надежность и долговечность собираемого изделия.

Входной контроль комплектующих изделий производится в целях:

- выявления внешних дефектов;
- проверки регулировочных параметров;

- выявления дефектов, появляющихся после их обкатки или приработки.

Пооперационный контроль предназначен для проверки отдельных показателей качества собираемого изделия. При этом сопоставляют действительные параметры, полученные при сборке, параметрам, заданным технической документацией. Для этих целей некоторые сборочные единицы испытывают на специальных стендах с имитацией условий эксплуатации. Проверяют прочность, герметичность, виброустойчивость и другие параметры, влияющие на надежность машины в эксплуатации.

Выходной контроль готовых машин проводится в сборочных цехах и на испытательных стендах. Проверка сборочных параметров является заключительной фазой на этапе изготовления изделия. В сборочном цехе проверяют правильность монтажа сборочных единиц и систем изделия, соответствие зазоров, натягов радиальных и торцевых биений требованиям чертежа.

На испытательных стендах измеряют выходные параметры готового изделия на всех режимах работы, предусмотренных нормативно-технической документацией. Особое внимание уделяют параметрам, влияющим на долговечность и безотказность работы изделия, например, уровень вибрации, создаваемой вращающимися элементами, условия смазки опор скольжения, потребление энергии или топлива, создаваемое изделием усилие или крутящий момент и др.

**Надежность** — это свойство готовой машины выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным условиям эксплуатации. Это важнейшее свойство готовых изделий формируется на всех этапах создания изделия. Особенно важным этапом в формировании надежности изделия является сборочный процесс как заключительная фаза изготовления изделия.

**Безотказность** машины является одним из важнейших свойств, определяющих его надежность. Под этим свойством понимают непрерывное сохранение работоспособности изделия в течение некоторого, наперед заданного, времени. Работоспособным считается изделие, способное выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

Для количественной оценки безотказности машин наиболее часто применяют следующие показатели:

- вероятность безотказной работы;

- наработка на отказ;
- интенсивность отказов.

**Долговечность машины** — это свойство машины сохранять работоспособность до наступления предельного состояния износа при определенных (правильных) условиях технического обслуживания. Долговечность включает в себя перерывы в эксплуатации на время технического обслуживания и плановые ремонты. Предельное состояние машины наступает тогда, когда дальнейшая ее эксплуатация невозможна по разным причинам, в том числе по причине безопасности для персонала или окружающей среды. Это состояние определяется нормативно-технической документацией на данную машину.

**Исправность машины** — это состояние, при котором машина соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией. Работоспособная машина в то же время может быть неисправной, если эта незначительная неисправность не влияет на функционирование машины.

**Неисправность машины** — это такое состояние, при котором она не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической документации.

Переход машины из исправного состояния в неисправное характеризуется таким событием, как повреждение. Переход машины из работоспособного состояния в неработоспособное состояние характеризуется таким событием, как отказ. Следовательно, отказ — это событие, заключающееся в нарушении работоспособности машины.

Как показывает практика эксплуатации изделий машиностроения, уровень их надежности постоянно изменяется. По мере увеличения срока эксплуатации снижается вероятность безотказной работы. При достижении критического уровня вероятности безотказной работы изделия его снимают с эксплуатации и направляют на ремонт. После ремонта уровень вероятности безотказной работы изделия значительно возрастает.

Интенсивность отказов изделия можно условно разделить на три этапа.

На первом этапе интенсивность отказов во времени резко снижается, так как происходит приработка трущихся поверхностей деталей и возникают случайные отказы, связанные с ошибками при сборке.

На втором этапе интенсивность отказов во времени остается более-менее стабильной, так как трущиеся поверхности приработа-

лись, а отказы происходят из-за несовершенства конструкции и нестабильности технологических процессов изготовления изделия.

К началу третьего этапа трущиеся поверхности достаточно изнашивались, произошло старение материалов и уплотнений, происходит прогрессирующий износ, что приводит к резкому возрастанию интенсивности отказов.

**Технологические пути повышения надежности машин.** Известно, что разрушение деталей начинается с поверхности, так как поверхностный слой нагруженных деталей оказывается более напряженным и на него отрицательно воздействует окружающая среда. Поэтому основные технологические мероприятия по повышению надежности изделий направлены на упрочнение рабочих поверхностей деталей.

Для этого применяют следующие технологические процессы:

- химико-термическая обработка деталей;
- покрытие поверхностей деталей высокотеплостойкими материалами;
- наклеп рабочих поверхностей деталей.

Применительно к сборочным процессам:

- производят тщательную балансировку вращающихся сборочных единиц с применением современного оборудования и методов балансировки;
- по возможности не производят доработку готовых деталей в процессе сборки в целях обеспечения точности сборки.

## **3.2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ПРОЦЕССА СБОРКИ**

Сборочные работы являются заключительным этапом в производственном процессе изготовления машин. В машиностроении трудоемкость сборочных работ составляет 20...70 % общей трудоемкости изготовления изделия, а уровень их автоматизации не превышает 10...15 %. От качества выполнения сборки во многом зависят эксплуатационные характеристики станков. Сборку осуществляют путем соединения составных элементов изделия с заданной точностью.

**Изделием** в машиностроении называют любой предмет или набор предметов, подлежащих изготовлению. Изделием может быть любая машина или ее элементы в сборе, отдельные детали в

зависимости от того, что является продуктом конечной стадии данного производства. Например, для станкостроительного предприятия изделием являются станок или автоматическая линия, для предприятия по изготовлению крепежных деталей — болт, гайка и др. Установлены следующие виды изделий: комплексы и комплекты.

**Структура изделия.** Практически каждое готовое изделие машиностроения состоит из деталей, изготавливаемых на данном предприятии, а также покупных изделий, крепежных деталей и расходных материалов. В процессе предварительной сборки эти комплектующие собирают в сборочные единицы, которые могут быть частью изделия, со своими выходными параметрами. На стадии общей сборки сборочные единицы, равно как и другие детали, прикрепляют к корпусу машины или друг к другу и получается изделие в целом.

**Деталь** представляет собой изделие, изготовленное из одного материала (металла или неметалла) без применения сборочных операций, например, литой корпус, вал из одного куска металла, штампованная лопатка и др.

**Сборочной единицей (узлом)** называют изделие, составные части которого подлежат соединению на предприятии-изготовителе. Технологическим признаком составной части сборочной единицы являются возможность ее сборки и обособленность от других элементов изделия. Составная часть в зависимости от конструктивных особенностей может состоять из отдельных деталей или составных частей высших порядков и деталей. Различают составные части первого, второго и более высоких порядков.

Деление изделия на составные части осуществляется по технологическому признаку. Составная часть первого порядка входит в составную часть изделия, составная часть второго порядка — в составную часть первого порядка, подразделяется на составные части третьего порядка и детали и т.д. Составная часть высшего порядка подразделяется только на детали.

Под **комплексом** понимают два и более изделий, не собранных на предприятии-изготовителе, но служащих для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. В комплекс входят изделие, выполняющее основные функции, а также детали, сборочные единицы, предназначенные для выполнения вспомогательных функций (например, монтажа комплекса на месте его эксплуатации).

**Комплект** представляет собой два и более изделий, которые не соединены на предприятии-изготовителе посредством сборочных

операций. Эти изделия имеют общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например комплект запасных частей и т. д.

**Агрегат** представляет собой часть машины, которая может работать автономно. К агрегатам можно отнести автомобильный генератор, топливный насос автомобиля, масляный насос гидравлической системы и др.

**Покупное изделие** — это изделие, входящее в конструкцию машины, которое покупают на других предприятиях в готовом виде. К покупным изделиям чаще всего относятся шариковые или роликовые подшипники, электрогенераторы, турбостартеры, агрегаты автоматического регулирования различных процессов, электроаппаратура и др.

**Технологический процесс сборки** представляет собой совокупность операций последовательного соединения взаимно ориентируемых деталей, сборочных единиц и агрегатов. Это один из заключительных этапов изготовления изделия. От уровня технологии сборки во многом зависит качество готового изделия, его надежность и долговечность. Сборка практически любого изделия подразделяется на узловую и общую. При узловой сборке на конечной стадии получают сборочную единицу изделия. При общей сборке соединяют сборочные единицы, агрегаты и покупные изделия. На конечной стадии общей сборки получают полностью собранное изделие. Подразделяется технологический процесс сборки на операции.

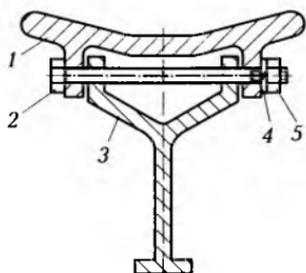
**Сборочная операция** представляет собой часть технологического процесса и выполняется на определенном рабочем месте одним рабочим или бригадой рабочих до перехода к сборке следующей сборочной единицы или изделия в целом. Сборочная операция состоит из переходов.

Переход — это часть сборочной операции, которая выполняется без смены сборочного инструмента или оборудования. Переход состоит из приемов, а приемы — из движений.

В качестве примера рассмотрим сборку кронштейна (рис. 3.1). Установка кронштейна 3 в проушину створки 1 и его закрепление является переходом в сборочной операции и состоит из следующих приемов:

- поставить кронштейн 3;
- вставить болт 2;
- надеть шайбу 4;
- завинтить гайку 5 с заданным крутящим моментом.

Рис. 3.1. Сборочный чертеж кронштейна



**Базовая деталь.** При разработке технологического процесса сборки конкретной сборочной единицы технолог определяет деталь, которая первой вступит в процесс сборки и к которой будут присоединяться остальные детали изделия. Такую деталь называют базовой деталью. Сборочное приспособление проектируют с учетом конструкции базовой детали, которая будет крепиться на нем. В качестве базовой детали выбирают наиболее массивную, наиболее устойчивую и наиболее удобную для выполнения сборки деталь машины. Такой деталью, как правило, является или корпус, или вал, или крышка, так как к ней присоединяется много других деталей, входящих в собираемое изделие (сборочную единицу, агрегат или машину).

### 3.3. ВИДЫ СОЕДИНЕНИЙ И ТОЧНОСТЬ СБОРКИ

При сборке изделия к базовой детали присоединяют и прикрепляют другие детали, входящие в состав изделия. Присоединения деталей происходит по их базовым поверхностям. Все виды соединений подразделяют на подвижные или неподвижные, разъемные или неразъемные (рис. 3.2).

Разъемным соединением считают такое соединение, при разборке которого не происходит нарушения целостности деталей. Например, при разборке болтового соединения все детали, входящие в это соединение, остаются без повреждений, а при разборке прессового соединения (выпрессовка детали) нарушаются сопрягаемые поверхности деталей.

**Точность сборки.** При проектировании машины конструктор рассчитывает предельные значения параметров для каждого соединения, при которых изделие будет соответствовать требованиям нормативно-технической документации. К сборочным параметрам, значения которых обеспечиваются при сборке, относятся зазоры, натяги, радиальные и торцевые биения, взаимное положение осей и поверхностей, деформации упругих элементов, остаточный дисбаланс, положение центра масс и др.



Рис. 3.2. Классификация соединений

При сборке добиваются такого взаимного расположения деталей, чтобы значение сборочного параметра не выходило за предельные значения, заданные на сборочном чертеже изделия. Значение сборочного параметра, достигнутое и измеренное при сборке, называют действительным значением этого параметра.

Точность сборки есть степень соответствия действительных значений сборочных параметров значениям, заданным сборочным чертежом и техническими требованиями на сборку.

В качестве примера рассмотрим шарнир в сборе (рис. 3.3). Заданное значение обоих зазоров находится в интервале от 0,2 до 0,4 мм. Если после сборки в результате измерения зазоров получим хотя бы один из результатов 0,42 мм, то это и будет действи-

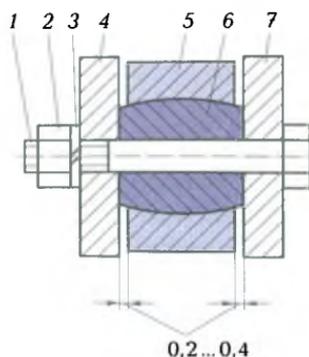


Рис. 3.3. Шарнир в сборе

тельным значением сборочного параметра, в данном случае зазора. Сравнивая заданное значение (0,4 мм) и действительное значение (0,42 мм) зазора, можно сделать вывод, что точность сборки не обеспечена.

**Методы обеспечения точности сборки.** При сборке машин и сборочных единиц точность обеспечивают следующими методами:

- методом полной взаимозаменяемости;
- методом неполной взаимозаменяемости;
- подбором деталей;
- компенсацией или регулированием;
- пригонкой или доработкой деталей.

**Метод полной взаимозаменяемости.** Полная взаимозаменяемость возможна при такой точности изготовления деталей, когда каждая деталь во время сборки занимает такое положение, что заданная точность сборки обеспечивается автоматически, т.е. без выполнения регулировочных операций. Сборка по этому методу предельно проста, так как для обеспечения точности не требуется дополнительных операций.

В качестве примера рассмотрим сборку соединения деталей 1 и 2 (рис. 3.4, а), в котором должен быть натяг 0,005... 0,052 мм. Если размеры сопрягаемых поверхностей деталей (рис. 3.4, б), поступающих на сборку, выдержаны при изготовлении правильно, то путем расчета получаем:

а) минимальный натяг  $\Delta_{\min}$  в соединении будет при максимальном размере детали — втулки и минимальном размере детали — вала, т.е.

$$\Delta_{\min} = 29,987 \text{ мм} - 29,992 \text{ мм} = -0,005 \text{ мм.}$$

б) максимальный натяг  $\Delta_{\max}$  в соединении будет при минимальном размере детали — втулки и максимальном размере детали — вала, т.е.

$$\Delta_{\max} = 29,948 \text{ мм} - 30,000 \text{ мм} = -0,052 \text{ мм.}$$

Сравнивая полученные результаты с требованиями сборочного чертежа (см. рис. 3.4, а), можно утверждать, что требуемая точность натяга в соединении двух деталей 1 и 2 будет соответствовать требованиям сборочного чертежа при любом сочетании размеров сопрягаемых поверхностей этих деталей. Точность сборки будет обеспечиваться автоматически.

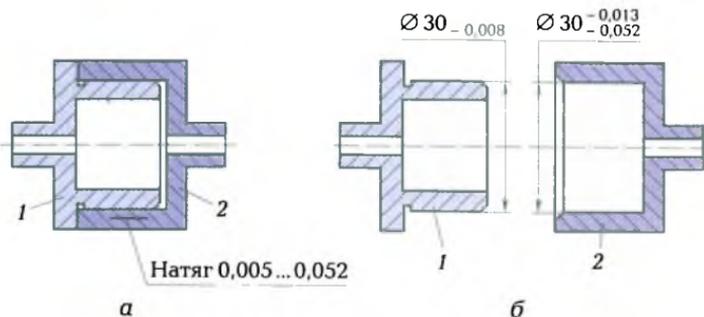


Рис. 3.4. Схема соединения двух деталей:

а — сборочный чертеж; б — чертежи деталей

**Метод неполной взаимозаменяемости.** При этом методе обеспечения точности сборки конструктор заранее расчетным путем определяет процент снижения точности изготовления деталей и возможный процент некондиционных сборочных единиц по точности сборки при условии сборки по принципу полной взаимозаменяемости. После чего сравнивают снижение затрат на изготовление деталей и стоимость некондиционных изделий. Если экономический эффект будет положительным, то метод неполной взаимозаменяемости применять целесообразно.

Сборка в этом случае производится так же, как и при методе полной взаимозаменяемости, но с более тщательным контролем сборочных параметров. Выявленные, заранее запланированные некондиционные изделия или разбирают и направляют детали вновь на сборку, перемешивая их с новыми деталями, или перебирают, производя подгонку или доработку деталей.

**Метод подбора деталей.** При этом методе обеспечения точности сборочных параметров производят подбор деталей чаще всего по размерам сопрягаемых поверхностей. Иногда подбирают по массе или по упругости. Различают попарный и групповой подбор деталей.

При попарном подборе одну деталь подбирают к другой из поступивших деталей на сборку, сопоставляя размеры сопрягаемых поверхностей, чтобы получилась требуемая точность сборки. Подбирать детали можно непосредственно на сборочном месте или предварительно, используя результаты измерения пронумерованных готовых деталей.

Групповой метод подбора деталей применяют при достаточно большой программе выпуска изделий. Сущность метода заключа-

ется в том, что сопрягаемые детали, изготовленные с пониженной точностью, после измерений их параметров разбивают на несколько групп. На сборку сопрягаемые детали подают отдельно по группам, т.е. собирают изделие из деталей, попавших в одну группу. Точность сборки повышается во столько раз, на сколько групп разделены сопрягаемые детали. В пределах одной группы сборка изделия ведется по методу полной взаимозаменяемости.

**Селективная сборка.** Так называют метод сборки, при котором точность сборочных параметров обеспечивается групповым подбором деталей. Этот метод сборки позволяет при относительно невысокой точности изготовления большого числа деталей в процессе сборки получать высокоточные сборочные параметры.

На рис. 3.5, а представлено соединение, при сборке которого необходимо получить зазор 0,2...0,24 мм. Однако, размеры сопрягаемых поверхностей таковы (рис. 3.5, б), что при сборке этого соединения по методу полной взаимозаменяемости зазор может колебаться в пределах от минимального значения  $\Delta_{\min} = 40,00 - 39,84 = 0,16$  мм до максимального значения  $\Delta_{\max} = 40,06 - 39,78 = 0,28$  мм (допуск  $T\Delta = 0,12$  мм), что не соответствует заданной точности.

Число групп  $m$  рассортировки деталей перед сборкой, чтобы обеспечить требуемую точность, определяют по формуле

$$m = (\delta_n + \delta_v) / T\Delta,$$

где  $\delta_n$  — допуск на наружный размер (вала);  $\delta_v$  — допуск на внутренний размер (втулка);  $T\Delta$  — допуск на сборочный параметр.

Для рассматриваемого соединения  $m = (0,06 + 0,06) : 0,04 = 3$ . Если результат получается дробным числом, то его округляют до ближайшего большего целого числа.

Полученный результат ( $m = 3$ ) показал, что собираемые детали необходимо рассортировать по размерам на три группы (табл. 3.1).

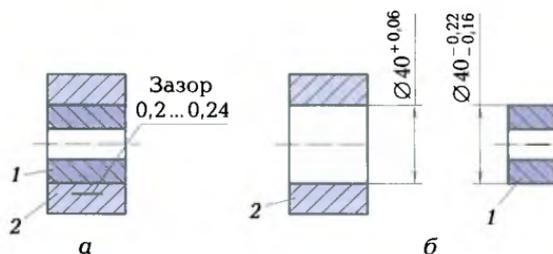


Рис. 3.5. Схема соединения для селективной сборки: а — сборочный чертеж; б — чертежи деталей

Таблица 3.1. Рассортировка деталей 1 и 2 по размерам на три группы

Метод сборки	Группа рассортировки	Схема расположения полей допусков	Деталь 2		Деталь 1				Допуск посадки, мм		
			Пределные размеры							Зазор, мм	
			max	min	max	min	max	min		max	min
Полная взаимозаменяемость	Нет		40,06	40,00	39,84	39,78	0,28	0,16	0,12		
Групповая взаимозаменяемость	1		40,06	40,04	39,84	39,82	0,24	0,20	0,04		
	2		40,04	40,02	39,82	39,80	0,24	0,20	0,04		

Метод сборки	Группа рассортировки	Схема расположения полей допусков	Деталь 2		Деталь 1		Зазор, мм		Допуск посадки, мм		
			Пределные размеры				max	min		max	min
			max	min	max	min					
Групповая взаимозаменяемость	3		40,02	40,00	39,80	39,78	0,24	0,20	0,04		

**Метод компенсации или регулирования.** Этот метод обеспечения точности сборочных параметров является основным в серийном производстве. Сущность метода состоит в том, что заданное значение сборочного параметра достигается изменением соответствующего размера дополнительной детали так называемым компенсатором без удаления с этой детали слоя материала. Остальные звенья размерной цепи в этом случае выполняют с экономической точностью.

Изменение размера компенсационного звена можно производить:

- заменой одного компенсатора на другой аналогичный, но с большим или с меньшим компенсационным размером согласно проведенному расчету;
- изменением положения (перемещением) компенсатора на величину излишнего отклонения замыкающего звена.

Неподвижные компенсаторы на сборку поступают в виде комплекта из нескольких штук. Размер последующего компенсатора больше предыдущего на определенную величину, называемую шагом компенсации. По форме компенсаторы бывают в виде колец различной толщины, прокладок, шайб, втулок и др. Встречаются конструкции, в которых роль компенсатора выполняет несложная деталь, входящая в конструкцию изделия в качестве штатной детали.

На рис. 3.6, *а* показано соединение, в котором осевой зазор  $A_{\Delta}$  между торцом шестерни 2, сидящей на валу 1, и втулкой 3 обеспечивается осевым перемещением втулки 3 с последующей надежной фиксацией ее нового положения стопорным винтом 4. В данной конструкции втулка 3 выполняет функцию подвижного компенсатора.

На рис. 3.6, *б* показана часть редуктора, в конструкцию которого для обеспечения требуемого осевого зазора  $A_{\Delta}$  введен сменный компенсатор 10 в виде шайбы. Заданный зазор достигается в процессе сборки перемещением деталей 7, 8 и 9 вдоль оси вала 5 за счет изменения толщины компенсатора 10, т. е. заменой его на другой компенсатор с большей или меньшей толщиной. Требуемую толщину компенсатора определяют в процессе сборки или путем измерения действительного зазора, получившегося в результате сборки, или путем расчета сборочной размерной цепи, зная действительные значения размеров оставляющих звеньев.

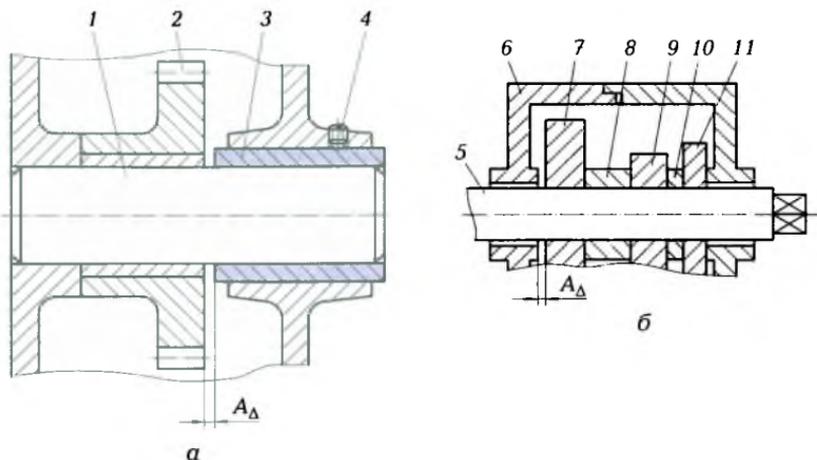


Рис. 3.6. Сборочные чертежи с компенсаторами:  
 а — с подвижным компенсатором; б — со сменным компенсатором

Если во время эксплуатации изделия производят периодическое восстановление точности соединения путем перемещения подвижного компенсирующего элемента, то такой метод обеспечения точности называют **регулированием**.

**Метод пригонки, или доработки.** При этом методе заданная точность сборки обеспечивается изменением размера одной из деталей, входящих в конструкцию собираемого изделия путем снятия с нее определенного слоя материала, т.е. путем механической доработки. Для этих целей у назначенной конструктором для доработки детали предусмотрен определенный припуск, равный величине компенсации. Величину этого припуска определяют путем расчета сборочной размерной цепи. Остальные детали соединения, размеры которых влияют на точность сборочного параметра, изготавливают с пониженной точностью.

При реализации данного метода вначале собирают изделие или сборочную единицу по методу полной взаимозаменяемости, затем измеряют сборочный параметр, например зазор, сравнивают результат с заданным значением и определяют размер снимаемого слоя материала. После чего разбирают изделие и направляют на доработку деталь с компенсационным припуском. После доработки деталь тщательно промывают и снова собирают изделие с последующим контролем сборочного параметра. При необходимости эту процедуру повторяют до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность сборочного параметра.

При проектировании машин, расчетах точности обработки, решении технологических задач по обеспечению точности сборки производят расчеты с использованием размерных цепей.

Размерной цепью называют совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное положение поверхностей или осей одной детали (при механической обработке), или нескольких деталей (в сборочной единице). Размерная цепь состоит из звеньев, которые подразделяют на составляющие звенья и замыкающее (или исходное) звено.

**Замыкающее звено** связывает поверхности или оси, относительное расстояние которых предстоит определить путем расчета размерной цепи. Это звено представляет собой результат изготовления всех составляющих звеньев размерной цепи. Звено называют **исходным** в том случае, если построение размерной цепи начинается именно с него.

**Составляющие звенья** — это все остальные звенья размерной цепи, с изменением величины которых изменяется замыкающее звено. Составляющие звенья размерной цепи могут быть увеличивающими или уменьшающими.

**Увеличивающее звено** — это составляющее звено размерной цепи, увеличение которого приводит к увеличению замыкающего звена. При расчетах значение этого звена берут с положительным знаком, а в некоторых случаях сверху над условным обозначением звена ставят направленную вправо стрелку.

**Уменьшающее звено** — это составляющее звено размерной цепи, увеличение которого приводит к уменьшению замыкающего звена. При расчетах значение этого звена берут с отрицательным знаком, а в некоторых случаях сверху над условным обозначением звена ставят направленную влево стрелку.

Применительно к процессу сборки различают измерительные и сборочные размерные цепи. Если сборочную размерную цепь использует конструктор при решении задач по расчету точности при конструировании изделий, то в этом случае размерную цепь называют **конструкторской**. Если сборочную размерную цепь использует технолог при решении задач по подбору деталей в целях обеспечения точности сборки изделия, то в этом случае сборочную размерную цепь называют **технологической**.

В зависимости от расположения звеньев различают линейные, плоскостные, угловые и пространственные размерные цепи.

Техник-технолог чаще всего проводит расчеты с использованием сборочных линейных размерных цепей. Для проведения размерного анализа и расчетов составляют схему размерной цепи и уравнение размерной цепи из условия замкнутого контура размеров. Для линейной размерной цепи это уравнение в общем случае имеет вид

$$A_1 - A_2 - A_3 + \dots + A_m \pm A_\Delta = 0,$$

где  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$  — номинальные значения составляющих звеньев размерной цепи;  $m$  — число составляющих звеньев размерной цепи;  $A_\Delta$  — номинальное значение замыкающего звена (зазора или натяга).

Для расчетов размерных цепей используют два основных метода:

- метод максимума — минимума (по предельным отклонениям);
- теоретико-вероятностный метод.

При расчете размерных цепей по методу **максимума — минимума** учитывают только наибольшие и наименьшие значения составляющих звеньев, т.е. их предельные отклонения. Этот метод расчета обеспечивает реализацию полной взаимозаменяемости при сборке машин и сборочных единиц. Экономически целесообразно применение этого метода расчета при коротких размерных цепях (3 — 5 составляющих звеньев).

При расчете размерных цепей **теоретико-вероятностным** методом учитывают законы рассеивания размеров деталей и случайный характер их сочетания при сборке. Этот метод целесообразно применять при многозвенных размерных цепях, а результаты расчетов позволяют снизить точность изготовления деталей, т.е. снизить себестоимость изделия.

В качестве примера рассмотрим сборочный чертеж редуктора (рис. 3.7, а), при сборке которого необходимо определить возможный суммарный осевой зазор  $\Delta$  между торцовыми поверхностями вала 2 и торцовыми поверхностями втулок 1 и 3 подшипника скольжения при заданных размерах составляющих звеньев (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Заданные размеры деталей

A ( $A_3$ )	B ( $A_2$ )	C ( $A_1$ )	D ( $A_5$ )	K ( $A_4$ )
43 <sub>-0,15</sub>	4±0,08	55 <sup>+0,16</sup>	4±0,08	3±0,1

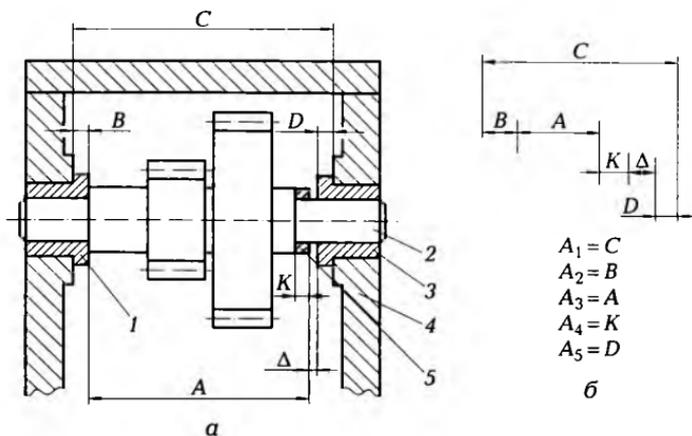


Рис. 3.7. Сборочный чертеж редуктора со сменным компенсатором:  
 а — сборочный чертеж; б — схема сборочной размерной цепи

Так как все размеры, оказывающие влияние на величину осевого зазора, изготовлены с определенными допусками, то величина суммарного осевого зазора будет находиться между его предельными значениями — максимальным ( $\Delta_{\max}$ ) и минимальным ( $\Delta_{\min}$ ).

Исходя из условия задачи, очевидно, что в качестве замыкающего звена выступает величина осевого зазора  $\Delta$ , а на его величину влияют соответствующие размеры ( $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ ) деталей со своими допусками, указанными в табл. 3.2. Размерная цепь для решения поставленной задачи представлена на рис. 3.7, б.

Для расчета размерной цепи использованы предельные отклонения размеров составляющих звеньев (метод максимума — минимума).

Расчет по методу максимума — минимума основан на предположении, что увеличивающие звенья имеют максимальные предельные размеры, а уменьшающие звенья имеют минимальные предельные размеры (или наоборот).

Из анализа рис. 3.7, б очевидно, что номинальное значение  $A_\Delta$  осевого зазора

$$A_\Delta = A_1 - (A_2 + A_3 + A_4 + A_5).$$

С учетом заданных размеров деталей (см. табл. 3.2)

$$A_\Delta = 55,00 - (4,00 + 43,00 + 3,00 + 4,00) = 1,00 \text{ мм.}$$

Наибольший осевой зазор

$$A_{\Delta \max} = A_{1 \max} - (A_{2 \min} + A_{3 \min} + A_{4 \min} + A_{5 \min}).$$

С учетом заданных размеров деталей (см. табл. 3.2)

$$A_{\Delta \max} = 55,16 - (3,92 + 42,85 + 2,9 + 3,92) = 1,57 \text{ мм.}$$

Наименьший осевой зазор

$$A_{\Delta \min} = A_{1 \min} - (A_{2 \max} + A_{3 \max} + A_{4 \max} + A_{5 \max}).$$

С учетом заданных размеров деталей (см. табл. 3.2)

$$A_{\Delta \min} = 55,00 - (4,08 + 43,00 + 3,10 + 4,08) = 0,74 \text{ мм.}$$

Допуск замыкающего звена на суммарный осевой зазор

$$TA_{\Delta} = A_{\Delta \max} - A_{\Delta \min} = 1,57 - 0,74 = 0,83 \text{ мм.}$$

Таким образом, с указанными в табл. 3.2 размерами деталей при сборке по методу полной взаимозаменяемости в технических требованиях на сборку должна быть следующая запись: «**Суммарный осевой зазор в соединении 0,74...1,57 мм**».

Метод расчета размерных цепей на максимум—минимум является всеобъемлющим, но маловероятным на практике. Более близким к реальным условиям является расчет по теоретико-вероятностному методу, при котором допуск на замыкающее звено рассчитывают по следующей формуле:

$$TA_0 = TA_{\Delta} = \sqrt{\sum_m (TA_i)^2},$$

где  $TA_i$  — допуски на составляющие звенья;  $m$  — число составляющих звеньев размерной цепи.

В качестве примера определим допуск  $TA_{\Delta}$  на замыкающее звено (суммарный осевой зазор  $\Delta$ ) для тех же исходных данных (см. табл. 3.2), что и в предыдущем примере:

$$TA_{\Delta} = \sqrt{0,15^2 + 0,162 + 0,162 + 0,162 + 0,22} = \sqrt{0,1568} = 0,4 \text{ мм.}$$

И тогда в технических требованиях на сборку может быть следующая запись: «**Суммарный осевой зазор в соединении 0,92...1,32 мм**». Сравнивая значения допуска (0,83 и 0,4 мм) на замыкающее звено, полученный обоими методами расчета размерных цепей, становится очевидным, что теоретико-вероятностный метод расчета размерных цепей, не охватывающий все размеры деталей, является

экономически более привлекательным, так как, не снижая точности сборки, дает возможность снизить точность обработки сопрягаемых (базовых) поверхностей деталей.

Рассмотрим еще несколько примеров, подтверждающих широкое применение расчета размерных цепей при обеспечении точности сборки.

**Пример 1.** Определить величину компенсации, число и размеры  $K$  компенсаторов 5 (см. рис. 3.7, а) с шагом компенсации 0,1 мм для обеспечения суммарного осевого зазора (зазор  $\Delta$ ) между торцовыми поверхностями вала 2 и торцевыми поверхностями втулок 1 и 3 подшипника скольжения при заданных размерах составляющих звеньев, приведенных в табл. 3.3.

После анализа сборочного чертежа (см. рис. 3.7, а) составляем сборочную размерную цепь (см. рис. 3.7, б) и находим номинальный размер  $A_{\Delta}$  зазора  $\Delta$ , т. е. замыкающего звена:

$$A_{\Delta} = C - (B + A + D) = 52 - (4 + 43 + 4) = 1 \text{ мм.}$$

Определяем возможные предельные значения зазора  $\Delta$ , т. е. замыкающего звена  $A_{\Delta}$ . После перевода буквенных обозначений допусков в цифровые, имеем

$$A_{\Delta \max} = C_{\max} - (B_{\min} + A_{\min} + D_{\min}) = 52,30 - (3,74 + 42,71 + 3,74) = 2,11 \text{ мм;}$$

$$A_{\Delta \min} = C_{\min} - (B_{\max} + A_{\max} + D_{\max}) = 52,00 - (3,74 + 42,71 + 3,74) = 1,41 \text{ мм.}$$

Допуск на замыкающее звено  $A_{\Delta}$ :

$$TA_{\Delta} = A_{\Delta \max} - A_{\Delta \min} = 2,11 - 1,41 = 0,7 \text{ мм.}$$

Сравнив полученное значение допуска (0,7 мм) с заданным значением (0,2 мм), видим, что точность сборки по методу полной взаимозаменяемости не будет обеспечена.

Используя схему размерной цепи, найдем предельные значения  $K_{\max}$  и  $K_{\min}$  необходимого компенсатора 5:

$$K_{\max} = C_{\max} - (B_{\min} + A_{\min} + D_{\min} + \Delta_{\min}) = 52,3 - 3,74 - 42,71 - 3,74 - 0,5 = 1,61;$$

Таблица 3.3. Заданные размеры составляющих звеньев

$A (A_3)$	$B (A_2)$	$C (A_1)$	$D (A_5)$	Зазор $\Delta (A_4)$
43 c11	4 b12	52 H12	4 b12	0,5 ... 0,7 мм

$$K_{\min} = C_{\min} - (B_{\max} + A_{\max} + D_{\max} + \Delta_{\max}) = 52,00 - 3,74 - 42,71 - 3,74 - 0,7 = 1,11$$

и необходимую величину  $\Delta K$  компенсации:

$$\Delta K = K_{\max} - K_{\min} = 1,61 - 1,11 = 0,5 \text{ мм.}$$

Учитывая заданный в условии задачи шаг компенсации 0,1 мм, найдем размеры компенсаторов, которые должны составить комплект компенсаторов:

$$K_1 = K_{\min} = 1,1 \text{ мм;}$$

$$K_2 = K_1 + 0,1 = 1,1 + 0,1 = 1,21 \text{ мм;}$$

$$K_3 = K_2 + 0,1 = 1,21 + 0,1 = 1,31 \text{ мм;}$$

$$K_4 = K_3 + 0,1 = 1,31 + 0,1 = 1,41 \text{ мм;}$$

$$K_5 = K_4 + 0,1 = 1,41 + 0,1 = 1,51 \text{ мм;}$$

$$K_6 = K_5 + 0,1 = 1,51 + 0,1 = 1,61 \text{ мм.}$$

Казалось бы, эту задачу должен решать конструктор при проектировании изделия, однако технолог должен это обязательно проверить при обработке изделия на технологичность. Результатом совместной работы конструктора и технолога будет обеспечение сборочных работ комплектами из шести компенсаторов каждый.

**Пример 2.** Определить требуемый размер компенсатора 5 для обеспечения заданного осевого зазора  $\Delta$  (см. рис. 3.7, а) в редукторе при известных действительных размерах составляющих звеньев (табл. 3.4).

Из анализа составленной размерной цепи А (см. рис. 3.7, б) следует, что размер компенсатора  $K$  равен:  $A_4 = A_1 - (A_2 + A_3 + A_5 + A_\Delta) = 52,3 - (3,86 + 42,87 + 3,8 + 0,5) = 1,27 \text{ мм.}$

Выбирая из комплекта (см. Пример 1) компенсатор с ближайшим меньшим размером ( $K_2 = 1,21 \text{ мм}$ ) и рассчитываемый фактический зазор  $\Delta_{\text{фак}}$  в соединении при установке выбранного размера компенсатора:  $\Delta_{\text{фак}} = C_A - (B_A + A_A + D_A) = 52,3 - 3,86 - 42,87 - 3,8 - 1,21 = 0,56 \text{ мм}$ , сравниваем результат расчета (0,56 мм) с заданным зазором (0,5...0,7 мм) и убеждаемся, что точность сборки будет обеспечена.

**Таблица 3.4. Известные действительные размеры составляющих звеньев**

$A_\Delta (A_3)$	$B_\Delta (A_2)$	$C_\Delta (A_1)$	$D_\Delta (A_5)$	Зазор $\Delta (A_\Delta)$
42,87 мм	3,86 мм	52,30 мм	3,80 мм	0,5...0,7 мм

Расчет размерных цепей используют при обеспечении точности сборки путем подбора размера компенсатора. При этом методе сборки детали размерной цепи изготавливают с широкими экономическими допусками. Для обеспечения заданной точности в данную сборочную единицу введена дополнительная деталь 3 — компенсатор.

### 3.5. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ МАШИНЫ

---

Сборку подразделяют на общую и узловую. При *общей сборке* собирают изделие, при *узловой сборке* собирают его составные части. Элемент, с которого начинают сборку изделия или его составной части, называют **базовым**. Например, базовым элементом станка является станина. Построение процессов общей и узловой сборки показывают с помощью технологических схем сборки, которые определяют структуру и последовательность соединения изделий и его составных частей. В единичном, мелкосерийном и серийном производстве узловую и общую сборку выполняют в сборочных цехах или на сборочных участках механосборочных цехов. В крупносерийном и массовом производстве узловую сборку выполняют в сборочном цехе.

Технологический процесс сборки проектируют на основе исходных данных:

- сборочных чертежей;
- чертежей общих видов сборочных единиц и изделий;
- служебного назначения изделий и технических условий на их приемку и испытание;
- производственной программы выпуска изделий в единицу времени по неизменным чертежам;
- спецификации поступающих на сборку сборочных единиц и деталей;
- условий, в которых будет выполняться сборка.

Число изделий, подлежащих сборке, а также точность, которую следует обеспечить при этом, оказывают существенное влияние на разработку технологического процесса и принятых методов сборки узлов и изделия в целом.

**Определение типа производства и организационной формы сборки.** В настоящее время наибольшее применение нашли

две формы организации сборочных работ — **операционная и бригадная**, отличающиеся степенью дробления технологического процесса. В зависимости от перемещения объекта сборки между сборочными постами различают сборку стационарную и подвижную.

При **операционной форме** организации сборки технологические процессы расчленяются на отдельные, конкретные операции. Каждая из операций выполняется определенными рабочими на всех собираемых объектах. После выполнения операции одним из работников объект сборки передается на следующую операцию, т. е. другому сборщику. Таким образом, объект сборки переходит от сборщика к сборщику, пока последний сборщик не выполнит заключительную сборочную операцию. Эта форма сборки применяется при серийном и массовом производстве.

При **бригадной форме** организации сборки весь комплекс работ по сборке изделия выполняется бригадой сборщиков. Сборочные работы могут выполняться последовательно и параллельно. При последовательной сборке сначала собирают сборочные единицы, а затем выполняют общую сборку машины. При параллельной сборке требуется определенный состав бригады, который позволит собирать одновременно все сборочные единицы, а затем выполнять общую сборку машины. Длительность процесса сборки в обоих случаях различная. Применяют бригадную форму сборки в единичном и опытном производстве.

Недостатком бригадной формы сборки является большая длительность процесса сборки, так как сборка приостанавливается при уходе бригады по окончании рабочей смены. Кроме того, рабочие в бригаде должны быть высококвалифицированными.

Тип производства и организационную форму сборки можно произвести ориентировочно на начальной стадии проектирования технологического процесса сборки, воспользовавшись среднестатистическими данными, приведенными в табл. 3.5.

После определения такта  $t_b$  сборки по формуле

$$t_b = [60DC(T_{см} k_p - T_{об} - T_{отд})]/N_r$$

где  $D$  — число рабочих дней в году;  $C$  — число рабочих смен за сутки;  $T_{см}$  — длительность рабочей смены, ч;  $k_p$  — коэффициент, учитывающий потери времени на ремонт оборудования ( $k_p = 0,98$  — при работе в одну смену,  $k_p = 0,97$  — при двухсменной работе);  $T_{об}$  — потери времени в течение смены на обслуживание рабочих мест, ч;  $T_{отд}$  — потери времени в течение смены на отдых и естественные надобности рабочих, ч;  $N_r$  — годовая программа выпу-

Таблица 3.5. Определение типа производства и организационной формы сборки

Среднемесячный выпуск изделий, шт.	Номенклатура изделий	Ориентировочная трудоемкость сборки, ч	Тип производства	Организационная форма сборки
До 1	Различная	Свыше 2 500	Единичное	Стационарная, поточная
До 3		250 ... 2 500		
До 5		25 ... 250		
До 8		2,5 ... 25		
2 ... 4	Мелкие систематически не повторяющиеся партии изделий	Свыше 2 500	Мелкосерийное	
3 ... 8		250 ... 2 500		
8 ... 30		25 ... 250		
9 ... 50		2,5 ... 25		
Свыше 5	Систематически повторяющиеся партии изделий	Свыше 2 500	Серийное	Стационарная или подвижная сборка при определенном такте выпуска
9; 10		250 ... 2 500		
31 ... 350		25 ... 250		
51 ... 600		2,5 ... 25		
60 ... 350	Систематически повторяющиеся крупные партии изделий	250 ... 2 500	Крупносерийное	Подвижная поточная сборка с механизированной передачей собираемого объекта от одной операции к другой
351 ... 1 500		25 ... 250		
601 ... 3 000		2,5 ... 25		
801 ... 4 500		0,25 ... 2,5		
1 500 ... 3 000	Постоянная	25 ... 250	Массовое	Подвижная поточная сборка со строгим тактом и механизированной передачей собираемого объекта от одной операции к другой
3 000 ... 4 500		2,5 ... 25		
4 500 ... 6 000		0,25 ... 2,5		
Свыше 6 000		До 0,25		

ска изделий, уточняют ранее выбранный тип производства с учетом ориентировочной продолжительности операций.

Если такт сборки значительно превышает среднюю ориентировочную продолжительность сборочных операций, то сборку следует вести по принципу серийного производства. Если такт сборки близок к средней ориентировочной продолжительности операций, то сборку следует вести по принципу массового производства. При малом такте сборки процесс расчлняют (дифференцируют) на небольшие по трудоемкости операции.

В тех случаях, когда в результате анализа появляется неоднозначность в выборе варианта организационной формы сборки, производят экономические расчеты и выбирают вариант, при котором себестоимость сборки будет минимальна.

**Выбор методов обеспечения точности сборки.** Анализируя сборочный чертеж и технические условия отработанного на технологичность изделия можно заметить, что разработчик уже определил точность всех необходимых сборочных параметров и все составные и замыкающие звенья, участвующие в обеспечении точности с использованием размерных цепей. Это значительно упрощает выбор метода обеспечения точности в каждом конкретном случае. При этом следует иметь в виду, что выбор метода обеспечения точности связан с целым рядом условий:

- точность замыкающего звена;
- точность составляющих звеньев размерной цепи;
- число составляющих звеньев размерной цепи;
- возможный процент риска (не обеспечена точность) при сборке;
- конструктивные особенности изделия или машины и др.

Приблизительно можно заранее определить метод обеспечения точности сборки, используя табл. 3.6.

В машиностроительном производстве различают поточную и непоточную сборку. Характерным признаком поточного вида сборки является непрерывное или периодическое движение собираемых изделий. Сборка, которая осуществляется без соблюдения этих условий, является непоточной.

Собираемое изделие при сборке может оставаться на одном месте (стационарная сборка) или периодически перемещаться (подвижная сборка). При стационарной сборке сохраняется неизменность положения базовой детали собираемого объекта в течение всего процесса, что исключает влияние на точность сборки упругих деформаций базовой детали в случае ее недостаточной жесткости.

**Таблица 3.6. Условия, необходимые для применения методов обеспечения точности сборки**

Метод обеспечения точности сборки	Область применения	Дополнительные условия, необходимые для применения
Полная взаимозаменяемость	Достижение точности в малозвенных размерных цепях при крупносерийном и массовом производстве	3—4 составляющих звена
Неполная взаимозаменяемость	Достижение точности в многозвенных размерных цепях (более 3—4 звеньев) при пониженной точности изготовления базовых поверхностей деталей	Экономически допустимый процент брака определен и известен сборщику
Групповая взаимозаменяемость	Достижение повышенной точности в малозвенных размерных цепях, которую достичь методом полной взаимозаменяемости экономически нецелесообразно	Сортировка большого числа деталей на группы по размерам сопрягаемых поверхностей. Хранение и транспортирование каждой группы деталей в отдельной таре. Повышенные требования по точности формы поверхностей
Пригонка	Достижение заданной точности в многозвенных размерных цепях при экономической точности изготовления базовых поверхностей деталей	Требуется предварительная сборка и разборка изделий с доработкой заранее предусмотренной компенсирующей детали. Разборка изделия без особых трудностей
Регулирование	Достижение заданной точности сборки изделий с многозвенными сборочными цепями с экономическими допусками и в машинах, в которых необходимо во время их эксплуатации периодически восстанавливать заданную точность в соединениях путем регулировок	Наличие подвижных компенсирующих элементов конструкции, позволяющих изменять параметры соединения без снятия слоя материала

Метод обеспечения точности сборки	Область применения	Дополнительные условия, необходимые для применения
С использованием компенсаторов	Достижение заданной точности сборки изделий с многосвязными сборочными цепями с экономическими допусками путем замены специально введенных в конструкцию соединения деталей, называемых компенсаторам	Наличие комплекта готовых компенсаторов с определенным шагом компенсации. Возможность разборки изделия или сборочной единицы после предварительной сборки и измерения сборочного параметра

**Стационарная непоточная сборка** характеризуется тем, что весь процесс сборки осуществляется на одном рабочем месте или сборочном стенде. Сборку ведет один рабочий или бригада рабочих. При этом виде сборки уменьшается возможность совмещения во времени переходов процесса. Такую сборку применяют в единичном и мелкосерийном производстве.

Особенностью **подвижной непоточной сборки** является наличие транспортных устройств, с помощью которых осуществляют перемещения собираемого изделия от одного рабочего места к другому. В качестве транспортных устройств используют конвейеры, тележки на рельсовом пути и т.д. Такая сборка применяется в мелкосерийном производстве.

При **стационарной поточной сборке** рабочий или бригада рабочих выполняют соответственно одну или несколько операций процесса последовательно, переходя от одних собираемых объектов к другим через промежутки времени, равные такту процесса. Рабочий (или бригада) выполняет закрепленную за ним (бригадой) одну и ту же операцию на каждом из собираемых объектов.

**Подвижную поточную сборку** осуществляют с непрерывным или периодическим движением собираемого изделия. В качестве транспортных устройств используют ленточные, штанговые, цепные и рамные конвейеры. Сборку средних и мелких изделий осуществляют на вертикально- и горизонтально-замкнутых конвейерах. Рабочие места с необходимым оборудованием размещаются вдоль конвейера. Такая сборка применяется при изготовлении изделий, выпускаемых в значительном количестве. Собираемые объекты выпускают с заданным тактом.

Наиболее прогрессивной является организация сборки на основе типовых и групповых технологических процессов сборки. Эти процессы представляют собой различные формы унификации технологии и являются вполне самостоятельными направлениями структурных методов развития процесса сборки. При типовых и групповых методах сборки технологические процессы создаются не на каждое изделие или сборочную единицу, а на их специально подбираемые типы или группы, оснащаются высокопроизводительным сборочным оборудованием и унифицированной быстро переналаживаемой оснасткой.

Принципиально различные подходы при комплектовании состава технологических типов изделий позволяют называть типовые сборочные процессы системопостоянными, а групповые — системопеременными.

При проектировании и внедрении типовых и групповых технологических процессов сборки необходимо:

- классифицировать и объединить в технологические системы (типы или группы) объекты предстоящей сборки;
- по всем объектам сборки провести классификацию всех операций, охватывающих досборочные, основные, вспомогательные и послесборочные работы;
- на основе конструктивно-технологического анализа изделий и методов сборки выбрать наиболее рациональный способ процесса сборки — типовой или групповой;
- установить типового представителя или отобрать комплексное изделие (сборочную единицу);
- составить для представителя или комплексного изделия один или несколько вариантов технологического маршрута сборки;
- разработать технологические операции;
- провести расчет точности, производительности и экономической эффективности разных вариантов типовых или групповых технологических процессов;
- отобрать оптимальный вариант технологии сборки и провести его документальное оформление;
- подобрать или спроектировать для принятого варианта технологии сборки унифицированное оборудование и оснастку.

Для повышения эффективности типизации и групповой сборки целесообразно сопровождать их проработкой технологичности конструкции собираемых изделий и их компонентов. При этом задача заключается в максимальном применении рациональных методов сборки.

Среди практических рекомендаций могут быть следующие:

- изделие можно разделять на оптимальное число составных частей;
- конструкция сборочных единиц должна обеспечить возможность их компоновки из стандартных унифицированных частей;
- необходимо устранять излишнюю многозвенность в кинематических цепях изделий и стремиться к уменьшению общего числа деталей;
- компоновка конструкции сборочной единицы должна позволять проведение сборки при неизменном базировании составных частей и допускать возможность поставки присоединяемой сборочной единицы или ее деталей под действием силы тяжести либо простейшим движением сборочного механизма;
- виды используемых соединений, их конструкции и местоположение должны не только соответствовать условиям доступности инструмента, но и отвечать требованиям механизации и автоматизации сборочных работ;
- базовые и комплектующие детали должны иметь геометрические формы, облегчающие их ориентацию, сопряжение и транспортирование, и обладать достаточно развитыми базирующими поверхностями.

Важной предпосылкой эффективности применения типизации и групповой сборки является повышение коэффициента унификации изделий:

$$K_y = (E_y + D_y) / (E + D),$$

где  $E_y$  — число унифицированных сборочных единиц;  $D_y$  — число унифицированных деталей, входящих в состав изделия;  $E$  — общее число сборочных единиц в изделии;  $D$  — общее число деталей, входящих в состав изделия.

Отработанная на технологичность конструкция изделия должна четко выражать его принадлежность к определенной классификационной системе (типу или группе), на характерного представи-

теля которой возложено составление рационального типового или группового процесса сборки. Группирование изделий и их сборочных единиц целесообразно проводить по кинематическим и монтажным схемам.

Из отобранных в систему изделий или их частей формируют комплексного представителя, обладающего наибольшим числом сборочных элементов с наиболее сложной и трудоемкой схемой сборки. По комплексному изделию (сборочной единице) проектируют единый технологический процесс по групповой сборке системы объектов.

К групповому технологическому процессу так же, как и к типовому, прилагаются комплектовочная ведомость и карта сборочного инструмента и другой оснастки. Этим обеспечиваются использование при сборке новых изделий ранее выпущенных инструментов, приспособлений и их унификация во вновь разрабатываемой оснастке. Использование групповой сборки способствует повышению уровня серийности производства и применению новейших средств автоматизации.

Высшей формой унификации типовых и групповых процессов сборки являются технологические процессы, разрабатываемые на стандартизованные изделия и сборочные единицы. Нормализованные процессы позволяют наиболее полно использовать достоинства унифицированной технологии сборки и создают условия для оптимальной механизации и автоматизации сборочных работ на унифицированном и стандартизованном оборудовании и высокопроизводительной оснастке.

**Разработка технологической схемы сборки.** Технологическая схема сборки дает полное представление о последовательности присоединения одна к другой и закрепления деталей и сборочных единиц, входящих с собираемое изделие (машина, агрегат или сборочная единица). Сборочная единица состоит из деталей, изготовляемых на предприятии — изготовителе изделия. Она представляет собой обособленную часть изделия, которую можно собирать и контролировать точность сборки на отдельном рабочем месте. Сборочная единица считается незавершенной, если детали лишь присоединены одна к другой, но не закреплены. При транспортировании сборочной единицы отдельные детали не должны самопроизвольно отсоединяться.

При разбиении изделия на сборочные единицы различных подгрупп стремятся соблюсти следующие принципы:

- сборочная единица не должна быть крупногабаритной и очень тяжелой;

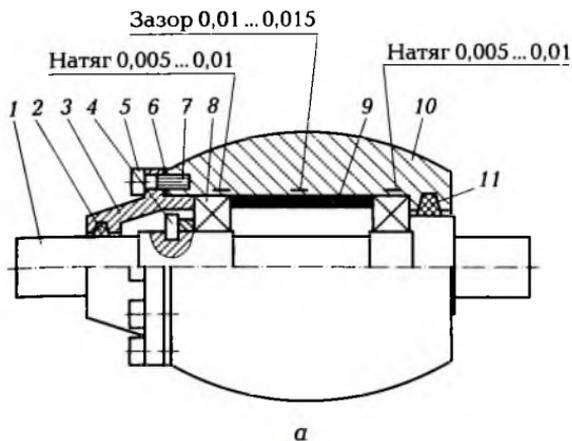
- сборочная единица не должна состоять из большого числа деталей и сопряжений;
- сборочную единицу выделяют в особую сборочную единицу при необходимости проведения ее испытаний, пригонки или обкатки;
- по возможности следует исключать ее разборку при общей сборке машины;
- следует стремиться к тому, чтобы на общую сборку машины поступали в основном сборочные единицы, а не отдельные детали;
- трудоемкость сборки должна быть примерно одинаковой для всех (или большинства) сборочных единиц, входящих в конструкцию машины.

Схему общей сборки составляют в первую очередь, а затем схемы сборки тех частей изделия, которые можно отсоединять целиком, т. е. в неразобранном виде. К деталям относят те элементы, которые не входят ни в одну сборочную единицу. Технологическую схему сборки можно составить, фиксируя последовательность, обратную последовательности разборки изделия.

В зависимости от конструкции изделия возможны различные варианты сборки, так как расчленять изделие можно по-разному, а при сборке может быть несколько вариантов последовательности присоединения деталей и сборочных единиц. Кроме того, одни и те же размерные цепи могут быть использованы для разных методов обеспечения точности сборки. Поэтому из нескольких вариантов схем сборки выбирают экономически целесообразную схему сборки.

Для примера рассмотрим сборочный чертеж изделия «ролик», представленный на рис. 3.8, а, состоящий из одиннадцати наименований деталей (рис. 3.8, б). Сначала составим последовательность разборки этого изделия.

1. Отвинтить шесть болтов 5.
2. Снять крышку 3 с уплотнением 2.
3. Вынуть из крышки уплотнение 2.
4. Снять прокладку 6.
5. Снять стопор 4.
6. Снять кольцо 7.
7. Вынуть ось 1.
8. Демонтировать подшипник (левый) 8.
9. Вынуть втулку 9.
10. Демонтировать подшипник (правый) 8.
11. Вынуть уплотнение 11.



11	Уплотнение	1
10	Маховик	1
9	Втулка	1
8	Подшипник	2
7	Кольцо	1
6	Прокладка	1
5	Болт	6
4	Стопор	1
3	Крышка	1
2	Уплотнение	1
1	Ось	1
№ поз.	Деталь	Кол.

б

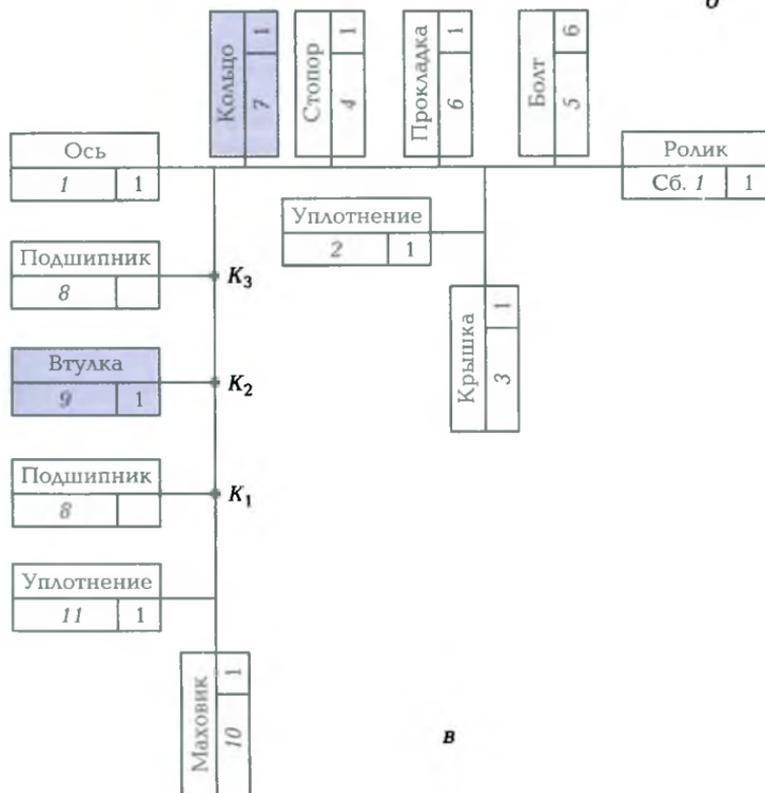


Рис. 3.8. Схема сборки изделия «ролик»:

а – сборочный чертеж; б – спецификация; в – схема сборки

Как видим, осталась последняя деталь — маховик 10, следовательно, эта деталь вступит в сборку первой. Она и будет являться базовой деталью. Схема сборки рассматриваемого изделия, составленная в обратной последовательности его разборки, представлена на рис. 3.8, в с указанием места проведения контрольных операций  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  по проверке посадки (натяг 0,005... 0,01 мм) обоих подшипников 8 и посадки (зазор 0,01... 0,015 мм) втулки 9.

На основании схемы сборки составляют маршрутно-операционное описание технологического процесса и рассчитывают норму времени на выполнение сборочных операций с учетом технического оснащения реального сборочного производства.

### 3.6. ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ ТИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ И СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ МАШИНЫ

---

**Виды типовых соединений.** Соединения деталей в зависимости от их конструкции подразделяют на подвижные и неподвижные. В свою очередь, среди этих соединений различают разъемные и неразъемные соединения.

**Подвижными** называют соединения, в которых необходимо получить взаимное перемещение одной детали относительно другой или одной сборочной единицы относительно другой (такие соединения имеют различные подвижные посадки).

**Неподвижные** соединения отличаются прочностью и стабильностью положения одной детали относительно другой или одной сборочной единицы относительно другой (такие соединения выполняют с натягом).

**Разъемными**, или **разбираемыми**, называют соединения, которые могут быть разобраны без затруднений и повреждений сопряженных или крепежных деталей (такие соединения выполняют с зазором или по переходным посадкам).

**Неразъемными**, или **неразбираемыми**, называют соединения, разборка которых при эксплуатации не предусмотрена, требует больших усилий и сопровождается повреждением сопрягаемых или крепежных деталей (такие соединения выполняют сваркой, пайкой, клепкой, запрессовкой, склеиванием, завальцовкой, заливкой пластмассами и др.).

Получение неразъемных соединений с помощью заклепок называют **клепкой**. Обычно заклепочное соединение состоит из ли-

стов фасонных профилей, соединенных заклепками. Клепка мелкими заклепками диаметром до 8... 10 мм производится в холодном состоянии, диаметром более 10... 12 мм — в нагретом состоянии.

Получение неразъемного соединения материалов с нагревом ниже температуры их плавления с помощью расплавленного промежуточного материала (припоя), плавящегося при более низкой температуре, чем соединяемые детали, называют **пайкой**. Соединение материалов происходит в результате диффузии припоя и основного материала. В зависимости от температуры на контакте соединяемых материалов пайку подразделяют на низко- и высокотемпературную. При низкотемпературной пайке температура нагрева ниже 450 °С, при высокотемпературной пайке — выше 450 °С. Нагрев осуществляется паяльником, токами высокой частоты (ТВЧ), в печах и пламени газовой горелки.

**Склеивание** — метод сборки неподвижных и неразъемных соединений, который применяют для соединения деталей из самых различных материалов (металлов между собой, металлов с неметаллическими материалами).

Широкое распространение для создания неразъемных соединений получила **сварка**, которая бывает дуговой, аргонодуговой, газовой и контактной.

При **дуговой сварке** металл плавится под действием электрического тока. Для получения электрической дуги применяют сварочные машины и аппараты постоянного и переменного тока. В электрическую цепь сварочной установки включают свариваемые детали. Противоположным полюсом является присадочный материал (электрод), который изготавливают из мягкой стальной проволоки диаметром 2... 12 мм (содержание углерода в стали до 0,25 %). Температура дуги в момент сварки достигает 6 700 °С.

При **газовой сварке** производят местный нагрев свариваемых металлов до температуры плавления и сваривают их с помощью присадочного материала. Металлы нагревают газовой горелкой, работающей на смеси кислорода и ацетилена, до температуры 3 100... 3 200 °С.

Соединение деталей осуществляется способом **контактной сварки**, которая бывает точечной, шовной и стыковой. Этот вид сварки экономичен, производителен и используется для соединения стальных листов (рис. 3.9).

Неподвижное соединение двух деталей путем **запрессовки** одной в другую, обеспечивающее прочное соединение без дополнительного крепления, называется соединением с гарантированным натягом. Соединение с гарантированным натягом может пе-

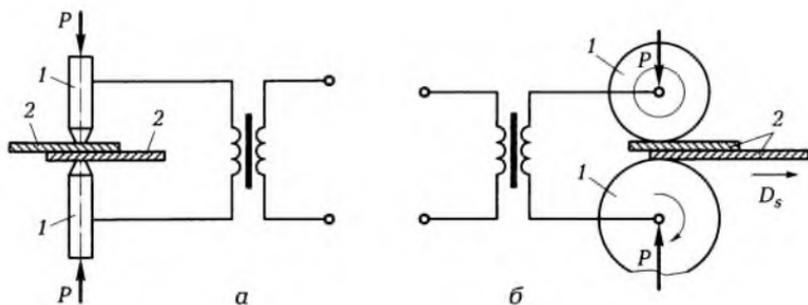


Рис. 3.9. Схемы точечной (а) и шовной (б) контактной сварки:

1 — электроды; 2 — заготовки;  $P$  — прикладываемое усилие;  $D_s$  — движение подачи

редавать значительные крутящие моменты, осевые усилия. Детали запрессовывают ручными, гидравлическими и пневматическими прессами (рис. 3.10).

Соединение деталей с помощью нагрева охватывающей детали или охлаждения охватываемой основано на том, что при нагревании охватывающая деталь расширяется, в то время как охватываемая при охлаждении сжимается, в результате чего облегчается посадка одной детали на другую. Запрессовку способом охлаждения охватываемой детали применяют для небольших тонкостенных деталей. Для охлаждения используют жидкий азот или кислород, дающие разность температур до  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а также твердую углекис-

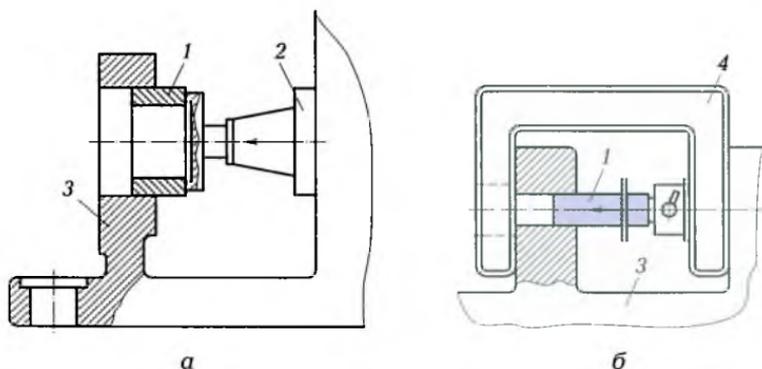


Рис. 3.10. Оборудование для запрессовки:

а — винтовой домкрат; б — гидравлическое приспособление; 1 — запрессовываемая деталь; 2 — винтовой домкрат; 3 — корпусная деталь; 4 — гидравлическое приспособление (скоба)

лоту, создающую разность температур до 100 °С. Если натяг у сопрягаемых деталей большой, при сборке одновременно нагревают охватывающую деталь и охлаждают охватываемую.

**Подготовительные операции сборочного процесса.** Так как сборка изделия является конечной стадией машиностроительного производства, за которой следует лишь испытание и контроль, то детали, агрегаты и другие комплектующие должны проходить целый ряд операций по их тщательной подготовке, прежде чем они займут свое место в конструкции машины. К подготовительным операциям, от которых в большинстве случаев зависит безотказная работа машины, можно отнести следующие работы, предшествующие сборке:

- входной контроль деталей и агрегатов;
- маркировка или клеймение деталей;
- очистка и промывка деталей;
- подбор деталей по различным параметрам.

**Входной контроль** деталей, материалов, агрегатов и сборочных единиц, поступающих на сборку, проводят, несмотря на то, что эти объекты уже проходили выходной (окончательный) контроль. Это связано с тем, что в процессе консервации, упаковки, транспортировки, распаковки и расконсервации эти объекты могли получить повреждение в виде вмятин, сколов и др., что будет обнаружено в процессе входного контроля внешним осмотром. При непосредственном влиянии качества поступающего на сборку материала, например припоя, на качество собираемого изделия (качество паяного шва) в обязательном порядке проверяют химический состав и свойства этих материалов.

Входной контроль готовых комплектующих агрегатов и сборочных единиц проводят со следующими целями:

- выявление внешних дефектов визуальным осмотром;
- проверка регулировочных параметров, например производительность и давление на выходе маслососа.

Входной контроль деталей и сборочных единиц, поступающих на сборку со склада готовых деталей, проводят в целях обнаружения внешних дефектов, возникших при несоблюдении правил транспортировки или хранения на складе этих деталей. Начинают контроль с проверки соответствия паспортных данных техническим условиям на поставку изделия. При отсутствии на предприятии службы входного контроля его проводят непосредственно в сборочных цехах.

**Маркировка и клеймение** деталей применяется в единичном и мелкосерийном производстве для указания, что сборочная единица проверена и соответствует техническим требованиям. Кроме того, многие детали маркируют, нанося на них знаки, содержащие различную информацию о технических данных.

Клеймение и маркировку в сборочных цехах осуществляют в основном электрическим, химическим или электроэрозионным способом, что исключает повреждение готовых деталей.

**Электрический способ клеймения и маркировки** применяют в мелкосерийном производстве с использованием устройства, называемого электрографом, который состоит из понижающего трансформатора небольшой мощности, первичная обмотка которого подключена к напряжению 220 В. Ко вторичной обмотке трансформатора присоединена латунная или медная плита и медный штифт-электрод с оправкой из изоляционного материала. При выполнении маркировки деталь кладут на медную плиту и штифтом-электродом, как карандашом, наносят необходимую надпись в требуемом месте детали. Недостатком этого метода является возможность ошибок в надписи, так как наносят надпись вручную.

**Химический способ клеймения и маркировки** применяют для деталей, изготовленных из медных сплавов и сталей. При этом для нанесения каждого знака используют специальные резиновые штампы и травильные растворы. Место на поверхности детали, где разрешено нанести надпись, очищается от жирового налета. Резиновый штамп прижимают к смоченной травильным раствором подушечке, а затем делают отпечаток на поверхности детали. После появления на поверхности детали нанесенных знаков с ее поверхности удаляют излишек травильного раствора тщательной промывкой специальным раствором, а затем смазывают техническим вазелином во избежание появления коррозии. Рабочее место для химического травления должно быть оборудовано сильной вытяжкой, а работники хорошо защищены от контакта с травильной жидкостью.

**Электроэрозионный способ клеймения и маркировки** применяют в условиях крупносерийного и массового производства, как наиболее производительный метод. Способ основан на электроискровом эффекте. Нанесение знаков осуществляется или по трафарету, или специальным электродом-инструментом, на торце которого припаяна пластина из латуни в виде наносимого знака. Перед нанесением знака поверхность детали в месте нанесения знака слегка смачивают машинным маслом. При нанесении знака шпиндель установки, с закрепленным в нем электродом-

инструментом, совершает незначительные колебания, вследствие чего между поверхностью детали и электродом возникает искрение от электрического разряда, а на поверхности детали остается след в виде латунной пластины, припаянной к торцовой поверхности электрода.

**Очистка и промывка деталей.** Практически все детали машин загрязняются в процессе их изготовления. Виды загрязнения могут быть различными:

- формовочные материалы у заготовок-отливок;
- металлическая стружка;
- опилки;
- абразивные материалы;
- остатки СОЖ или масел и др.

Безусловно, что все эти загрязнения, имеющиеся на готовых деталях, не должны попасть во время сборки машины в соединения деталей или в сопряжения различных механизмов, а также во внутреннюю полость сборочных единиц. Поэтому все детали, прежде чем их присоединят к другим деталям, тщательно очищают и промывают.

При **очистке** все загрязнения удаляют с поверхностей деталей механическим способом без применения промывочных жидкостей. При сухой очистке загрязнения удаляют хлопчатобумажными салфетками, волосяными щетками или вакуумом. Для извлечения стружки или опилок из труднодоступных мест в деталях применяют приспособления с постоянными магнитами. Влажная очистка производится протиркой увлажненными салфетками или щетками. Для разрыхления перед удалением нагара и других трудноудаляемых загрязнений деталь перед очисткой можно погрузить в промывочный раствор и выдержать некоторое время.

При **промывке** загрязнения удаляют с поверхностей деталей промывочными жидкостями. Загрязнения при этом растворяются или размягчаются, сцепление их с поверхностью детали ослабевает, и они хорошо смываются. Эффективным является совмещение в одну операцию промывки и очистки. Промывочные жидкости должны быть:

- нетоксичными;
- пожаробезопасными;
- не вызывать коррозии промываемых деталей;
- эффективными в использовании;
- экономически целесообразными.

Широкое применение нашли водные щелочные растворы с активизирующими добавками.

Простейшим способом промывки детали является ее окунание в неподвижную жидкость. Однако для ускорения промывки промывочные жидкости не только подогревают, но и приводят их в движение под давлением с помощью гидравлических насосов. Дополнительно в струе промывочной жидкости, направляемой на поверхность детали, создают колебательные импульсы и условия для протекания электрохимических процессов. В связи с этим различают промывку окунанием, струйную промывку движущейся жидкости, ультразвуковую и электрохимическую промывку.

**Промывку окунанием** производят в ваннах открытого типа. Этот способ применяют для обезжиривания деталей, разрыхления нагара, имеющегося на поверхностях детали, удаления загрязнений после очистки.

**Струйную промывку** производят на специальных промывочных установках, в которых промывочная жидкость подается на промываемые детали через форсунки, расположенные со всех сторон детали. Для удаления загрязнений из труднодоступных мест промываемой детали используют дополнительный шланг с насадками. Моечные машины могут содержать несколько (1—3) камер с автоматическим управлением процессом промывки детали. Тогда в одной камере детали моют, в другой ополаскивают, а в третьей камере детали просушивают потоком теплого воздуха.

Для промывки мелких деталей, требующих высокой степени очистки, применяют **ультразвуковые установки**. Сущность метода промывки в ультразвуковых ваннах состоит в том, что на поверхности детали, погруженной в промывочную жидкость в ультразвуковой ванне, возникают очень мелкие пузырьки с парами жидкости, которые взрываясь, создают гидродинамическое давление на загрязненной поверхности детали и удаляют практически любые загрязнения. Это явление возникает во всех каналах промываемой детали, что важно при промывке деталей сложного профиля. Для реализации этого метода промывки требуется ультразвуковой генератор и ультразвуковая ванна.

**Электрохимическую промывку** деталей применяют в тех случаях, когда необходимо очистить поверхности детали от окислов, оксидных пленок или солей. Промываемую деталь на подвеске помещают в ванну с электролитом и создают разность потенциалов между промывочной деталью (анодом) и корпусом ванны (катодом). Происходит электрическая эрозия, т. е. растворение поверхности анода (детали), в результате чего оксидная пленка отрывает-

ся от поверхности детали. После окончания промывки деталь промывают под теплым душем, удаляя остатки электролита, и просушивают потоком теплого воздуха.

Качество промывки контролируют следующими способами:

- осмотром с применением оптических приборов;
- осмотром фильтрующих элементов промывочной установки;
- химическим анализом промывочной жидкости после промывки;
- взвешиванием примесей, появившихся в промывочной жидкости;
- специальными счетчиками частиц, содержащихся в жидкости после промывки детали.

**Подбор деталей** по различным параметрам производят в тех случаях, когда без подбора деталей по геометрическим или физическим параметрам, точность заданной точности обеспечить довольно трудно. Чаще всего детали подбирают по геометрическим параметрам, обеспечивая заданный зазор или натяг в соединении, массе, наименьший начальный дисбаланс ротора турбины или компрессора и др.

При подборе деталей по двум и более параметрам непосредственно на рабочем месте сборщика практически невозможно исключить «лишние» детали, которым не нашлась соответствующая смежная деталь. В этом случае используют ЭВМ и специальную программу подбора деталей. Каждой детали, участвующей в сборке, присваивается порядковый номер, у нее измеряют требуемые параметры и результаты измерений заносят в таблицу. После обработки этой таблицы на ЭВМ с учетом требуемой точности получают новую таблицу с попарным распределением деталей и списком «лишних» деталей, которым не нашлась сопрягаемая деталь. Эти «лишние» детали можно включить в следующую партию деталей, поступивших на сборку.

**Сборка опор с подшипниками скольжения и качения.** Валы и шпиндели устанавливают в корпусе на подшипниках качения и скольжения. Внутренние кольца подшипников качения, как правило, соединяют с валами по посадкам, обеспечивающим натяг (натяг валов под подшипники в зависимости от режима работы выполняют с полями допусков k5, k6, m5, m6 и др.).

При легком режиме работы наружные кольца с корпусом соединяют по посадкам с зазором, при нормальном — по переходным

посадкам, при тяжелом — по посадкам с натягом (поля допусков 7К7 и др.).

Большая конусность посадочных поверхностей приводит к деформации подшипника скольжения и образованию линейного контакта, что влечет за собой концентрацию напряжений и преждевременное изнашивание подшипника. При монтаже подшипников качения недопустимы чрезмерные отклонения посадочных поверхностей по эллипсности, так как в этом случае может произойти заклинивание тел вращения.

Посадка подшипников на валы, в отверстия корпусных деталей может быть выполнена с помощью ручных, гидравлических или пневматических прессов с подогревом в горячем масле при температуре 80...90 °С или охлаждением твердой углекислотой при температуре -75...-80 °С.

Для напрессовки и снятия подшипника могут быть использованы ручные приспособления — монтажные стаканы и оправки (рис. 3.11). Применение оправок обеспечивает равномерную посадку подшипника на шейку вала, предотвращает перекокс при установке и предохраняет подшипник от повреждений. Для напрессовки подшипников на валы, имеющие на конце резьбу, часто используют гаечные и винтовые устройства.

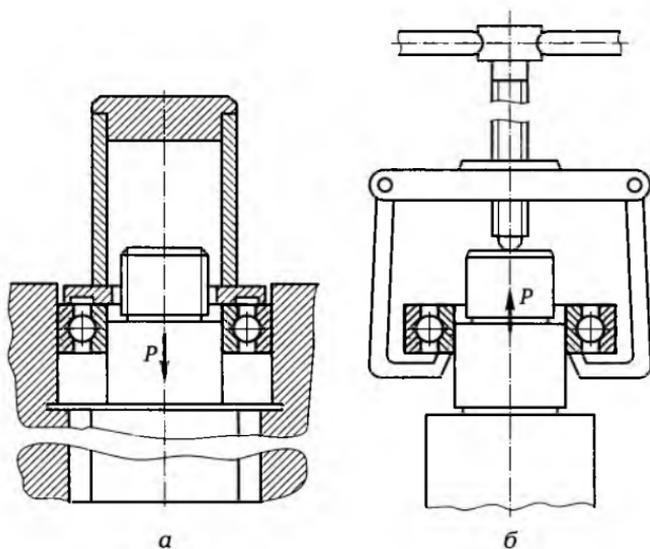


Рис. 3.11. Приспособления для напрессовки (а) и снятия (б) подшипников:

$P$  — прикладываемое усилие

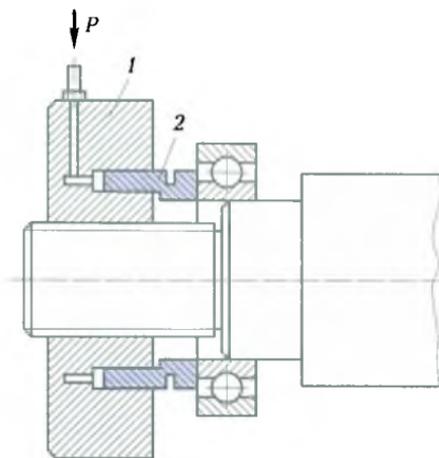


Рис. 3.12. Гидравлическая гайка для запрессовки подшипников:  
 $P$  — прикладываемое усилие

В крупносерийном производстве для напрессовки и распрессовки крупных подшипников применяют гидравлическую гайку (рис. 3.12), которая состоит из корпуса *1* и поршня *2*, перемещающегося в корпусе гайки под давлением масла.

В упорных шарикоподшипниках кольца имеют разные диаметры. Для того чтобы подшипник работал нормально, при сборке всегда устанавливают кольцо с меньшим внутренним диаметром на валу, а кольцо с большим внутренним диаметром — в корпусе. При установке вала в двух радиальных подшипниках один из них закрепляют неподвижно на валу и в корпусе, а второй — только на валу, учитывая температурные деформации вала при работе узла. При сборке сборочных единиц с упорными и коническими роликоподшипниками осевой зазор *C* регулируют прокладками или регулировочным болтом (рис. 3.13).

Процесс сборки опор с подшипниками качения состоит из следующих операций:

- подготовка деталей к сборке;
- контроль подшипников;
- предварительная сборка опор;
- проверка взаимного положения деталей опор;
- окончательная сборка опор;
- контроль точности сборки.

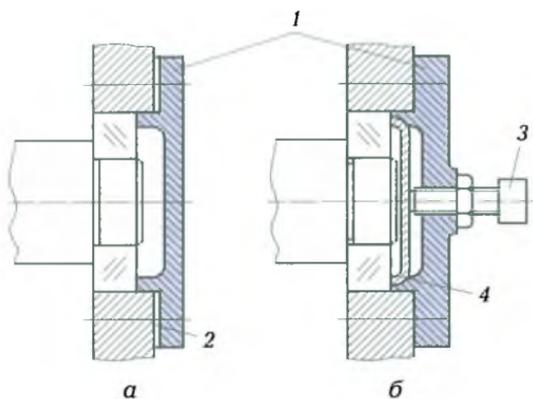


Рис. 3.13. Схемы стопорения подшипников крышкой [а] и болтом [б]:  
 1 — крышка; 2 — прокладка; 3 — болт; 4 — шайба

При подготовке деталей к сборке внешним осмотром проверяют чистоту и состояние деталей, подшипники расконсервируют, промывают и смазывают тонким слоем масла.

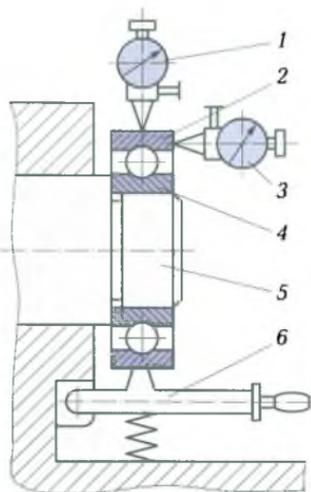
Контроль подшипников перед сборкой проводят для выявления дефектов, влияющих на надежность работы всей опоры. Основным видом контроля является визуальный осмотр в целях обнаружения забоин, трещин, коррозии и других дефектов. В некоторых случаях измеряют геометрические параметры тел качения и посадочных размеров для получения более точного сопряжения.

Предварительная сборка опор с подшипниками качения производится в целях подбора размеров компенсирующих элементов, определяющих действительные зазоры в подшипниках, и проверки действительных осевых и радиальных зазоров. На рис. 3.14 представлена схема измерения осевого и радиального зазора в шариковом подшипнике, напрессованном на вал. Для измерения радиального зазора наружное кольцо 2 перемещают (вручную) рычагом б, а величину зазора определяют по индикаторному прибору 1. Для измерения осевого зазора в подшипнике наружное кольцо 2 смещают (вручную) в осевом направлении от одного крайнего положения до другого. Индикаторный прибор 3 покажет величину осевого зазора.

При сборке опор с радиально-упорными подшипниками осевой зазор регулируется подбором компенсаторов. В опоре, конструктивная схема которой представлена на рис. 3.15, компенсатором является кольцо 4. Толщину требуемого компенсатора можно

Рис. 3.14. Схема проверки зазоров в радиальном подшипнике после напрессовки на вал:

1, 3 — индикаторные приборы; 2 — наружное кольцо подшипника; 4 — внутреннее кольцо подшипника; 5 — цапфа вала; 6 — рычаг



определить путем расчета размерной цепи или экспериментально во время предварительной сборки опоры.

При экспериментальном подборе толщины компенсатора предварительная сборка опоры производится без компенсатора следующим образом. На цапфу вала 1 напрессовывают внутреннее кольцо подшипника 2. Затем собирают опору, завинчивая все болты 5, прижимая крышку 6 до момента исчезновения осевого зазора в подшипнике. Вал при этом будет проворачиваться достаточно туго. После чего в трех местах по окружности измеряют получившийся зазор между торцом крышки 6 и торцом корпуса 3 и определяют его среднее значение. Опору разбирают и определяют требуемую толщину компенсатора 4 путем прибавления к найденному среднему значению зазора величины требуемого зазора в подшипнике. Подобранный из комплекта компенсатор устанавливают на свое место, завинчивают все болты 5 с заданным усилием и проверяют действительный осевой зазор в подшипнике.

Подшипники скольжения представляют собой втулку (вкладыш) 2, в которую входит цапфа 1 вала (рис. 3.16, а). Вкладыш выполняют либо цельным, либо разъемным. Изготавливают вкладыши из антифрикционного материала. Цельный вкладыш в виде втулки должен надежно закрепляться в корпусе одним из способов:

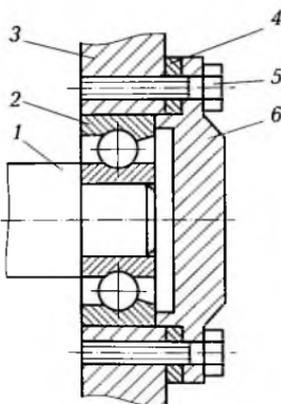


Рис. 3.15. Конструктивная схема опоры с радиально-упорным подшипником:

1 — вал; 2 — подшипник; 3 — корпус; 4 — компенсатор; 5 — болт; 6 — крышка

- силами трения (см. рис. 3.16, *а*) при установке вкладыша с натягом (запрессовке);
- стопорным винтом 4 (рис. 3.16, *б*) при наличии во вкладыше соответствующего отверстия;
- винтом 5 (рис. 3.16, *в*);
- резьбовым штифтом 6 (рис. 3.16, *г*).

Разъемный вкладыш подшипника, состоящий из двух частей 2 и 3 (рис. 3.17), на сборку подают комплектом. Устанавливаются половинки вкладыша в корпус 4 и крышку 1 с небольшим натягом или зазором и фиксируются от возможного смещения штифтами 6, посадка которых в отверстия в корпусе и в крышке осуществляется с натягом 0,04...0,07 мм, а в отверстие вкладыша — с зазором 0,1...0,3 мм. Крышка 4 подшипника также фиксируется относительно корпуса штифтами или другими элементами, посадка на которые осуществляется с небольшим зазором.

Основными требованиями на сборку подшипников скольжения является обеспечение следующих параметров:

- заданного диаметрального зазора между цапфой вала и внутренним диаметром вкладыша;
- заданной посадки вкладыша в корпус и крышку;
- надежное крепление вкладышей;
- заданной посадки фиксирующих штифтов.

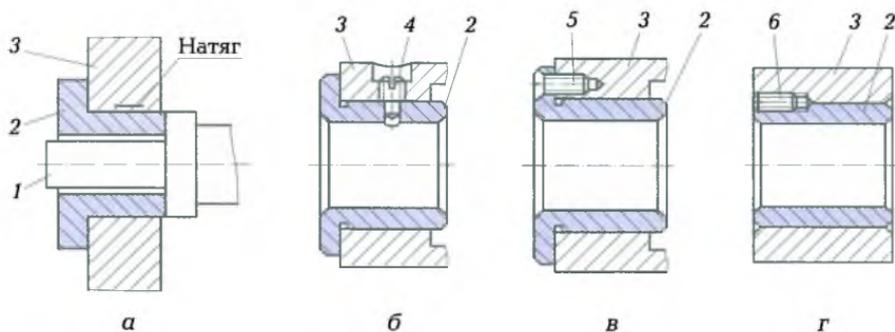


Рис. 3.16. Схемы подшипников скольжения:

*а* — закрепление вкладыша силами трения; *б* — закрепление вкладыша стопорным винтом; *в* — закрепление вкладыша винтом; *г* — закрепление вкладыша резьбовым штифтом; 1 — цапфа вала; 2 — вкладыш; 3 — корпус; 4 — стопорный винт; 5 — винт; 6 — резьбовой штифт

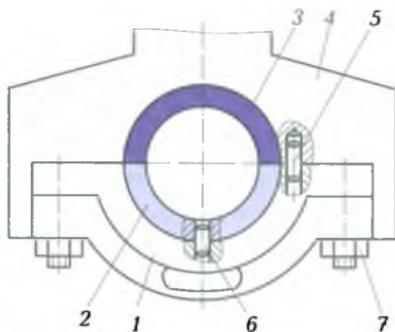


Рис. 3.17. Конструктивная схема подшипника скольжения с разъемным вкладышем:

1 — крышка; 2, 3 — части (половинки) вкладыша; 4 — корпус; 5, 6 — штифты; 7 — гайка

Сборка неразъемных подшипников скольжения начинают с внешнего осмотра деталей, поступивших на сборку и подбора их по размерам для обеспечения заданных посадок. После запрессовки вкладыша происходит уменьшение внутреннего диаметра из-за деформации самого вкладыша. Если эта деформация не учтена при изготовлении вкладыша, то после запрессовки вкладыша производят калибровку внутреннего отверстия, например шариком, с обязательной смазкой.

Сборка подшипников скольжения с разъемными вкладышами аналогична сборке подшипников скольжения с неразъемными вкладышами. Одну половину вкладыша вставляют в крышку, а другую — в корпус. Особое внимание уделяют совмещению масляных каналов и их промывку после сборки. Используемый сборочный инструмент должен быть изготовлен из мягкого материала, а оправки — из дерева или текстолита во избежание вмятин и забоин на рабочих поверхностях подшипника.

Так как подшипники скольжения подразделяют на разъемные и неразъемные, специфика их сборки различна. Сборка разъемного подшипника скольжения состоит из следующих операций:

- сопряжения вкладыша подшипника с корпусом;
- проверки соосности рабочих поверхностей подшипников;
- подгонки прилегания рабочих поверхностей вкладышей и вала;
- регулирования монтажного зазора в подшипнике;
- установки вала в подшипнике.

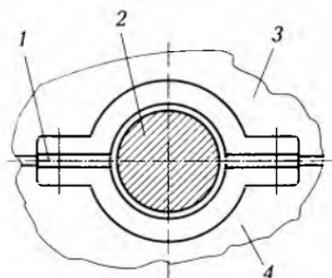


Рис. 3.18. Регулирование радиального зазора прокладками:

1 — прокладка; 2 — вал; 3 — верхняя часть корпуса; 4 — нижняя часть корпуса

Вкладыш подгоняют к корпусу по краске, при этом отпечатки должны занимать не менее 70 % поверхности подшипника.

Одновременно с подгонкой вкладышей выверяют их соосность с корпусом, которая не должна превышать 0,15 мм. Для этого используют эталонный вал, контрольную линейку и щуп или оптический метод. После выверки соосности осей подшипников приступают к сборке и пригонке вкладышей подшипника к шейкам вала, что осуществляется шабрением нижних, а затем верхних вкладышей. Подгонка считается законченной, если пятна контакта располагаются равномерно, а их число составляет 9—12 пятен на площади 25 × 25 мм. Зазор регулируют набором прокладок (рис. 3.18).

**Сборка зубчатых передач.** В конструкции машин широкое применение нашли зубчатые передачи, например в редукторах, для передачи крутящего момента от одного вала (ведущего) к другому валу (ведомому). Передачи с **цилиндрическими зубчатыми колесами** применяют для передачи крутящего момента между валами с параллельными осями. Передачи с **коническими зубчатыми колесами** применяют для передачи крутящего момента между валами, оси которых распложены перпендикулярно. **Червячные передачи** применяют для передачи крутящего момента между валами с перекрещивающимися осями.

**Сборка передач с цилиндрическими зубчатыми колесами.** Главными и наиболее ответственными деталями этой передачи являются зубчатые колеса, каждое из которых представляет собой цилиндрическую деталь (чаще в виде диска) с зубьями по периферии и центральным посадочным отверстием, имеющем или шлицы, или шпоночный паз. К сборке цилиндрических зубчатых передач предъявляют следующие требования:

- обеспечение заданного бокового зазора в сопряжении зубьев;
- посадка зубчатого колеса на вал с требуемым зазором;

- правильное зацепление зубьев сопрягаемых зубчатых колес;
- плавность вращения зубчатых колес и др.

На сборку годные зубчатые колеса поступают после прохождения подготовительных операций, среди которых могло быть комплектование пар зубчатых колес по параметрам плавности хода, пятну контакта, боковому зазору и др.

Как правило, зубчатые колеса с валами соединяют по переходным посадкам: соединения по посадкам H7/js6 и H7/k6, H7/m6 и H7/h6 осуществляют с помощью прессов.

При тугих шлицевых соединениях охватывающую деталь перед запрессовкой нагревают до 80...120 °С. Легкоразъемные и подвижные шлицевые соединения осуществляют посадкой охватывающей детали с приложением небольших усилий или от руки. Такие соединения контролируют не только на биение, но и на перемещение охватывающей детали по шлицам.

После посадки зубчатых колес на валы, закрепления и проверки правильности их положения на валу эти изделия передают на дальнейшую сборку. При установке валов на подшипниковые опоры в корпусе зубчатые колеса вводятся в зацепление друг с другом. На данной стадии сборки проверяют и обеспечивают заданный боковой зазор в зубчатом сопряжении. В одних конструкциях для регулировки бокового зазора предусмотрено изменение межцентрового расстояния сопряженных зубчатых колес, в других конструкциях боковой зазор обеспечивают путем изменения толщины зуба заменой одного зубчатого колеса (или обоих) с другой толщиной зуба в пределах допуска на изготовление.

Измеряют боковой зазор в зубчатом сопряжении щупом, приспособлением с индикаторным прибором или прокаткой свинцовой проволоочки между зубьями. На рис. 3.19 представлена схема измерения бокового зазора в цилиндрической зубчатой передаче с помощью приспособления с индикаторным прибором. На валу 2 с установленным зубчатым колесом 1 закреплен поводок 5 измерительного прибора. Второе зубчатое колесо 7, установленное на другом валу 6, зафиксировано от поворота стопорящим устройством 8. Измерительный наконечник индикаторного прибора 3, установленного на кронштейне 4, упирается в заданное место поводка. Индикаторный прибор установлен на нуль. При легком покачивании (вручную) зубчатого колеса 1 вместе с валом вокруг его оси индикаторный прибор покажет величину  $C_n$  бокового зазора в том случае, если измерительный наконечник индикаторного прибора установлен на расстоянии  $L$ , равном радиусу делительной окружности.

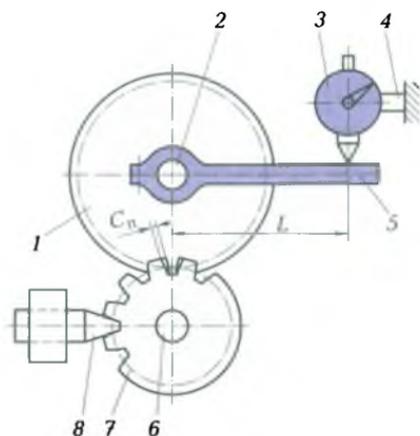


Рис. 3.19. Схема измерения бокового зазора в цилиндрической зубчатой передаче:

1, 7 — зубчатые колеса; 2, 6 — валы; 3 — индикаторный прибор; 4 — кронштейн; 5 — поводок; 8 — стопорящее устройство

Правильность касания поверхностей зубьев сопряженных зубчатых колес проверяют по пятну контакта («на краску»). Для этого эвольвентную поверхность зубьев меньшего зубчатого колеса покрывают тонким слоем специальной краски и проворачивают большее зубчатое колесо на один оборот. После разборки соединения исследуют положение пятен краски (пятна контакта) на большем зубчатом колесе и делают вывод о правильности зацепления данной пары зубчатых колес в конструкции. Нормы размеров и положений пятна контакта регламентированы стандартами, например для передачи, собранной из зубчатых колес 7-й степени точности, размер пятна контакта по высоте зуба должен быть не менее 45 %, а по ширине — не менее 60 %.

В качестве примера рассмотрим методику подсчета размеров пятна контакта, изображенного на рис. 3.20.

Размер  $B$ , %, пятна контакта по ширине зуба можно определить по формуле

$$B = \frac{B_3 - (c_1 + c_2 + c_3)}{B_3} 100,$$

где  $B_3$  — ширина зуба;  $c_1, c_2, c_3$  — измеренные по ширине зуба промежутки между отпечатками.

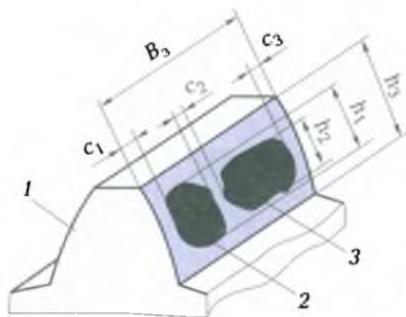
Размер  $h$ , %, пятна контакта по высоте зуба можно определить по формуле

$$h = (h_{\text{cp}}/h_3) 100,$$

где  $h_{\text{cp}} = (h_1 + h_2)/2$  — средний размер отпечатка;  $h_1, h_2$  — измеренные по ширине зуба размеры отпечатков;  $h_3$  — расстояние от впадины до вершины зуба.

Рис. 3.20. Возможная форма пятна контакта на поверхности зуба:

1 — зуб колеса; 2, 3 — пятна контакта



Форма и место расположения пятна контакта указывают на неточности сборки зубчатого сопряжения. Если пятно контакта располагается ближе к вершине зуба, то межцентровое расстояние несколько увеличено, а при эксплуатации такого сопряжения зубья могут сломаться раньше времени. Форма пятна контакта в виде клина указывает на то, что валы с насаженными зубчатыми колесами несколько непараллельные.

**Сборка передач с коническими зубчатыми колесами.** Одним из основных условий правильности зацепления конической зубчатой передачи является совпадение вершин делительных конусов зубчатых колес. Допустимые смещения вершины делительного конуса колеса (длина образующей  $R_e$ ) относительно оси второго колеса и вершины делительного конуса второго колеса относительно оси первого колеса регламентируются ГОСТом (рис. 3.21).

Боковой зазор между зубьями конических зубчатых колес контролируют щупом или свинцовой пластиной. В идеальном случае зубья касаются друг друга всей рабочей поверхностью (если принимать за рабочую поверхность узкую полосу вдоль всей линии зуба), в соприкосновении находится от  $1/2$  до  $3/4$  длины зуба.

Основные размеры конического зубчатого колеса обычно рассматриваются во внешнем сечении, где зуб имеет наибольшие размеры на поверхности дополнительного конуса (внешний делительный диаметр  $d_e = mz$ , диаметр вершин зубьев  $d_{ae} = m(z + 2aS\delta)$ , где  $m$  — модуль колеса;  $z$  — число зубьев;  $a$  — коэффициент зацепления;  $S$  — зазор между зубьями;  $\delta$  — угол делительного конуса (угол между осью конического колеса и образующей его делительного конуса, рис. 3.21, а)). Зубья могут рассматриваться в любом сечении (среднем, внутреннем и др.).

Требования, предъявляемые к коническим зубчатым передачам, приемы их сборки и установки на валу такие же, как и для цилиндрических зубчатых колес.

Пригонку колес целесообразно вести так, чтобы зубья соприкасались рабочей поверхностью ближе к тонким концам, поскольку тонкая сторона быстрее прирабатывается и при нагружении вследствие деформации тонкого конца зубьев быстрее достигается их прилегание на всей длине.

Перед установкой зубчатых колес проверяют межосевой угол и смещение осей. Перпендикулярность осей проверяют с помощью цилиндрической оправки 1 (рис. 3.21, б) и оправки 2, имеющей два выступа, плоскости которых перпендикулярны оси. Щупом измеряют зазор между выступами. Совмещение осей проверяют оправками, аналогичными оправкам 1 и 2 со срезанными до половины концами (рис. 3.21, в). При совмещении оправок щупом измеряют зазор  $C$  между ними.

Напрессованные колеса проверяют на биение венца, монтируют передачу и добиваются совпадения воображаемых вершин конусов. Предварительную установку осуществляют по торцам колес. Зацепление регулируют смещением зубчатых колес в осевом

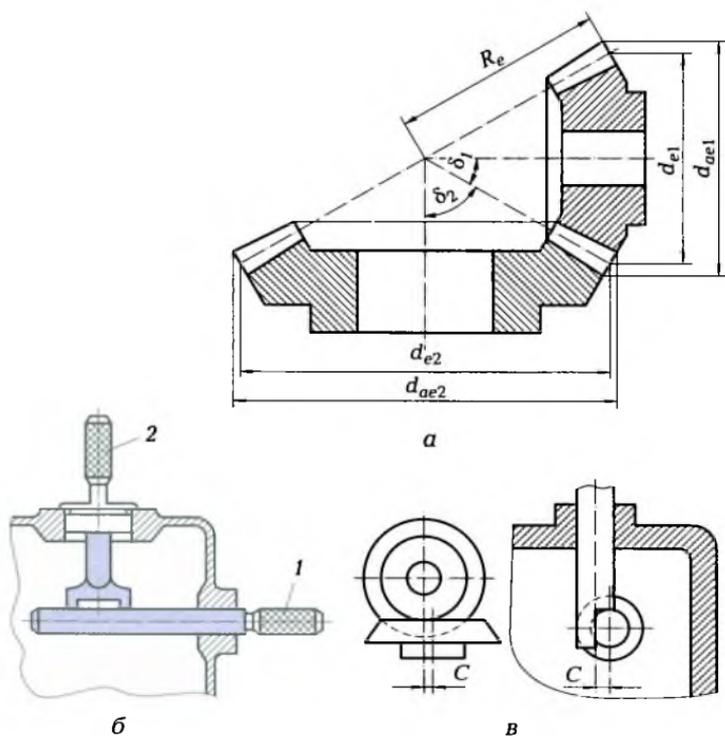


Рис. 3.21. Коническая зубчатая передача (а—в)

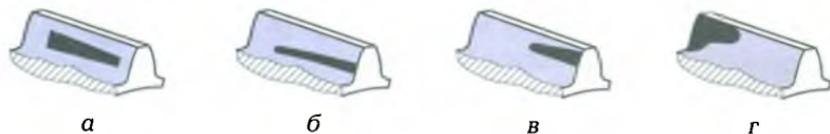


Рис. 3.22. Расположение пятен контакта при проверке «на краску»:

*а* — правильное зацепление; *б* — недостаточный зазор; *в, г* — неправильный межосевой угол

направлении, пока не получатся одинаковые боковой  $S_n$  и радиальный  $S_8$  зазоры по всей окружности. Смещать можно или одно колесо, или оба. Найденное правильное положение колес фиксируют набором прокладок или регулировочными кольцами, закладываемыми между торцом колеса и уступом вала. При наличии радиально-упорных подшипников с регулировочными прокладками зацепление регулируют смещением вала вместе с колесом. Чтобы не нарушить при этом зазоры в подшипниках, для смещения колес вынимают прокладки из-под одного подшипника и перекладывают их к противоположному подшипнику.

Правильность зацепления колес проверяют «на краску» (рис. 3.22). На зубья одного колеса наносят краску и прокатывают колеса. Передаточный механизм разбирают и проверяют, правильно ли установлены зубчатые колеса на валах и положение осей в корпусе.

Требуемое пятно контакта в конических передачах получают приработкой с абразивными пастами, как и для цилиндрических передач.

**Сборка червячных передач.** По назначению червячные передачи подразделяют на кинематические и силовые. По ГОСТ 3675—81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи червячные цилиндрические. Допуски» установлены 12 степеней точности червячных передач. Кинематические передачи, от которых требуется создание точного передаточного отношения, изготавливают 3—6-й степеней точности, силовые передачи — 5—9-й степеней точности.

Для выполнения червячной передачей своего служебного назначения при ее изготовлении необходимо обеспечить кинематическую точность передачи, заданный боковой зазор в зацеплении червяка с червячным колесом, совпадение средней плоскости червячного колеса с осью червяка, требуемую точность угла скрещивания осей вращения червяка и червячного колеса (рис. 3.23). Иногда предусмотрено регулирование осевого положения червячного колеса относительно оси червяка путем изменения тол-

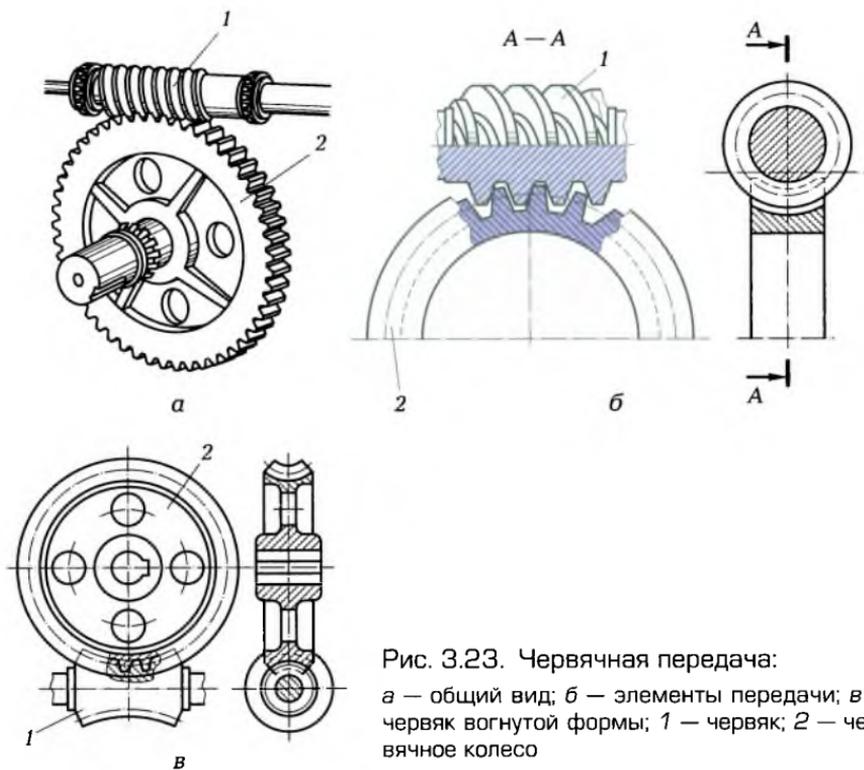


Рис. 3.23. Червячная передача:

*а* — общий вид; *б* — элементы передачи; *в* — червяк вогнутой формы; 1 — червяк; 2 — червячное колесо

щины одной из прокладок (использование неподвижного компенсатора при методе регулировки) под крышки.

При сборке червячных передач возникает необходимость регулировать зазор в подшипниках. Требуемый зазор создается перемещением наружного кольца подшипника с помощью крышки и винтов. В образовавшийся зазор должна быть вставлена прокладка соответствующей толщины.

Правильность зацепления червячного колеса с червяком проверяют «на краску». Краску наносят на винтовую поверхность червяка и, проворачивая его, получают отпечатки на зубьях червячного колеса. При правильном зацеплении червяка (контролируется правильное межосевое расстояние и перпендикулярность осей червячного колеса и червяка) краска должна покрывать не менее 50...70% боковой поверхности зуба червячного колеса, а пятно контакта должно располагаться по обе стороны оси симметрии зуба.

**Сборка резьбовых соединений.** Резьбовые соединения относятся к классу неподвижных разъемных соединений. Они составляют свыше 25% от общего числа соединений в конструкции машины.

Эти простые в сборке и надежные в работе соединения позволяют производить многократную сборку и разборку соединяемых частей изделия без их повреждения. Неотъемлемой частью резьбовых соединений являются резьбовые крепежные детали, к которым относятся болты, шпильки, винты, гайки, шайбы и др.

Наиболее распространенным резьбовым соединением является **болтовое соединение**. На рис. 3.24, а представлена конструктивная схема болтового соединения, в котором болт 1 входит с небольшим зазором в отверстия скрепляемых деталей 2, 3 и крепится гайкой 5, под которую подложена шайба 4 для уменьшения трения по торцу гайки. У другой разновидности болтового соединения, представленного на рис. 3.24, б, роль отсутствующей стандартной гайки выполняет одна из скрепляемых деталей 2, в отверстии которой имеется соответствующая резьба.

**Соединение на шпильках** применяют в тех случаях, когда нецелесообразно или практически невозможно применить болтовое соединение, например при креплении деталей или агрегатов к корпусу двигателя автомобиля. В этом случае в резьбовое отверстие в корпусе 7 (рис. 3.24, в) ввинчивают шпильку 6. Присоединяемая деталь 3 надевается на шпильку с небольшим зазором и закрепляется гайкой 5 аналогично болтовому соединению.

К резьбовым соединениям предъявляют следующие требования:

- отсутствие загрязнений резьбовых деталей, способных привести к заеданию, смятию или срыву резьбы при их завинчивании;
- отсутствие на резьбовой поверхности царапин, заусенцев, сколов и сорванных витков резьбы;

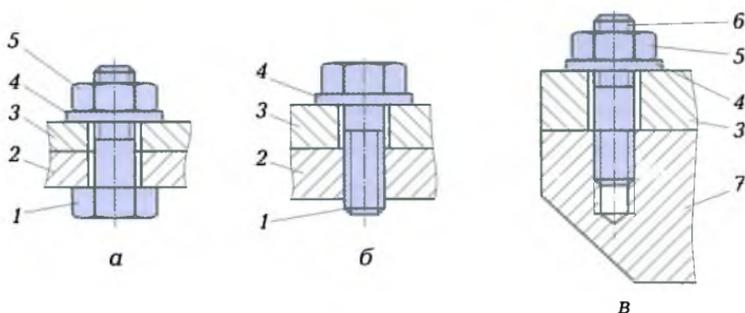


Рис. 3.24. Конструктивные схемы резьбовых соединений:

а — с гайкой; б — без гайки; в — соединение на шпильке; 1 — болт; 2, 3 — скрепляемые детали; 4 — шайба; 5 — гайка; 6 — шпилька; 7 — корпус

- определенная плотность посадки шпильки в резьбовое отверстие корпусной детали;
- строгая перпендикулярность оси ввинченной в корпус шпильки прилегающей плоской поверхности корпуса;
- резьбовые детали необходимо закручивать с заданным усилием, чтобы стык был при необходимости герметичным, а скрепленные детали не смещались от эксплуатационных нагрузок;
- резьбовые детали не должны самоотвинчиваться при эксплуатации машины.

**Контроль усилия затяжки** резьбовых соединений является одной из основных операций при их сборке. Завинчивание резьбовых деталей с усилием меньше расчетного (заданного) усилия приводит к раскрытию стыка при эксплуатации. Завинчивание резьбовых деталей с усилием больше расчетного (заданного) усилия приводит к остаточным деформациям болта или шпильки, что также приведет к раскрытию стыка соединенных деталей при эксплуатации. В практике машиностроения нашли широкое применение два метода контроля усилия затяжки резьбовых соединений:

- по крутящему моменту;
- по абсолютному удлинению болта или шпильки.

Контроль усилия затяжки по крутящему моменту:

$$M_{кр} \approx 0,2P_3d,$$

где  $M_{кр}$  — крутящий момент, прикладываемый к гайке при ее закручивании;  $P_3$  — усилие затяжки скрепляемых деталей;  $d$  — наружный диаметр резьбы.

Следовательно, измерив крутящий момент, прикладываемый к гайке, будет известно усилие скрепления соединяемых деталей.

Контролируют при сборке крутящий момент несколькими способами:

- применением стандартных гаечных ключей;
- применением динамометрических ключей;
- применением предельных механизмов в сочетании с гаечными ключами.

Контроль усилия затяжки с применением **стандартных гаечных ключей** заключается в том, что длина гаечного ключа стандартизована и зависит от диаметра резьбы, а среднестатистическое усилие, прикладываемое к рукоятке гаечного ключа работником,

известно. Поэтому рабочий, обладающий нормальной физической силой, может завинчивать гайки стандартным гаечным ключом без опасения повреждения резьбовых крепежных деталей.

Контроль усилия затяжки с применением **динамометрических ключей** заключается в том, что при завинчивании гаек используют специальное устройство, по шкале которого можно отсчитывать прикладываемый к гайке крутящий момент. В конструкцию такого ключа встроен динамометр. Динамометрический ключ (рис. 3.25) состоит из головки 1, рукоятки 5 и динамометра, включающего в себя упругий элемент 2, стрелку-указатель 4 и шкалу 3, на которой при тарировке ключа нанесены значения крутящего момента. При затяжке резьбового соединения головку ключа надевают на гайку или головку болта. К рукоятке 5 сборщик прикладывает усилие, создавая тем самым крутящий момент. Упругий элемент 2 динамометра при этом изгибается, и стрелка-указатель 4 показывает на шкале 3 величину созданного крутящего момента. В качестве динамометра могут использоваться и другие устройства, например, гидравлический цилиндр и манометр, по которому определяют давление жидкости, соответствующее крутящему моменту.

Контроль усилия затяжки с применением **предельных механизмов** в сочетании с гаечными ключами заключается в том, что предельный механизм или встраивают в конструкцию гаечного ключа, или предельный механизм используют автономно в сочетании с любым гаечным ключом. В обоих случаях предельный механизм настраивают заранее на заданный крутящий момент. При использовании таких ключей заданный крутящий момент обеспечивается автоматически, так как при достижении крутящего момента, на который был настроен механизм, ключ будет проворачиваться вхолостую, издавая определенные щелчки. При этом в предельном механизме происходит «пробуксовка», и крутящий момент на завинчиваемую крепежную деталь не передается.

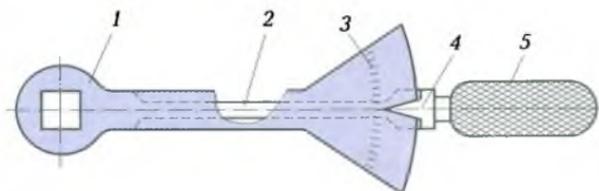


Рис. 3.25. Конструктивная схема динамометрического гаечного ключа:  
1 — головка; 2 — упругий элемент; 3 — шкала; 4 — стрелка-указатель; 5 — рукоятка

На рис. 3.26 представлена одна из возможных конструкций унифицированного предельного механизма, который может быть использован в сочетании с любым ключом, как промежуточное звено между ключом и завинчиваемой резьбовой деталью. При использовании данного механизма, как промежуточного звена, его корпус 1 квадратным отверстием надевается на рукоятку ключа. Головка торцевого ключа надевается на унифицированный квадратный наконечник 7 предельного механизма. Крутящий момент, прикладываемый к рукоятке ключа, передается на завинчиваемую гайку через шарики 2, прижимаемые к гнездам во фланце 3 и корпусе 1 тарельчатыми пружинами 4. При достижении заданного крутящего момента шарики 2 нажимают на тарельчатые пружины 4, сжимают их, что позволяет шарикам выйти из зацепления со своими гнездами. Передача крутящего момента от ключа к гайке прекращается, предельный механизм проворачивается вхолостую. При этом слышно пощелкивание шариков. Настройка предельного механизма на заданный крутящий момент производится вращением гайки 5, которая изменяет силу сжатия тарельчатых пружин и, следовательно, усилие прижатия шариков к своим гнездам.

Контроль усилия затяжки по **абсолютному удлинению болта или шпильки** используют при сборке особо ответственных резьбовых соединений, так как этот метод обладает высокой точностью, но требует дополнительной измерительной оснастки. Сущность метода заключается в том, что точным измерительным устройством измеряют деформацию — растяжение болта, возникающую при приложении к болту осевого растягивающего усилия при завинчивании гайки.

**Сборка шлицевых и шпоночных соединений.** Шлицевые соединения применяют для передачи крутящего момента от вала к насаженной на него детали и центрирования их относительно друг

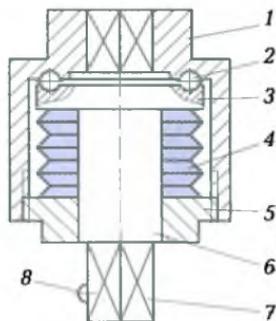


Рис. 3.26. Конструктивная схема унифицированного предельного механизма:

1 — корпус; 2 — шарик; 3 — фланец; 4 — тарельчатая пружина; 5 — гайка; 6 — ось; 7 — унифицированный наконечник; 8 — шариковый фиксатор

друга. В процессе сборки не допускается механическая обработка шлицов, а точность сборки обеспечивается методом подбора сопрягаемых деталей по параметрам шлицов. При посадке сопрягаемых деталей с натягом можно деталь со ступицей нагревать до температуры 353...393 К, затем надеть ее на вал до упора. Проверять точность взаимного положения деталей следует после полного охлаждения собранного соединения. При посадке сопрягаемых деталей с зазором плотность прилегания шлицов проверяют «на краску». Взаимное положение собранных деталей проверяют после закрепления детали 3 со ступицей на валу 5 по схеме, показанной на рис. 3.27, а. Вал 5 устанавливают в центрах 1. При плавном повороте вала на один оборот индикаторный прибор 4 покажет величину торцевого биения, а индикаторный прибор 2 покажет величину радиального биения. Величину бокового зазора в шлицевом соединении проверяют по схеме, показанной на рис. 3.27, б. Вал 5 затормаживают от поворота и настраивают индикатор 6 в нулевое положение, уперев измерительный наконечник в какой-либо элемент детали 3. Покачивая деталь 3 влево и вправо, определяют по индикаторному прибору 6 с учетом радиуса установки измерительного наконечника величину бокового зазора в шлицевом соединении.

**Шпоночные соединения**, т. е. соединения со шпонками, применяют для передачи крутящего момента от вала к детали со шпоночным пазом. Состоят шпоночные соединения из вала 3 (рис. 3.28)

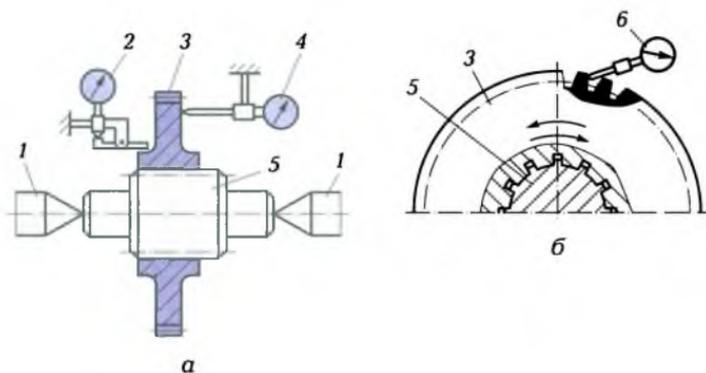


Рис. 3.27. Схема контроля параметров собранного шлицевого соединения:

а — проверка радиального и торцевого биения; б — проверка бокового зазора; 1 — центры; 2, 4, 6 — индикаторные приборы; 3 — деталь со шлицевой ступицей; 5 — вал с наружной шлицевой поверхностью

со шпоночным пазом, детали 1, например, зубчатого колеса со шпоночным пазом внутри и призматической или сегментной шпонкой 2. Шпонку, как правило, устанавливают в паз вала плотно или с натягом, а в паз втулки — с зазором. Точность соединения обусловлена размерами, заданными на сопрягаемые поверхности при их изготовлении. Последовательность сборки шпоночного соединения определяется его конструкцией. Например, шпоночное соединение, изображенное на рис. 3.28, собирается в следующем порядке. Вал 3 устанавливают в приспособление, например на призму, и шпонку 2 запрессовывают в его паз. После проверки положения шпонки в пазу вала надевают на него деталь 1, совмещая шпоночный паз со шпонкой, и закрепляют ее предусмотренным в конструкции способом. Затем проверяют положение детали на валу, измеряя радиальное и торцевое биение, указанное на сборочном чертеже.

**Сборка прессовых соединений.** Соединения с гарантированным натягом относятся к неразборным механическим соединениям, так как при их разборке нарушается состояние сопрягаемых поверхностей, т.е. детали этого соединения повреждаются. При переборках изделия эти соединения не подлежат разборке.

По способу сборки соединения с гарантированным натягом условно делятся на поперечно-прессовые и продольно-прессовые. При сборке поперечно-прессовых соединений сближение сопрягаемых поверхностей происходит по направлению, перпендикулярному этим поверхностям. При продольно-прессовых соединениях детали запрессовываются под действием сил, направленных вдоль сопрягаемых поверхностей.

При сборке **поперечно-прессовых соединений** производят нагрев охватывающей детали и (или) охлаждают охватываемую деталь. При достаточном нагреве — охлаждении сопрягаемых деталей диаметры отверстия и вала должны измениться настолько, что

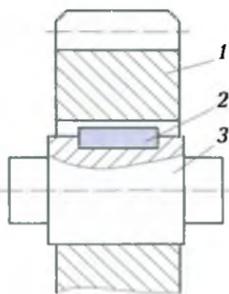
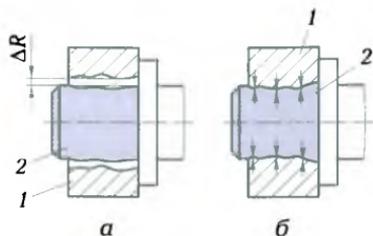


Рис. 3.28. Конструктивная схема шпоночного соединения:

1 — деталь со втулкой и шпоночным пазом; 2 — шпонка; 3 — вал

Рис. 3.29. Конструктивная схема поперечно-прессового соединения:

*а* — взаимное положение деталей во время сборки; *б* — положение деталей после выравнивания температуры; 1 — охватывающая деталь; 2 — охватываемая деталь



бы при их соединении образовался зазор  $\Delta R$  (рис. 3.29, *а*). Тогда деталь-вал свободно вставляют в отверстие сопрягаемой детали до упора во фланец, не сминая неровности на их поверхностях. Последующее охлаждение приведет к выравниванию температуры деталей. Зазор не только исчезнет, но и образуется заданный (заранее рассчитанный конструктором) натяг по поверхностям соединенных деталей. Происходит взаимное проникновение микронеровностей на поверхностях деталей 1 и 2 (рис. 3.29, *б*) при незначительном их смятии.

Необходимую температуру  $t_{сб}$  нагрева детали с отверстием (охватывающей детали) можно рассчитать по следующей формуле:

$$t_{сб} = \frac{i_{зад} + i_{сб}}{\alpha d_{дет}} + t_0,$$

где  $i_{зад}$  — заданный натяг в соединении;  $i_{сб}$  — планируемый зазор в соединении при сборке;  $\alpha$  — коэффициент линейного расширения материала охватывающей детали;  $d_{дет}$  — диаметр отверстия охватывающей детали;  $t_0$  — температура окружающей среды во время сборки.

Необходимую температуру охлаждения охватываемой детали (вала) подсчитывают по аналогичной формуле. Охлаждают в основном мелкие детали типа штифтов, втулок, призонных болтов перед установкой их в крупногабаритные детали.

Для нагрева деталей используют индукторы, нагревательные печи, газовые горелки, масляные ванны и др. Охлаждают детали в жидком воздухе или в жидком азоте, сухом льде (твердая углекислота) и др. Выравнивание температуры производят в собранном состоянии, например, под прессом.

**Продольно-прессовые соединения** собирают без нагрева и охлаждения методом запрессовки. При этом происходит смятие неровностей по поверхностям соединяемых деталей 1 и 2 (рис. 3.30, *а*). Усилие  $P_{зап}$  запрессовки целесообразно создавать прессом,

что обеспечит плавное изменение усилия от минимального (в начальной фазе запрессовки) до максимального (в конечной стадии запрессовки). Для исключения перекоса деталей используют различные сборочные приспособления. Оборудование для запрессовки во многом определяется конструкцией собираемого изделия и программой выпуска изделий. Небольшие детали можно запрессовать мягким молотком небольшой массы. Для запрессовки более крупных деталей применяют прессы различного действия, например, гидравлические, винтовые или эксцентриковые. В ограниченном пространстве, когда нет размаха для удара молотком, применяют винтовые приспособления (рис. 3.30, б). При вращении винта 4 ключом 5 происходит плавное нажатие на деталь 1, которая запрессовывается в отверстие детали 2.

Контролируют после запрессовки радиальное и торцевое биение, плотность прилегания деталей по торцу и другие геометрические параметры. Прочность запрессованного соединения проверяют выборочно в лабораторных условиях, доводя соединение до разрушения.

**Сборка сварных соединений.** Соединения деталей сваркой имеют следующие преимущества по сравнению с другими видами соединений:

- снижается масса изделия за счет исключения из конструкции фланцев и крепежных деталей;
- более надежно обеспечивается герметичность стыка соединяемых деталей;
- упрощается процесс сборки;
- повышается уровень механизации и автоматизации сборочного процесса.

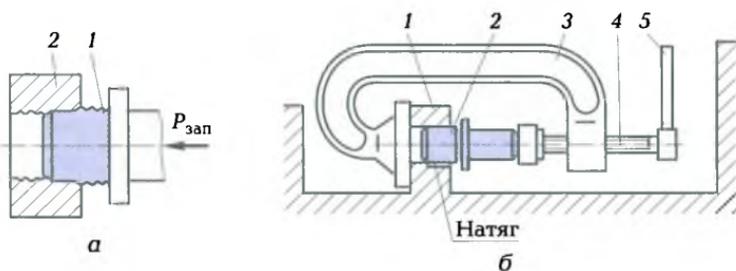


Рис. 3.30. Продольно-прессовое соединение:

а — положение деталей при сборке; б — схема запрессовки в труднодоступном месте; 1, 2 — соединяемые детали; 3 — скоба приспособления; 4 — винт; 5 — гаечный ключ

Скрепляются детали сварным швом, который получается во время сварки, когда скрепляемые детали нагреваются источником теплоты до температуры плавления металла соединяемых деталей. Часто используют присадочный материал в виде прутка, который плавится и заполняет пространство между свариваемыми деталями. При охлаждении расплавленного металла происходит взаимопроникающая кристаллизация, и затвердевший металл в месте соединения деталей образует сварной шов, прочность которого близка к прочности исходного металла.

Широко применяют следующие виды сварных соединений: стыковые, когда скрепляемые детали присоединяются одна к другой встык; угловые, когда скрепляемые детали образуют между собой угол; тавровые, когда скрепляемые детали образуют форму буквы Т; внахлест, когда скрепляемые детали накладываются кромками одна на другую.

К сварным соединениям могут предъявляться следующие требования:

- высокая прочность;
- герметичность сварного шва;
- отсутствие трещин, непроваров, подрезов;
- отсутствие короблений скрепленных деталей.

Виды сварки во многом определяются источником теплоты для нагрева металла скрепляемых деталей. Наиболее широко применяют следующие виды сварки:

- газовая;
- электродуговая;
- аргонодуговая;
- плазменная дуговая;
- электронно-лучевая;
- лазерная;
- точечная;
- роликовая;
- сварка встык с оплавлением.

Для скрепления деталей из низколегированных сталей применяют дуговую сварку. Детали из меди сваривают газовой или дуговой сваркой. Детали из латуни сваривают газовой или дуговой сваркой, применяя угольные электроды. При сварке деталей из магниевых сплавов наилучший результат получается при аргонодуговой сварке со специальными флюсами. Сварку деталей из

жаропрочных сплавов и сталей производят аргонодуговой сваркой.

Качество сварного шва во многом определяется тщательностью выполнения операций по подготовке деталей к сварке и правильным выбором метода сварки в зависимости от марки скрепляемых материалов. Детали перед сваркой правят и выравнивают, используя оправки, легкие мягкие молотки, для обеспечения хорошего взаимного положения кромок скрепляемых деталей. С поверхностей деталей в местах сварки удаляют ржавчину, масла, влагу, окалину и другие загрязнения, которые могут привести к дефектам сварного шва. Очистку производят механическими способами или травлением в щелочах или кислотах. Для обезжиривания поверхностей применяют бензин, ацетон или спирт. Если необходимо, то вдоль всей линии будущего сварного шва выполняются фаски определенного размера.

Непосредственно перед сваркой детали собирают и закрепляют в приспособлении для сварки (стапеле), придавая им заданное чертежом взаимное положение. Точность сборки в приспособлении во многом определяется видом сварки. Например, при аргонодуговой сварке встык деталей из листовой жаропрочной стали погрешность соединения заготовок не должна превышать 0,1 толщины свариваемого материала.

При дуговой сварке плавящемуся электроду сообщают следующие рабочие движения относительно скрепляемых деталей:

- поступательное движение вдоль оси электрода по мере его расплавления для поддержания постоянной длины электрической дуги;
- поступательное движение вдоль стыка деталей, необходимое для образования сварного шва по всей длине скрепляемых деталей;
- колебательное движение с небольшим размахом, необходимое для образования требуемой ширины сварного шва.

Во время сварки деталей происходит большой перепад температур из-за местного нагрева, а после их остывания появляются значительные внутренние напряжения, которые могут привести к поломкам деталей во время эксплуатации. Для снятия этих напряжений производят термообработку сварного соединения, например отжиг. При сварке жаропрочных сплавов перед сваркой производят отжиг отдельных деталей, а после сварки производят старение сварного соединения.

У свариваемых деталей может появиться остаточная деформация после их остывания. Устраняют эти дефекты правкой. Правка деталей может быть механической посредством удара или статической нагрузки, термической, которая проводится путем местного нагрева сварного соединения в определенной последовательности.

Для выявления дефектов сварного соединения применяют различные методы контроля, реализуемые в три этапа:

- предварительный контроль подготовленных к сварке деталей;
- пооперационный контроль;
- контроль готового сварного соединения.

Многие внешние дефекты можно обнаружить визуальным осмотром. Для обнаружения внутренних дефектов используют ультразвуковые или рентгеновские дефектоскопы. Герметичность сварного шва проверяют течеискателями или испытаниями на герметичность с помощью сжатого воздуха или жидкости под давлением.

**Сборка паяных соединений.** Пайкой называют процесс получения неразъемного соединения двух или более деталей с применением присадочного материала (припоя) путем их нагрева в собранном виде до температуры плавления припоя. Расплавленный припой затекает в специально созданные зазоры между скрепляемыми деталями. После затвердевания припоя образуется паяный шов, который скрепляет детали.

Применяют пайку мягкими и твердыми припоями. **Мягкие** припои состоят в основном из олова и свинца. Они имеют температуру плавления до 773 К и невысокую механическую прочность. **Твердые** припои состоят в основном из меди, цинка, серебра, никеля. Они имеют температуру плавления выше 773 К и более высокую прочность.

При **пайке мягкими припоями** тщательно зачищают поверхность под пайку, затем на зачищенную поверхность наносят флюс, который растворяет оксидные пленки на поверхностях деталей. При сборке деталей под пайку припой в виде проволоки или фольги располагают в строго отведенных для него местах и закрепляют, например, сваркой. Остатки флюса после нагрева, пайки и остывания удаляют промывкой в горячей проточной воде.

При **пайке твердыми припоями** подготовка поверхностей ведется так же, как и при пайке мягкими припоями, но поверхностям придают некоторую шероховатость для лучшего сцепления припоя с материалом деталей.

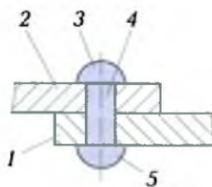


Рис. 3.31. Схема заклепочного соединения:

1, 2 — скрепляемые детали; 3 — замыкающая головка заклепки; 4 — стержень заклепки; 5 — закладная головка заклепки

Нагревают детали при пайке в электрических печах или соляных ваннах, газовыми горелками или токами высокой частоты.

Основным достоинством паяных соединений является относительно невысокие температуры нагрева деталей во время пайки.

**Сборка заклепочных соединений.** В заклепочных соединениях детали 1 и 2 (рис. 3.31) скрепляются заклепками. Заклепка представляет собой металлический стержень 4 с закладной головкой 5 на одном конце, на другом конце которого формируется в процессе клепки замыкающая головка 3. Закладные головки у заклепок могут быть полукруглые, потайные, полупотайные или плоские, а стержень заклепки может быть сплошным, трубчатым и др. Операция сборки заклепочного соединения состоит из следующих переходов: сборка деталей под клепку, выполнение отверстий под заклепку, установка заклепки в отверстие, клепка, контроль заклепочного соединения.

При клепке формируют замыкающую головку заклепки путем деформации свободного конца заклепки ударом стального молотка при жесткой поддержке заклепки со стороны закладной головки. Для формирования требуемой формы замыкающей головки используют соответствующей формы обжимки. Для механизации процесса клепки используют различные механизмы, например клепальные молотки и облегченные инерционные поддержки.

Контроль заклепочного соединения осуществляют визуально, с применением дефектоскопов, например рентгена, и выборочно механическими испытаниями до разрушения. При этом для контроля высоты замыкающей головки заклепки 3 используют специальные калибры 4 (рис. 3.32), лекальные линейки 5 и другие измерительные средства.

**Сборка соединений трубопроводов.** В изделиях машиностроения трубопроводы применяют в смазочных и топливных системах, системах охлаждения и др. Для удобства монтажа трубопроводы делают разъемными с герметичными местами соединения отдельных частей общей магистрали. Разъемные соединения трубопроводов бывают:

- ниппельными, когда арматура уплотнения изготовлена по схеме конус — конус или конус — сфера;
- штуцерными, когда герметичность соединения обеспечивается по плоским поверхностям;
- фланцевыми, когда к каждой из стыкуемых трубок на предыдущих операциях присоединяется фланец, а герметичность обеспечивается прокладками и резьбовыми деталями, скрепляющими фланцы;
- сварными, когда и скрепление трубок, и герметичность стыка обеспечиваются сварным швом;
- телескопическими, когда соединяемые части общей магистрали своими наконечниками входят друг в друга, а герметичность обеспечивается специально подобранным уплотнительным кольцом.

Одними из основных деталей трубопроводов являются трубки, по которым перемещается рабочее тело, например топливо. Изготовления трубок предшествует сборке и состоит из следующих этапов.

Входной контроль труб, поступающих со склада материалов в цех, проводят в целях отбраковки труб или отдельных их участков с трещинами, остаточной деформацией и скрытыми дефектами, которые могут нарушить герметичность системы изделия при его эксплуатации.

Резка труб на мерные части производится дисковыми пилами или абразивными кругами на отрезных станках. Нарезанные заготовки тщательно очищаются от заусенцев и грязи механическим, гидроабразивным, химическим или ультразвуковым методами.

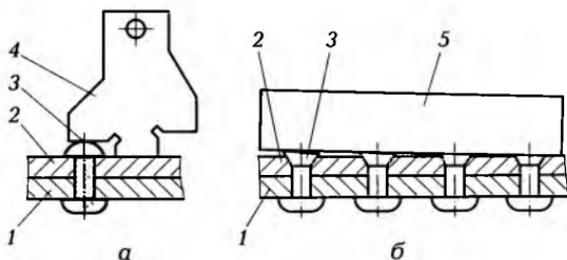


Рис. 3.32. Схема контроля заклепочного соединения:

а — контроль высоты закрывающей головки; б — контроль поверхности потайного шва; 1, 2 — скрепляемые детали; 3 — заклепка; 4 — специальный калибр; 5 — лезвие линейки

Разделка концов труб (развальцовка или отбортовка) производится роликами или конусами на станках.

Гибка труб производится на трубогибочных станках, в штампах или вручную с использованием специальных приспособлений, исключая такие дефекты, как сплющивание, складки или гофры, трещины. Для контроля формы изгиба применяют эталонные трубы.

Приварка элементов аппаратуры, таких как ниппель, штуцер, фланец, к концам труб выполняется газовой или дуговой сваркой в сборочно-сварочных приспособлениях.

Контроль качества сварки или пайки состоит в проверке правильности формы, качества сварного или паяного шва, герметичности мест сварки. После проверки сборочные единицы (трубки) тщательно промывают и ставят технологические заглушки на все отверстия.

**Сборка штуцерных соединений трубопроводов.** Последовательность сборки штуцерных соединений следующая. После тщательного осмотра деталей, влияющих на герметичность стыка, надевают прокладку 4 (рис. 3.33) на цилиндрическую поверхность втулки 5 без перекосов и закрутки. Затем подводят другой трубопровод со штуцером 2 и соединяют обе части, вводя цилиндрическую часть втулки 5 в отверстие штуцера 2. Располагают состыкованные трубопроводы по одной линии и навинчивают на резьбу штуцера накидную гайку 3, надетую на трубопровод перед приваркой наконечников. Завинчивают резьбовое соединение с заданным усилием, придерживая другим ключом штуцер 2 от поворота во избежание закручивания труб.

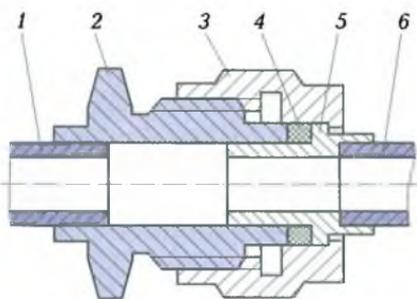
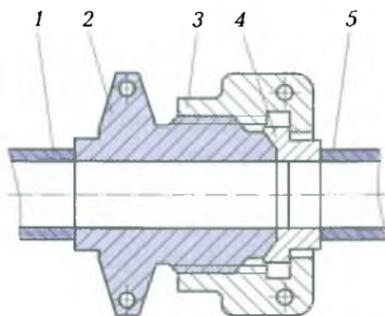


Рис. 3.33. Конструктивная схема штуцерного соединения трубопроводов: 1, 6 — соединяемые трубы; 2, 5 — детали арматуры; 3 — накидная гайка; 4 — уплотнительная прокладка

Рис. 3.34. Конструктивная схема ниппельного соединения трубопроводов:

1, 5 — соединяемые трубы; 2, 4 — детали арматуры; 3 — накидная гайка



**Сборка ниппельных соединений трубопроводов.** В ниппельных соединениях уплотнительных прокладок нет. При завинчивании накидной гайки 3 (рис. 3.34) происходит стягивание деталей 2 и 4 и соединение уплотняется по конусным поверхностям этих деталей. Усилие завинчивания гайки 3 контролируют обязательно, а в случае негерметичности соединения гайку завинчивают с большим усилием. Во избежание закручивания труб необходимо придерживать другим ключом деталь 2 от поворота.

**Сборка фланцевых соединений трубопроводов.** Последовательность сборки фланцевых соединений следующая. На шпильки 6 (рис. 3.35), ввинченные в корпус 7 на предыдущей операции, надевают уплотнительную прокладку 5. Затем трубопровод 1 с приваренным к нему фланцем 4 подводят к корпусу, и надевают фланец 4 на шпильки 6. На шпильки надевают шайбы 3 и наживляют гайки 2. Придерживая трубопровод с фланцем рукой, завинчивают гайки 2 в три приема в определенной последовательности. На третьем приеме гайки завинчивают с заданным усилием затяжки. После сборки проверяют правильность положения фланца и гер-

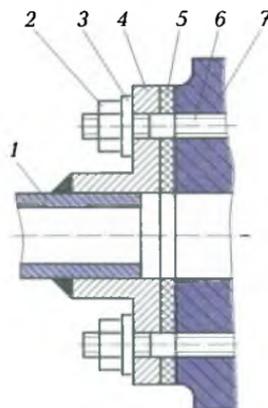


Рис. 3.35. Конструктивная схема фланцевого соединения трубопроводов:

1 — присоединяемый трубопровод; 2 — гайка; 3 — шайба; 4 — фланец; 5 — уплотнительная прокладка; 6 — шпилька; 7 — корпус

метичность соединения. При необходимости затягивают дополнительно гайки 2.

**Сборка телескопических соединений трубопроводов.** Порядок сборки телескопических соединений трубопроводов следующий. На наконечник 3 (рис. 3.36), приваренный к трубопроводу 4, надевают уплотнительное кольцо 2 таким образом, что бы оно сидело плотно в канавке наконечника без закручивания. После чего наконечник легким нажатием вставляют в отверстие корпуса 1 на заданную глубину или до упора фланца в корпус. Уплотнительное кольцо при этом должно оставаться в канавке и не закручиваться. В случае смещения уплотнительного кольца со своей канавки операцию сборки повторяют. Для облегчения сборки соединяемые детали смазывают.

**Технология сборки сборочных единиц.** Последовательность сборки машин удобно изображать в виде схемы. Однако перед этим необходимо выявить наличие сборочных единиц, таких как комплекты, подузлы, узлы первого, второго порядка и т.д. (рис. 3.37, а). Схему сборки строят следующим образом (рис. 3.37, б): по вертикали определяют несколько зон, соответствующих названиям сборочных единиц, наличие которых выявлено по чертежу. Каждая сборочная единица обозначается треугольником или квадратом и т.д. Каждая деталь или комплектующая сборочная единица обозначается прямоугольником, в котором указываются наименование и номер детали по чертежу. При построении схем сборки в прямоугольниках, обозначающих сборочную единицу, иногда указывают трудоемкость ее сборки.

**Пример 1.** Сборка коробки скоростей, сообщающей крутящий момент шпинделю в диапазоне частот вращения шпинделя 12... 2 000 мин<sup>-1</sup> (рис. 3.38, а).

Сборка передней бабки осуществляется в такой последовательности (рис. 3.38, б): в корпус передней бабки 5 помещают зубчатое

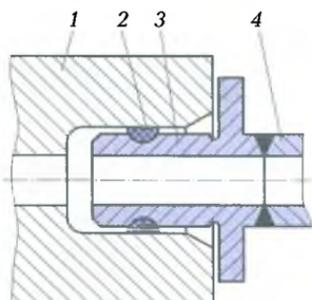
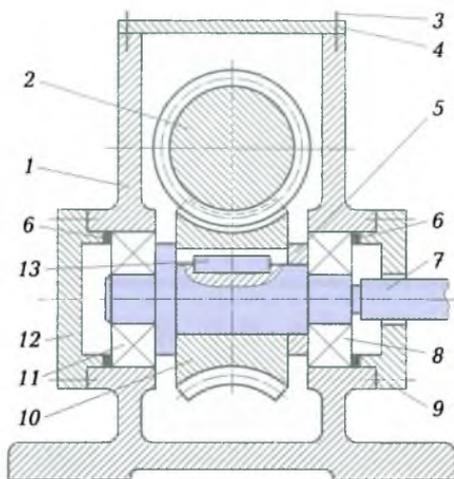


Рис. 3.36. Конструктивная схема телескопического соединения трубопроводов:

1 — корпус; 2 — уплотнительное кольцо; 3 — наконечник; 4 — присоединяемый трубопровод



а

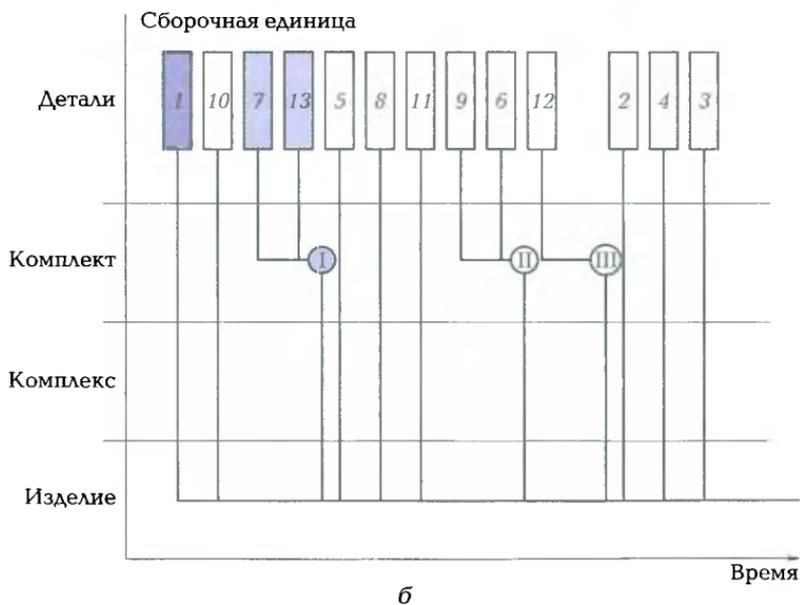


Рис. 3.37. Червячный редуктор (а) и схема его сборки (б):

1 — корпус; 2 — червячный вал; 3 — винт; 4 — крышка редуктора; 5 — втулка; 6 — прокладки; 7 — вал червячного колеса; 8 — правый подшипник; 9 — правая крышка; 10 — червячное колесо; 11 — левый подшипник; 12 — левая крышка; 13 — шпонка

колесо 10, комплект из зубчатого колеса 13 и ступицы 12, приворачивают фланец 18. Шпиндель 20 соединяют с комплектом II, состоящим из колец 16 и 21, уплотнения 17, подшипников 14 и 15 и шпонок 7 и 11. Комплект II вкладывают в корпус передней бабки, приворачивают крышку 19 к фланцу 18 болтами 56. Наворачивают на шпиндель гайки 8 и 9, зубчатое колесо 6, подшипник 4 и комплект II, а затем гайку 1. К корпусу передней бабки приворачивают крышку 3 болтами 56.

Комплект III собирают из базирующей детали 26 (зубчатого колеса), кольца 55, подшипника 24 и зубчатого колеса 23. В корпус передней бабки вкладывают зубчатые колеса 22 и 54. Комплект IV собирают из базовой детали 28 (вала), колец 29 и 30 и подшипника 25.

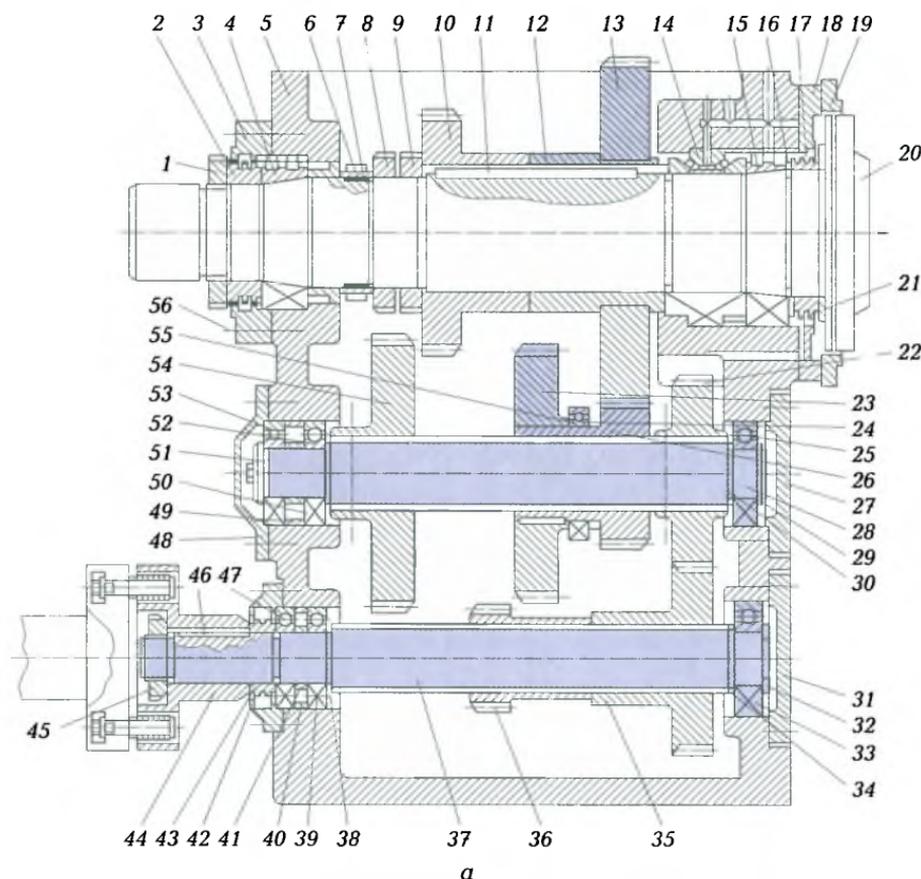


Рис. 3.38. Коробка скоростей токарного станка мод. 1Б732 (а) и схема сборки коробки скоростей (б)

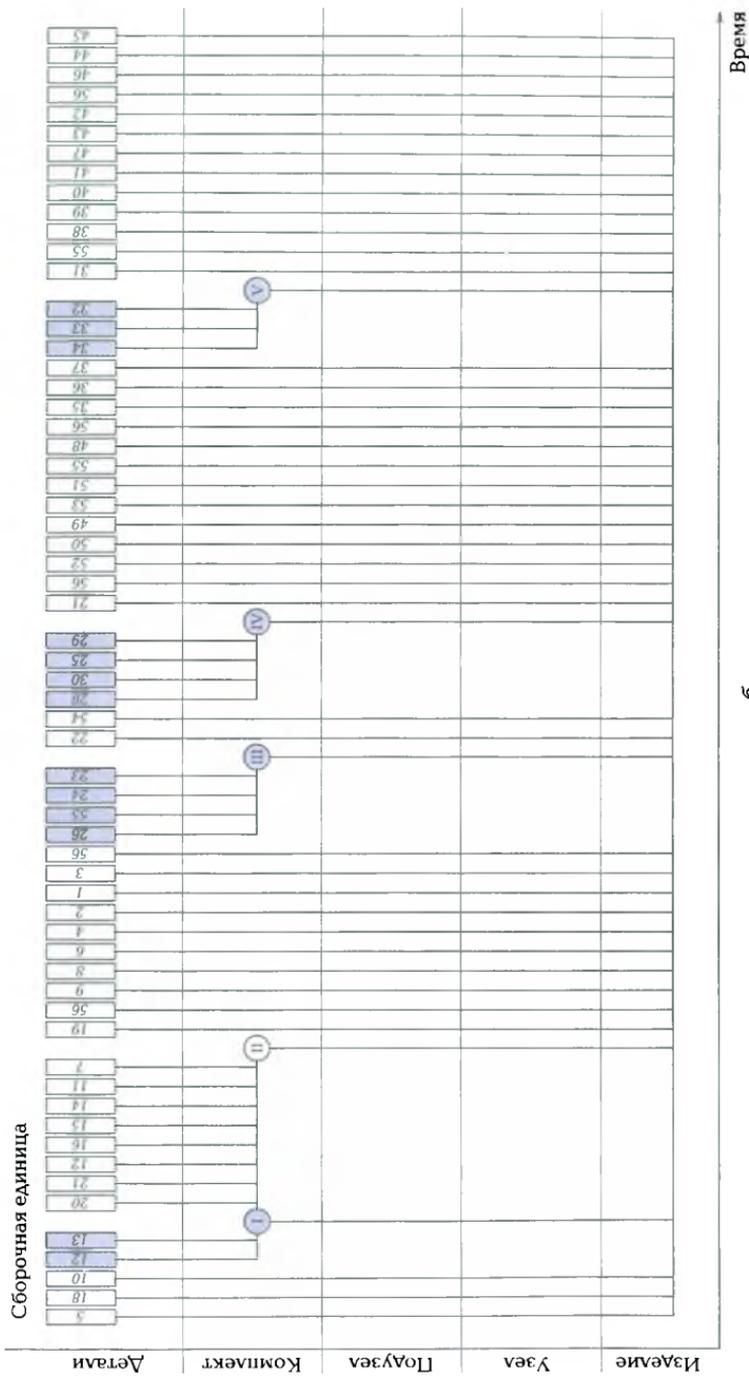


Рис. 3.38. Окончание

Комплект IV вставляют в корпус передней бабки, надев на вал зубчатые колеса 22, комплект III и зубчатое колесо 54, а затем приворачивают к корпусу передней бабки крышку 27 болтами 56.

На вал 28 надевают кольца 49 и 52 и подшипники 50 и 53, закрепляют эти детали шайбой 51 и болтами 56. Приворачивают болтами 56 к корпусу 3 передней бабки крышку 48, вкладывают в корпус передней бабки зубчатые колеса 36 и 35. Комплект V собирают из базовой детали 37 (вала), колец 32 и 34 и подшипника 33, затем вставляют его в корпус передней бабки, надев при этом на вал 37 зубчатые колеса 36 и 35. Приворачивают крышку 31 болтами 56. На вал 37 надевают кольцо 38, подшипники 39 и 47, кольца 41 и 40 и уплотнение 43. К корпусу передней бабки приворачивают болтами 56 крышку 42. На вал 37 запрессовывают шпонку 46, надевают полумуфту 44, закрепив ее гайкой 45.

После окончания сборки передней бабки монтируют смазочную систему, обкатывают переднюю бабку на стенде, определяя при этом правильность регулировки подшипников шпинделя по температуре нагрева и зазорам в подшипниках.

Для сборки коробки скоростей используют приспособления, манипуляторы и промышленные роботы. На рис. 3.39 представлена схема работы трех манипуляторов, осуществляющих завертывание болтов при креплении передней крышки подшипника шпинделя. Манипулятор 1 должен взять болт 2 и вставить его в отверстие детали 3. Манипулятор 6 должен взять и навернуть гайку 5. Датчики усилий определяют усилие затяжки гайки. Деталь удерживается в необходимом положении манипулятором 4.

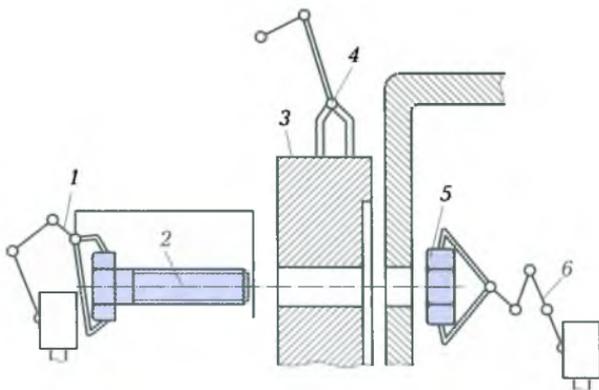


Рис. 3.39. Схема работы сборочного комплекса

**Пример 2.** Сборка суппорта с кареткой токарного станка мод. 16К20.

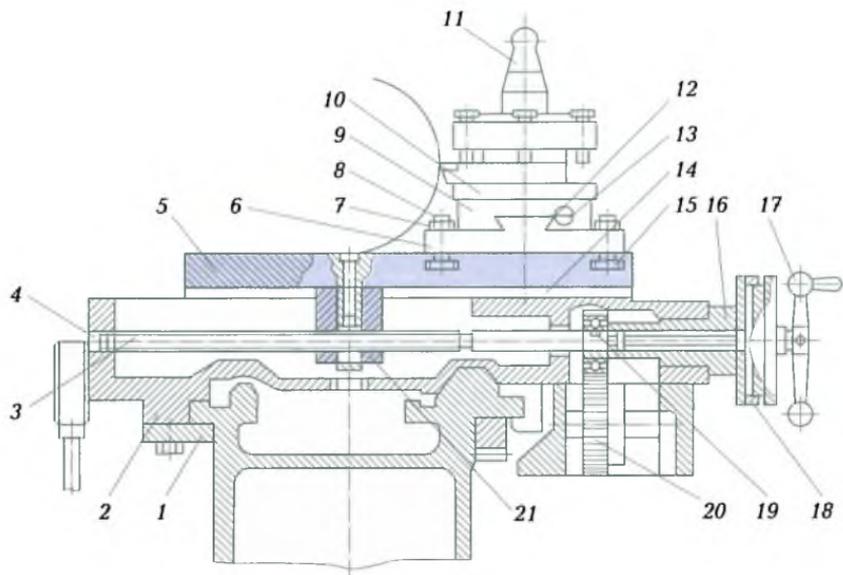
На рис. 3.40, *a* приведена схема суппортной группы, сборка которой осуществляется в такой последовательности. Вначале полируют планки 1 и подготавливают каретку 2 к сборке, затем полируют верхнюю поверхность, боковые стороны поперечного суппорта 5 и поперечные направляющие каретки 2, направляющие поперечного суппорта 5 по поперечным направляющим каретки с пригонкой регулирующего клина 14. На рукоятку 17 каретки надевают ручку.

К винту 3 подгоняют шпонку 19 и надевают зубчатое колесо 20 автоматической поперечной подачи. На винте 3 каретки монтируют нониус 18. Рукоятку 17, шпонку 19, зубчатое колесо 20 снимают с винта 3 каретки. На винт 3 устанавливают кольцо 4, просверливают его вместе с винтом и разворачивают конической разверткой. Кольцо 4 снимают и вставляют винт 3 в каретку.

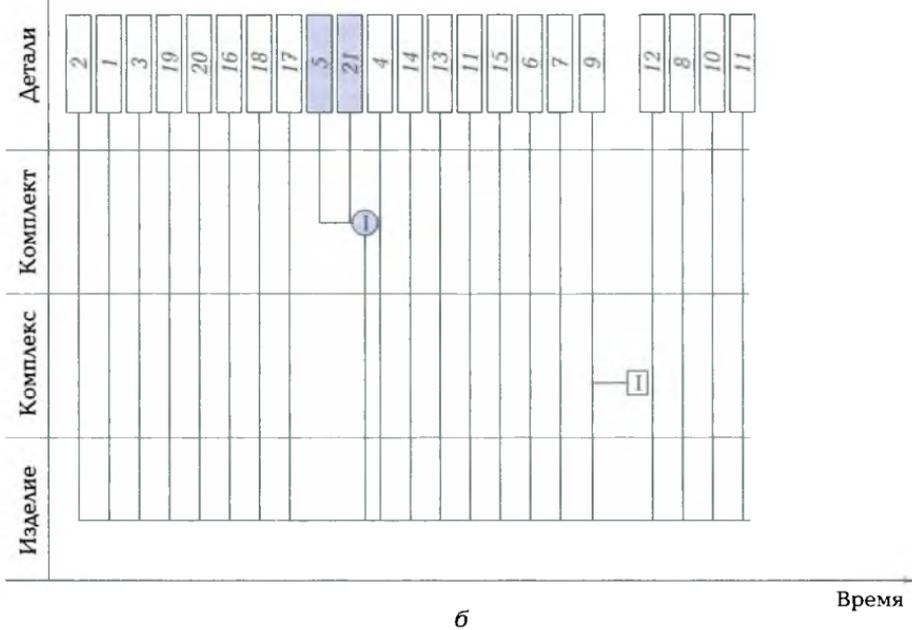
На винт надевают шпонку 19 и зубчатое колесо 20, втулку 16, нониус 18 и рукоятку 17, которую следует заштыфтовать. Полируют защитные щитки поперечного суппорта. К поперечному суппорту 5 приворачивают болтами гайку 21. Собранный поперечный суппорт 5 устанавливают на каретку путем ввертывания винта 3 в гайку 21. На свободный конец винта надевают кольцо 4. С помощью клина 14, перемещаемого регулировочным винтом 13, регулируют зазор в направляющих каретки и поперечного суппорта. Приворачивают щитки поперечного суппорта. Затем полируют нижние направляющие поворотной части суппорта 6 по верхней плоскости поперечного суппорта, вставляют в круговой Т-образный паз поперечного суппорта два Т-образных болта 8 и 15. На резьбовую часть Т-образных болтов надевают поворотный суппорт 6 и закрепляют его гайками 7. Верхние направляющие поворотной резцовой каретки 9 нормируют по верхним направляющим поворотной части суппорта с пригонкой регулирующего клина 12.

В рукоятку резцовой каретки суппорта вставляют ручку. Рукоятку насаживают на винт резцовой каретки и заштыфтовывают ее, предварительно поставив нониус. На резцовой каретке суппорта устанавливают винт. Кольцо засверливают и заштыфтовывают. Полируют щитки резцовой каретки, приворачивают к поворотной части суппорта гайку.

Резцовую каретку устанавливают на поворотную часть суппорта путем ввертывания винта резцовой каретки суппорта в гайку поворотной части суппорта. Зазор в направляющих поворотной



а



б

Рис. 3.40. Суппортная группа токарно-винторезного станка (а) и схема ее сборки (б)

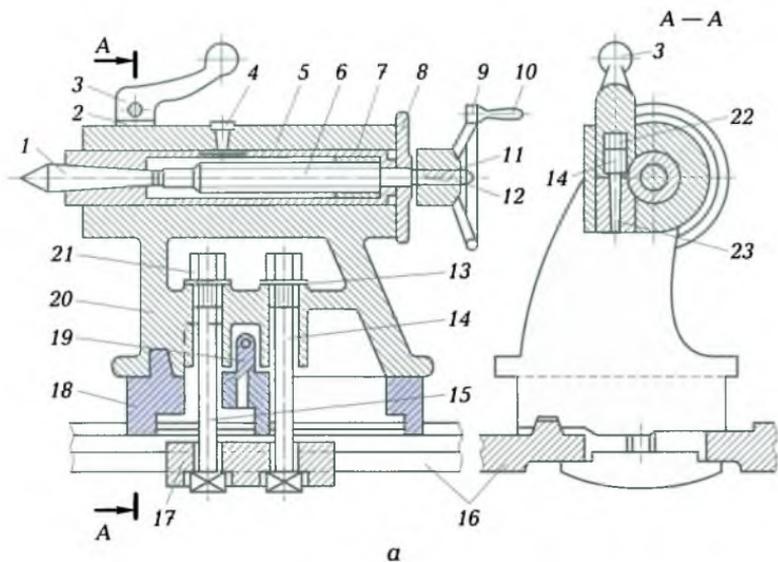
части суппорта и резцовой каретки регулируют с помощью клина 12, перемещаемого регулировочным винтом. Приворачивают щитки резцовой каретки, монтируют резцедержатель 10, надевают резцедержатель 10 на валик резцовой каретки и закрепляют его рукояткой 11.

### **Пример 3.** Провести сборку задней бабки.

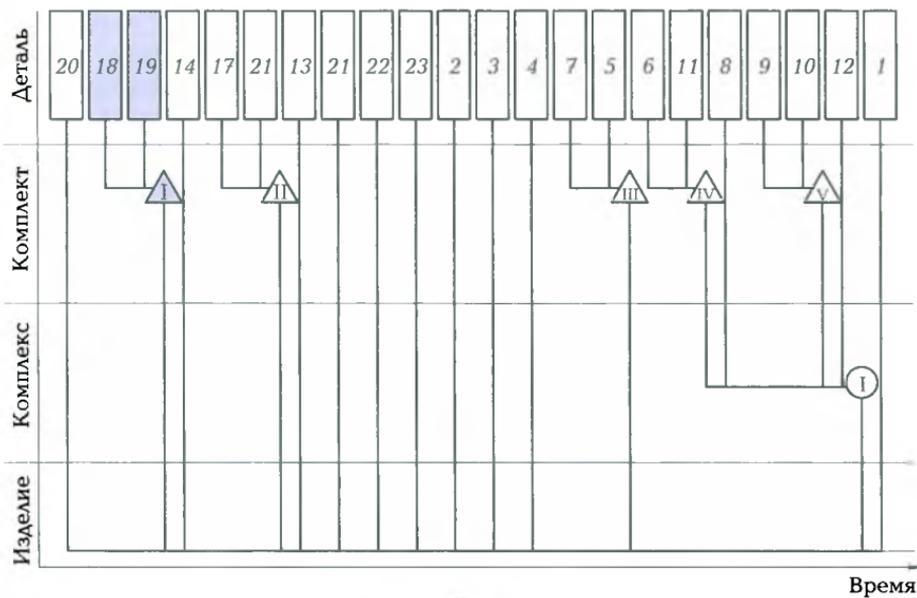
Сборку задней бабки подразделяют на предварительную и окончательную. Во время предварительной сборки полируют плоскости прилегания корпуса бабки 20 и направляющей плиты 18 (рис. 3.41). Закрепляют на направляющей плите гайку 19 и приворачивают корпус 20 к направляющей плите 18 винтами 14 и 15. Устанавливают направляющую плиту с корпусом задней бабки на направляющие станины, предварительно вставив винты крепления в отверстия направляющей плиты и корпус задней бабки. Надевают на выступающие концы винтов шайбы 13 и наворачивают на них гайки 21. После предварительной сборки направляют заднюю бабку на расточку отверстия под пиноль.

После расточки отверстия под пиноль осуществляют окончательную сборку. Сухари 22 и 23 располагают в соответствующем отверстии корпуса и ввертывают в сухарь 23 рукоятку 3, предварительно надев на нее шайбу 2. Запрессовывают в корпусе масленку 4. Выворачивают в маховик 9 рукоятку 10. Запрессовывают в винт 6 шпонку 11, надевают на винт крышку 8 и закрепляют рукоятку гайкой 12. Запрессовывают гайку 7 в пиноли 5. Вставляют пиноль в корпус и заворачивают винт 6 и гайку 7. Приворачивают винтами крышку 8 к корпусу 20. Рукоятку 3 устанавливают с помощью шайбы 2 так, чтобы при полном зажатии пиноли в корпусе она была бы направлена в сторону от рабочего. Контроль качества сборки осуществляют с помощью эталонных образцов, оправок, измерительного мостика и индикаторов на измерительной плите.

**Общая сборка токарного станка.** Общую сборку станка осуществляют после того, как собраны основные узлы (передняя и задняя бабка, суппортная группа 4—7). Станину 13 токарного станка с пультом управления 3 и табло 2 устанавливают по уровню (рис. 3.42). Полируют коробку скоростей 1 и каретку 18 по направляющим 10 станины. Параллельность оси отверстия в шпинделе 21 направляющим станины определяют индикатором, который крепится на суппорте 6. В шпиндель 3 устанавливают эталонную оправку длиной 300 мм, к которой подводят индикатор. Погрешность установки определяют по показанию индикатора при перемещении каретки или измерительного мостика на всю длину оправки.



а



б

Рис. 3.41. Задняя бабка (а) и схема ее сборки (б):

1 — центр; 2, 13 — шайбы; 3, 10 — рукоятки; 4 — масленка; 5 — пиньоль; 6, 14 — винты; 7, 12, 19, 21 — гайки; 8 — крышка; 9 — маховик; 11 — шпонка; 15 — болт; 16 — направляющие станины; 17 — башмак; 18 — направляющая плита; 20 — корпус бабки; 22, 23 — сухари

Приворачивают к каретке задние планки, фиксирующие ее положение. Прикрепляют к станине коробку подач 19. К каретке 16 прикрепляют болтами фартук 17. Вложив ходовой винт 14 во втулку коробки подач 19, зажимают его в маточной гайке 18 фартука. Проверяют параллельность винта 14 относительно направляющих станины и предварительно закрепляют коробку подач. Перемещают каретку с фартуком вправо и снова зажимают ходовой винт в маточной гайке фартука. Проверяют положение ходового винта в горизонтальной и вертикальной плоскостях индикаторами, закрепленными на плите, которая перемещается по направляющим станины. Устанавливают и закрепляют ходовой вал.

Задний кронштейн 12 ходового винта и валика выставляют с помощью индикатора, заштифтовывают его и закрепляют болтами. Окончательно выверив положение фартука относительно продольной каретки, заштифтовывают его и закрепляют болтами. Приворачивают рейку 15 к станине. Выверив положение рейки относительно зубчатого колеса фартука, заштифтовывают ее и закрепляют болтами. Приворачивают корпус гитары 20 к станине. Зубчатыми колесами гитары соединяют коробку скоростей с ко-

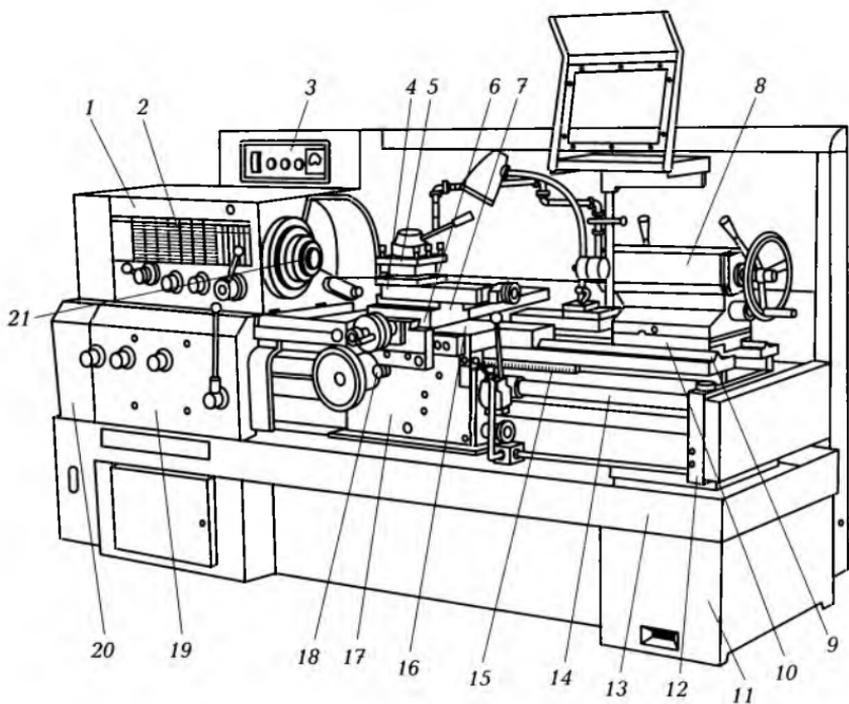


Рис. 3.42. Сборочные единицы токарно-винторезного станка мод. 16К20

робкой подач. Полируют направляющую плиту 10 задней бабки 8 по направляющим станины.

В зависимости от вида, назначения и масштаба выпуска станки проходят испытания на холостом ходу и при работе под нагрузкой, а также испытания на производительность, жесткость, мощность и точность. Под нагрузкой при определенных режимах, устанавливаемых техническими условиями, испытывают все станки. Испытанию на производительность подвергают только станки специального назначения и опытные образцы. Как правило, на жесткость испытывают все станки. Нормы жесткости и методы испытания широкого круга станков стандартизованы.

Испытанию на мощность подвергают все станки при единичном производстве и выборочно станки, изготавливаемые серийно. Оценку точности станков при проведении испытаний дают по точности изготовленных деталей.

Для токарных, фрезерных, сверлильных и других видов станков порядок проведения испытаний на точность, образцы изготавливаемых деталей и точность обработки образцов регламентированы ГОСТами. Для оригинальных станков программу и режимы испытаний разрабатывают в зависимости от их назначения, конструкции и требуемой точности.

### 3.7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ СБОРКИ

---

В целях определения соответствия действительных значений сборочных параметров заданным значениям этих параметров, в процессе сборки производят множество измерений. Контроль подразделяют на визуальный и контроль с применением технических средств измерений.

Визуально можно сделать *субъективную качественную* оценку состояния поверхностей и кромок деталей, наличие видимых загрязнений на поверхностях деталей, качество сварного шва, форму и расположение отпечатавшегося на поверхности детали пятна краски и др.

Технические средства измерений позволяют с требуемой точностью определять значения следующих сборочных параметров:

- наружные и внутренние размеры;
- взаимное положение поверхностей и осей деталей и сборочных единиц;

- осевые, радиальные и боковые зазоры;
- усилие затяжки резьбовых деталей;
- степень герметичности корпусов, емкостей и других изделий;
- величину смещения центра масс ротора с его оси вращения;
- массу детали;
- упругость пружин и др.

### Измерение наружных размеров индикаторными приборами.

Индикаторные приборы — это приборы для относительных измерений. Следовательно, перед измерением их настраивают по эталону на требуемый размер. Для измерения наружного размера детали 4 (рис. 3.43) индикаторный прибор 2, закрепленный на индикаторной стойке 1, установленной на измерительной плите, настраивают на нулевое значение по эталону 3. Размер эталона должен быть равен номинальному значению измеряемого размера. При установке вместо убранного эталона измеряемой детали 4 (см. рис. 3.43) стрелка индикаторного прибора 2 может отклониться на величину  $K$ , соответствующую отклонению действительного размера детали 4 от размера эталона 3. Точность измерения определяется в основном точностью эталона и точностью индикатора.

### Измерение внутренних размеров штангенинструментами.

К внутренним размерам, измеряемым при сборке, относят диаметры отверстий, ширину паза, ширину канавки, глубину отверстия или корпуса и др. Для измерения вышеперечисленных параметров

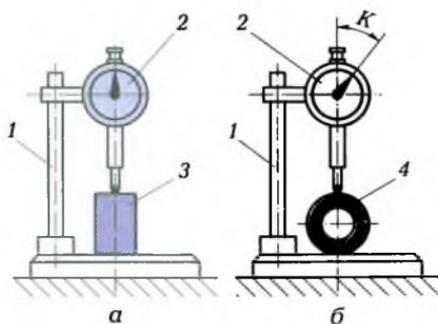


Рис. 3.43. Схема измерения наружного размера:

а — настройка индикаторного прибора в нулевое положение по эталону; б — измерение наружного размера; 1 — индикаторная стойка; 2 — индикаторный прибор; 3 — эталон размера; 4 — измеряемая деталь

используют при сравнительно невысокой точности сборки штангенциркули, например при выборе компенсатора необходимого размера или при подборе сопрягаемой детали по размеру. Для измерения глубины отверстия или паза используют штангенглубиномеры, которые промышленность выпускает с верхними пределами измерения 200; 250; 300; 400 и 500 мм и ценой деления 0,1; 0,05; 0,02 мм. Схема измерения штангенглубиномером 2 внутреннего размера  $A$  в сборочной единице 1 представлена на рис. 3.44. Отсчет показаний ведут по двум шкалам — основной и нониусной.

**Измерение внутренних размеров индикаторными нутромерами.** Индикаторные нутромеры применяют, например, при подборе деталей гладких соединений с высокой точностью, когда необходимо учитывать отклонение формы отверстия от заданной формы, например, цилиндрической. Перед измерением прибор настраивают на нулевое показание по эталону соответствующего размера. Результат измерения получают по величине отклонения стрелки индикатора от нулевого положения.

Измерение диаметра ( $\varnothing A$ ) точного отверстия в детали 2 индикаторным нутромером 1 производят не менее чем в трех сечениях:  $a - a$ ;  $b - b$ ;  $v - v$  (рис. 3.45), перпендикулярных оси измеряемого отверстия, и не менее чем в двух взаимно-перпендикулярных направлениях  $k - k$  и  $m - m$  в каждом из сечений. По результатам измерений определяют конусность или овальность отверстия и вычисляют действительные параметры соединения с учетом действительных значений параметров внутренней поверхности сопрягаемой детали.

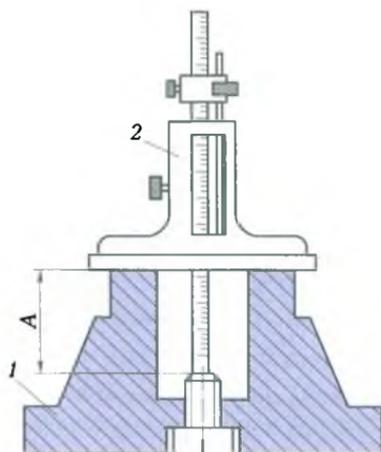


Рис. 3.44. Схема измерения штангенглубиномером:

1 — проверяемая сборочная единица; 2 — штангенглубиномер

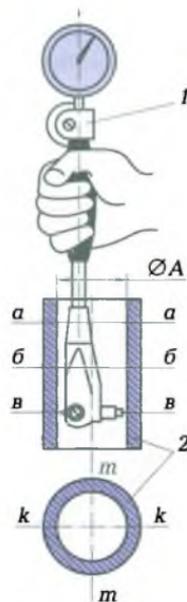
Рис. 3.45. Схема измерения внутреннего размера индикаторным нутромером:

1 — индикаторный нутромер; 2 — проверяемая деталь

**Измерение взаимного положения поверхностей и осей деталей и сборочных единиц.** В процессе сборки изделий измеряют не только размеры поверхностей и элементов деталей, но и определяют их взаимное положение и ряд других параметров. Для этого измеряют:

- радиальное биение поверхностей вращения (цилиндра, конуса, сферы) относительно осей других поверхностей вращения;
- торцевое биение поверхностей вращения (цилиндра, конуса, сферы) относительно осей других поверхностей вращения;
- отклонение от параллельности плоских поверхностей и осей поверхностей вращения;
- отклонение от перпендикулярности плоских поверхностей и осей поверхностей вращения;
- соосность базовых отверстий в корпусных деталях;
- частоту собственных колебаний деталей;
- легкость поступательного и вращательного движения отдельных звеньев и др.

Для измерения **радиального биения** какой-либо поверхности вращения относительно оси другой поверхности вращения используют индикаторные приспособления, в конструкцию которых входят индикаторные приборы, например, индикаторы часового типа или миниметры. Схема измерения радиального биения поверхностей А и Б относительно оси поверхности С представлена на рис. 3.46. При этом проверяемая сборочная единица 2 установлена на призмы б цилиндрической поверхностью С. Измерительный наконечник индикаторного прибора 1 входит в контакт с поверхностью А напрямую, а измерительный наконечник индикаторного прибора 3 контактирует с поверхностью Б через рычаг 5. Оба индикаторных прибора 1 и 3 перед началом измерений установлены в нулевое положение. При плавном повороте проверяе-



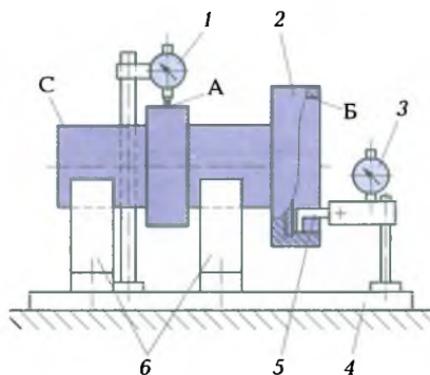


Рис. 3.46. Схема измерения радиального биения:

1, 3 — индикаторные приборы; 2 — проверяемая сборочная единица; 4 — основание; 5 — рычаг с измерительным наконечником; 6 — установочные призмы

мой сборочной единицы 2 на один полный оборот индикаторные приборы покажут величину радиального биения поверхностей А и Б относительно оси поворота проверяемого изделия (ось поверхности С). Для исключения дополнительной погрешности приспособление собирают на жестком основании 4, а индикаторные приборы хорошо закрепляют на индикаторных стойках.

Для измерения **торцевого биения** в основном применяют индикаторные приспособления. При измерении торцевого биения поверхности А (рис. 3.47) относительно оси поверхности Б сборочной единицы 2 необходим осевой упор 1, исключающий перемещение контролируемого изделия в направлении измерения, т. е. в

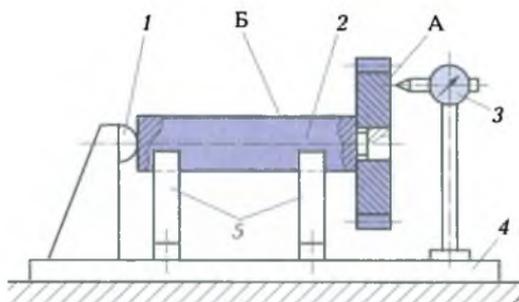


Рис. 3.47. Схема измерения торцевого биения:

1 — упор; 2 — проверяемая сборочная единица; 3 — индикаторный прибор; 4 — основание; 5 — установочные призмы

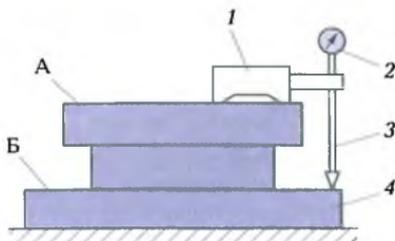
осевом направлении. Проверяемое изделие устанавливают на призмы 5 и, плотно прижимая его к упору 1, плавно проворачивают вокруг оси базовой поверхности на один оборот. Величина торцевого биения будет равна максимальному отклонению стрелки индикаторного прибора 3 от нулевого положения при повороте проверяемого изделия на полный оборот. Измерительный наконечник индикатора во время поворота изделия должен надежно контактировать с торцевой поверхностью.

Для измерения **отклонения от параллельности** поверхностей или осей применяют в основном индикаторные приспособления. На рис. 3.48 представлена схема измерения отклонения от параллельности поверхностей А и Б сборочной единицы 4. Индикаторное приспособление расположено таким образом, чтобы его основание 1 плотно прилегало к поверхности А, а измерительный наконечник 3 индикаторного прибора 2 надежно контактировал с другой поверхностью Б. Перемещая основание приспособления по поверхности А (после установки стрелки индикатора в нулевое положение) по величине наибольшего отклонения стрелки определяют величину отклонения от параллельности двух поверхностей.

**Измерение отклонения от перпендикулярности плоских поверхностей и осей деталей.** Для измерения отклонения от перпендикулярности поверхностей или осей применяют жесткие эталонные угольники или индикаторные приспособления. Угольник устанавливают таким образом, чтобы одна его сторона плотно прилегла к базовой поверхности, вторая сторона угольника прилегла бы к другой плоскости, неперпендикулярность которой проверяют. По величине просвета между стороной угольника и плоскостью сборочной единицы с учетом длины стороны угольника определяют величину неперпендикулярности. На рис. 3.49, а представлена схема измерения отклонения от перпендикулярности поверхностей А и Б сборочной единицы 1 с помощью жесткого эталонного угольника 3. На инструментальную плиту 6 установлена прове-

Рис. 3.48. Схема измерения непараллельности поверхностей А и Б:

1 — основание индикаторного приспособления; 2 — индикаторный прибор; 3 — измерительный наконечник; 4 — проверяемая сборочная единица



ряемая сборочная единица 1 базовой поверхностью. Угольник 3 устанавливают одной стороной на плиту, а другую сторону подводят до соприкосновения с поверхностью Б. По толщине щупа 2, вводимого в образовавшийся зазор между стороной угольника и поверхностью Б, и длине стороны угольника определяют угловое отклонение от перпендикулярности, используя одну из тригонометрических функций.

При использовании индикаторных приборов для измерения отклонения от перпендикулярности поверхностей или осей возможны различные схемы измерения (рис. 3.49, б). На рис. 3.49, в представлен вариант настройки измерительного приспособления в исходное положение по жесткому эталонному угольнику 3. Для определения угловой величины неперпендикулярности необходимо знать расстояние  $C$  между измерительным наконечником и жестким упором 7, а также показания индикаторного прибора 5. При подведении заранее настроенного в нулевое положение приспособления к поверхности Б до плотного прижатия к ней упора 7 индикаторный прибор 5 покажет величину, по которой с учетом расстояния  $C$  нетрудно найти угол между поверхностями А и Б.

На рис. 3.50 представлена схема измерения отклонения от перпендикулярности поверхности А сборочной единицы 3 и оси вала 1. Индикаторное приспособление 2 устанавливается на вал точной цилиндрической поверхностью и проворачивается вокруг него на один оборот. После установки измерительного приспособления на выступающий конец вала досылают измерительный наконечник индикатора до упора в поверхность А, устанавливают стрелку ин-

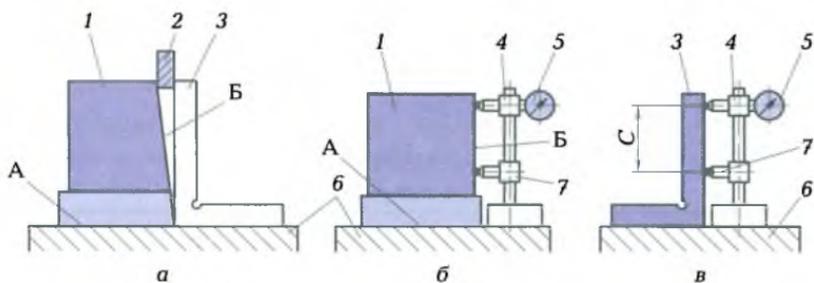


Рис. 3.49. Схема измерения отклонения плоских поверхностей от перпендикулярности:

а — эталонным угольником; б — индикаторным приспособлением; в — настройка индикаторного прибора в нулевое положение; 1 — проверяемое изделие; 2 — щуп; 3 — эталонный угольник; 4 — индикаторная стойка; 5 — индикаторный прибор; 6 — плита; 7 — жесткий упор

дикатора на ноль и плавно проворачивают приспособление на один оборот. По величине максимального отклонения стрелки индикатора и размерам индикаторного приспособления, используя тригонометрическую функцию, определяют угловую величину перпендикулярности плоскости А.

**Измерение осевых, радиальных и боковых зазоров.** Зазоры, измеряемые при сборке, подразделяют на осевые (в направлении оси собираемого изделия), радиальные (в направлении радиуса собираемого изделия) и боковые (в любом другом направлении, например, по касательной). Универсальным инструментом для измерения зазоров является щуп. Стандартизованный набор щупов состоит из щупов различной толщины, которыми можно измерять зазоры с точностью до 0,01 мм в хорошо доступных местах. Специальные щупы применяют для измерения зазоров в труднодоступных местах. Отличаются они от стандартных щупов геометрической формой, что необходимо для проникновения вглубь изделия в целях измерения зазора. Изготавливают специальные щупы в виде калибров — проходного и непроходного. На рис. 3.51 представлена схема измерения осевых зазоров  $A_1$ ,  $A_2$  изогнутым щупом-калибром 2 и радиальных зазоров  $B_1$ ,  $B_2$  набором пластинчатых щупов 1.

В тех местах собираемого изделия, куда невозможно проникнуть даже специальным щупом для замера зазора, используют свинцовые проволочки. Сущность метода заключается в том, что свинцовые проволочки, диаметр которых несколько больше предполагаемого зазора, укладывают в процессе сборки в соответствующие места. Затем собирают изделие, закручивая все крепежные детали с заданным усилием по требованиям сборочного чертежа. В местах предполагаемого зазора мягкие свинцовые проволочки сплющиваются. После разборки соединения измеряют толщину проволочек в местах сплющивания, которая равна действительному зазору в соединении.

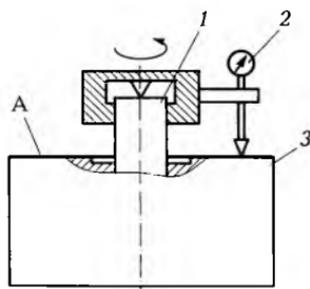


Рис. 3.50. Схема измерения отклонения от перпендикулярности плоской поверхности и оси вала:

1 — вал; 2 — индикаторное приспособление; 3 — проверяемая сборочная единица

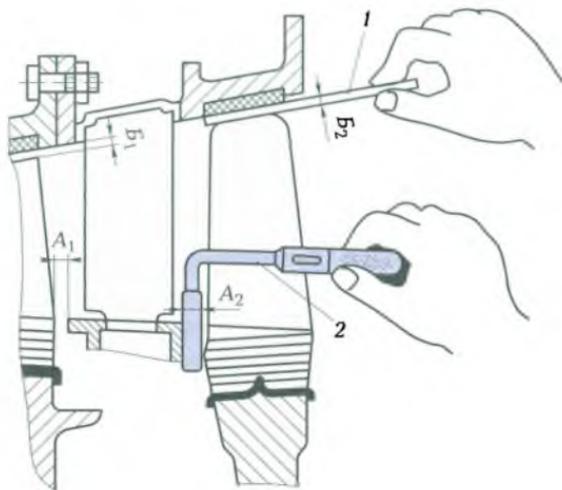


Рис. 3.51. Схема контроля зазоров в труднодоступных местах:

1 — универсальный щуп; 2 — специальный щуп-калибр;  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  — проверяемые зазоры

Также для измерения зазоров применяют индикаторные приспособления или устройства с емкостными, индуктивными или оптическими датчиками.

Определить зазор в соединении можно расчетным путем, используя сборочные размерные цепи. Для этого необходимо знать действительные размеры звеньев цепи, т. е. действительные размеры собираемых деталей.

#### **Контроль соосности базовых отверстий в корпусных деталях.**

В машиностроении имеется много изделий, роторы которых опираются на несколько подшипников. Длительная работа таких изделий требует, чтобы все эти подшипники располагались на одной оси. В этих случаях говорят о соосности посадочных мест под подшипники или о соосности валов. При сборке таких изделий необходимо контролировать и обеспечивать соосность гнезд под подшипники, находящиеся в большинстве случаев в различных корпусных деталях.

Для проверки соосности на стадии предварительной сборки, когда имеется доступ к измеряемым поверхностям, применяют различные методы и устройства. Наиболее простым методом является использование жестких калибров, индикаторных приспособлений, пневматических устройств и др. Если не будет обеспечена в процессе сборки требуемая соосность, то при эксплуатации из-

деля будет изгиб вала, неравномерный износ деталей подшипников, возникнут повышенные вибрация и нагрузки на крепежные детали, т. е. ресурс и надежность изделия могут быть занижены.

При контроле соосности **жесткими калибрами** собирают лишь корпусные детали, а затем в отверстия посадочных мест под подшипники вставляют жесткий калибр. Калибр может быть ступенчатым или гладким в зависимости от диаметров контролируемых отверстий. При определенном сочетании отверстий разного диаметра можно применить ступенчатый калибр 4 (рис. 3.52, а), который вводят в отверстия предварительно собранных корпусных деталей 1, 2, 3 изделия. Соосными считаются отверстия, если калибр проходит через все отверстия при незначительном усилии.

Наиболее универсальным методом является применение гладкого калибра в сочетании с комплектом высокоточных переходных втулок с одинаковым внутренним диаметром. Втулки 5, 6, 7 (рис. 3.52, б) вставляют на стадии предварительной сборки корпусных деталей 1, 2, 3 в соответствующие отверстия вместо подшипников. После завинчивания крепежных деталей с заданным усилием вставляют гладкий калибр в отверстия втулок вертикально расположенных предварительно собранных корпусных деталей 1, 2, 3 изделия. Соосность считается удовлетворительной, если слегка смазанный машинным маслом калибр проходит через отверстия всех втулок при незначительном усилии.

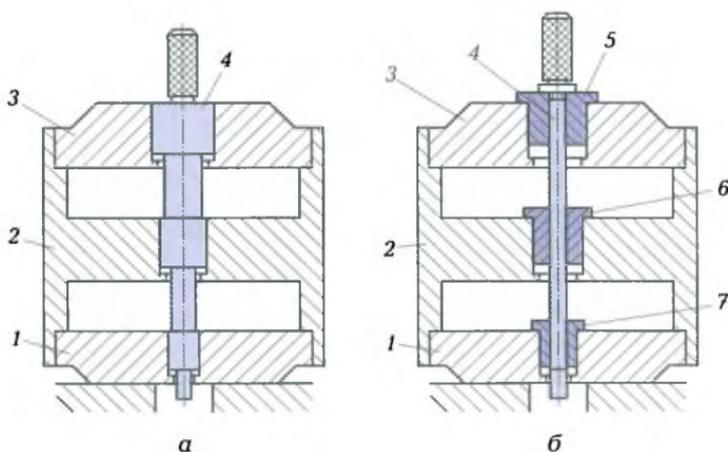


Рис. 3.52. Схема контроля соосности жесткими калибрами:

а — ступенчатым калибром; б — гладким калибром; 1—3 — корпусные детали; 4 — калибр; 5—7 — переходные втулки

Точность данного метода контроля соосности во многом определяется точностью калибра и переходных втулок, а также величиной зазоров между сопрягаемыми поверхностями калибра, переходных втулок и отверстий в корпусных деталях. Этот метод мало пригоден для контроля соосности в крупногабаритных изделиях из-за громоздкости и гибкости жесткого калибра.

При контроле соосности **индикаторными приспособлениями**, например трех отверстий, приспособление базируют на два отверстия А и Б (рис. 3.53) цилиндрическими поверхностями 6 и 7, а с поверхностью третьего отверстия С контактирует измерительный наконечник 2, связанный системой рычагов с индикаторным прибором 3.

После установки индикаторного прибора в нулевое положение медленно вращают индикаторное приспособление за рукоятку 4. Отсчитывают показания индикаторного прибора 3 и определяют величину несоосности оси отверстия С относительно оси двух других отверстий А и Б. По результатам измерений подбирают размеры компенсаторов 5, при которых будет обеспечена требуемая соосность посадочных мест под подшипники.

**Контроль частоты собственных колебаний деталей.** Явление резонанса некоторых деталей, возникающее при работе изделий машиностроения, может привести к поломке этих деталей. Резонанс наступает при совпадении частоты собственных колебаний детали с частотой возмущающей силы. Для того чтобы исключить такое совпадение, при эксплуатации изделий необходимо знать

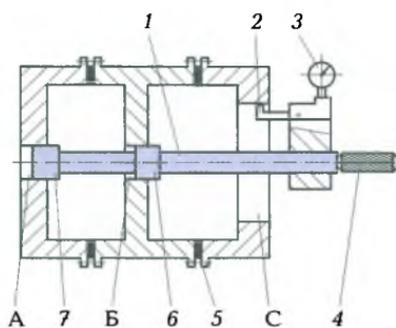


Рис. 3.53. Схема контроля соосности поверхностей индикаторным приспособлением:

1 — основание приспособления; 2 — измерительный наконечник; 3 — индикаторный прибор; 4 — рукоятка; 5 — компенсатор; 6, 7 — базовые цилиндрические поверхности

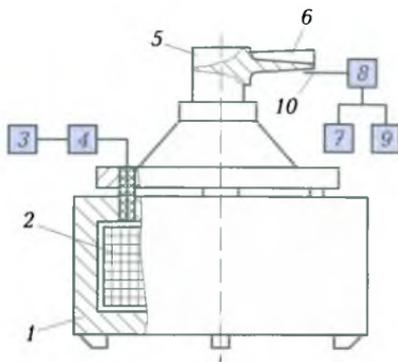


Рис. 3.54. Схема определения частоты собственных колебаний детали:

1 — вибратор; 2 — катушка возбуждения; 3 — генератор сигналов; 4 — усилитель сигналов; 5 — приспособление для крепления проверяемой детали; 6 — проверяемая деталь; 7 — осциллограф; 8 — электронный усилитель; 9 — частотомер; 10 — емкостный первичный преобразователь сигнала

возможные частоты возмущающей силы и собственные частоты наиболее ответственных деталей.

Широко распространен метод определения частоты собственных колебаний деталей с использованием электромагнитных вибраторов. Проверяемая деталь 6 (рис. 3.54) крепится в специальном зажиме 5 на подвижной части вибратора 1. На катушку возбуждения вибратора подают сигнал от генератора 3 через усилитель 4. При изменении частоты генератора меняется частота колебаний подвижной части вибратора совместно с деталью. При частоте вибрации, равной частоте собственных колебаний детали, наступает резонанс детали, что фиксирует емкостный первичный преобразователь 10. Частоту резонанса отсчитывают по частотомеру 9.

**Контроль легкости и плавности вращения.** В технических требованиях на сборку зубчатых и червячных передач, контактных уплотнений, опор с подшипниками скольжения и качения указывают момент, который необходимо приложить к подвижной части соединения, чтобы она стронулась с места, так называемый момент строгания, а также плавность хода при проворачивании соответствующих деталей на один оборот.

Для определения «момента строгания» входного вала редуктора можно применить контрольное приспособление, состоящее из рычага 3 (рис. 3.55), по которому перемещают груз 4. Рычаг закрепляют на валу 2, выступающем из корпуса редуктора 1. Рычаг располагают горизонтально и плавно перемещают по нему груз от

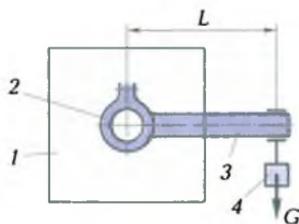


Рис. 3.55. Схема контроля «момента строгания» вала:

1 — редуктор; 2 — вал; 3 — рычаг; 4 — груз

центра вала до момента начала поворота вала. Зная массу груза и расстояние  $L$ , на котором будет находиться груз в «момент строгания» вала, рассчитывают момент как произведение силы тяжести  $G$  груза на плечо  $L$ . Повторяют несколько измерений в разных угловых положениях вала, а затем находят среднее значение «момента строгания».

**Контроль легкости поступательного движения.** При сборке гидравлических и пневматических систем необходимо обеспечить не только герметичность по периметру сопряжения поршня с цилиндром, но и легкость перемещения поршня при его движении внутри цилиндра. Для проверки легкости перемещения поршня более широкое применение нашли два метода.

**Проверка с помощью жидкости под давлением.** В этом случае в цилиндр 2 (рис. 3.56, а) подают жидкость под давлением  $p$  и измеряют давление манометром 1. Усилие  $P_0$  перемещения поршня 3 находят как произведение измеренного по манометру давления жидкости на известную площадь поршня.

**Проверка с помощью механического усилия.** Для этого используют набор грузов 5 (рис. 3.56, б), прикрепленных к штоку

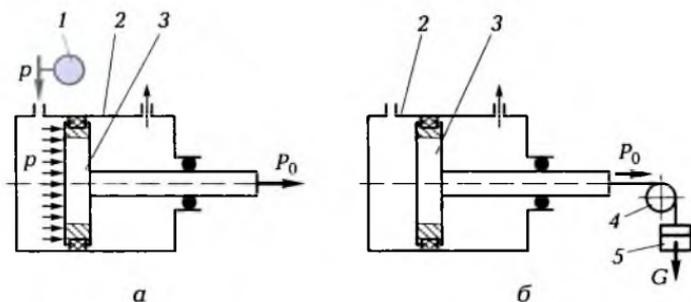


Рис. 3.56. Схема контроля легкости поступательного движения:

а — давлением жидкости; б — подвешиваемым грузом; 1 — манометр; 2 — цилиндр проверяемого изделия; 3 — поршень; 4 — блок; 5 — груз

поршня 3 через блок 4. Усилие  $P_0$  перемещения поршня 3 равно силе тяжести  $G$  набора грузов 5, при которых поршень 3 начинает перемещаться внутри цилиндра 2 с учетом силы трения при вращении блока на оси. Вместо набора грузов можно использовать динамометр любой конструкции.

**Оценку степени герметичности корпусов, емкостей и других изделий** обычно называют испытаниями на герметичность. Существует много способов проверки герметичности изделий, каждый из которых экономически целесообразен в определенных условиях производства, для определенного типа изделий и для определенных требований по герметичности.

**Контроль герметичности керосином** основан на высоких проникающих свойствах керосина. Применяется этот метод для проверки неподвижных и неразъемных соединений (сварных швов) и подвижных соединений (манжетных и торцовых уплотнений). При контроле неподвижных соединений наружная поверхность стыка или сварного шва покрывается мелом (меловым раствором), а внутренняя поверхность или только смачивается керосином, или керосином заполняют всю внутреннюю полость испытываемого объекта. Темные жировые пятна керосина, появившиеся на меловом фоне наружной поверхности испытываемого объекта, указывают места негерметичности проверяемого соединения.

При контроле герметичности проверяемую деталь подвешивают на расчалках, над поддоном и наносят кистью меловый раствор на стыки, например в местах сварки. После высыхания мелового раствора опрыскивают керосином путем распыления внутреннюю полость испытываемого корпуса. Осмотр внешней поверхности стыков производят через 2...3 мин после опрыскивания. Места негерметичности в виде жировых пятен обводят царапающим мел инструментом, например отверткой.

**Испытания на герметичность методом аквариума** требует наличия сжатого воздуха. В полость проверяемой сборочной единицы 2 (рис. 3.57) подают сжатый воздух под небольшим избыточным давлением  $p$ , закрывают воздушный входной кран 6 и погружают проверяемое изделие в аквариум 4 с водой. Места негерметичности обнаруживаются по появлению воздушных пузырьков, выходящих из негерметичных мест. Величину утечки воздуха определяют расчетным путем.

При испытании на герметичность изделия с открытым внутренним пространством отверстие плотно закрывают технологической заглушкой 3 и помещают проверяемую сборочную единицу 2 в аквариум 4. Уровень 1 воды в аквариуме должен превышать

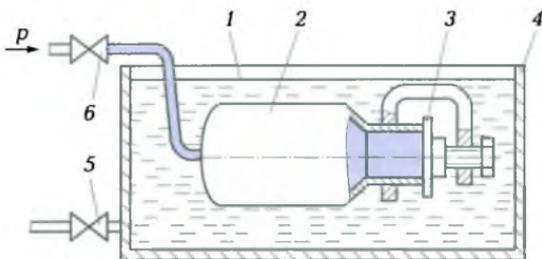


Рис. 3.57. Схема контроля герметичности методом аквариума:

1 — уровень воды в аквариуме; 2 — проверяемая сборочная единица; 3 — технологическая заглушка; 4 — аквариум; 5, 6 — краны

на 50...80 мм верхнюю точку проверяемой сборочной единицы изделия. После подачи сжатого воздуха под давлением  $p$  внутрь изделия закрывают воздушный входной кран 6 и наблюдают за появлением пузырьков воздуха через стеклянную переднюю стенку аквариума. Для расчета величины утечки определяют диаметры воздушных пузырьков и их количество. Для слива воды из аквариума открывают кран 5.

Контроль герметичности сжатым воздухом с **обмыванием стыков** заключается в том, что в полость испытуемого изделия подают сжатый воздух, а проверяемые места смачивают мыльным раствором. Этот метод широко применяют для контроля герметичности соединений длинных трубопроводов сложной формы. При испытании на герметичность закрывают открытые фланцы 3 и 6 (рис. 3.58) технологическими заглушками 4 и 7, а через фланец 8, используя заглушку-переходник 2 с патрубком 1, подают сжатый воздух под определенным давлением  $p$ . Затем наносят кистью мыльный раствор на места предполагаемой негерметичности и на-

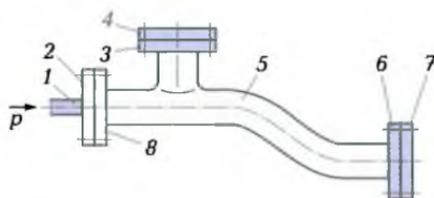


Рис. 3.58. Схема контроля герметичности методом обмывания:

1 — патрубок; 2 — заглушка-переходник; 3, 6, 8 — фланцы открытых полостей изделия; 4, 7 — технологические заглушки; 5 — проверяемая система трубопроводов

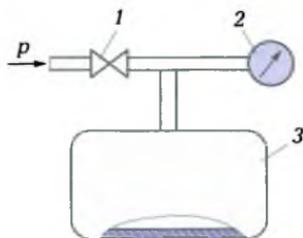
блюдают за появлением мыльных пузырей. Места негерметичности отмечают карандашом или другим способом.

**Испытания на герметичность методом падения давления** проводятся сжатым воздухом с определением величины падения давления в полости проверяемого изделия за определенное время, указанное в технических условиях на сборку изделия. Этот метод не позволяет точно определить место негерметичности, а лишь позволяет дать ответ, насколько негерметично изделие в целом. При этом величину давления воздуха, время выдержки и величину падения давления, %, определяет разработчик изделия и указывает эти параметры в сборочном чертеже. При испытании в испытуемое изделие 3 (рис. 3.59) подают сжатый воздух под определенным давлением  $p$ , указанным в технических требованиях на сборку, закрывают воздушный входной кран 1 и наблюдают по манометру 2 за величиной падения давления за определенное время, фиксируемое по включенному секундомеру. При необходимости точное место негерметичности определяют другими методами.

**Контроль герметичности течеискателем** является наиболее совершенным методом проверки на полную герметичность. Широко применяют галоидные течеискатели в сочетании с пробным веществом фреоном. При проверке герметичности внутрь испытуемого изделия 2 (рис. 3.60) подают по трубке 1 фреон под избыточным давлением  $p$ . Затем к предполагаемым местам негерметичности подносят щуп 3 течеискателя, в котором создается разрежение вентилятором 5 с электродвигателем 6. Щуп 3 засасывает в себя воздух и вместе с ним фреон, выходящий наружу через негерметичное место. Воздух вместе с фреоном проходит между платиновыми электродами 4. При этом вырабатывается электрический сигнал. Электрический сигнал, снимаемый с электродов, усиливается усилителями 7 и 10 и подается одновременно на чувствительный указатель 8 и динамик 9 для звуковой сигнализации. Таким образом, оператор видит величину утечки фреона по

Рис. 3.59. Схема контроля герметичности методом падения давления:

1 — воздушный кран; 2 — манометр; 3 — испытуемое изделие



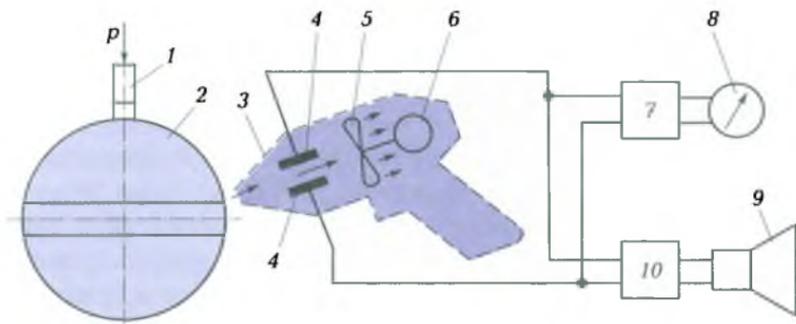


Рис. 3.60. Схема контроля герметичности течеискателем:

1 — воздушная трубка; 2 — испытуемое изделие; 3 — щуп; 4 — электроды; 5 — вентилятор; 6 — электродвигатель; 7, 10 — усилители; 8 — указатель; 9 — динамик (наушники)

указателю, а по динамику слышит, что изделие негерметично в месте нахождения в данный момент щупа течеискателя.

#### Измерение смещения центра масс ротора с оси вращения.

В изделиях машиностроения многие роторы вращаются с большими угловыми скоростями. В результате изготовления деталей роторов и их сборки центр масс собранного ротора, как правило, оказывается смещенным с оси его вращения на величину эксцентриситета. При вращении такого ротора возникают центробежные силы и моменты, вызывающие вибрацию всего изделия.

Если при вращении ротора возникает одна сила, приложенная в центре масс, то такое состояние ротора называют **статической неуравновешенностью**. Если при вращении ротора возникает пара сил, т.е. момент, то такое состояние ротора называют **моментной неуравновешенностью**. Если при вращении ротора возникает и сила, и момент, то такое состояние ротора называют **динамической неуравновешенностью**. Так как неуравновешенность является по своей сути векторной величиной, то она характеризуется величиной и направлением (местом неуравновешенности).

**Балансировка роторов** является сборочной операцией, при которой измеряют величину смещения центра масс ротора, определяют угловое направление неуравновешенности и устраняют дисбаланс ротора. Это значительно снизит силы, действующие на опоры ротора в изделиях машиностроения и, следовательно, увеличит ресурс его работы. Различают статическую, моментную и динамическую балансировку. При статической балансировке устраняют статическую неуравновешенность. При моментной ба-

лансировке устраняют моментную неуравновешенность. При динамической балансировке устраняют динамическую неуравновешенность.

**Корректировка масс** является неотъемлемой частью процесса балансировки, так как сущность любой балансировки сводится к тому, чтобы уменьшить величину эксцентриситета (смещения) центра масс балансируемого ротора. Для решения этой задачи корректируют массу ротора, т. е. добавляют или уменьшают массу в определенных местах ротора, чтобы сместить центр масс ротора в определенном направлении на требуемую величину. Эту операцию называют корректировкой масс ротора.

Все существующие способы корректировки масс осуществляются или добавлением массы в «легкое» место, или уменьшением массы в «тяжелом» месте, или перемещением массы, или динамической центровкой. Добавление массы осуществляют путем прикрепления к поверхности ротора в определенном месте специальных балансировочных грузов (корректирующих масс) или наплавления материала. Уменьшение массы производят удалением части материала с поверхности ротора в «тяжелом» месте. Материал удаляют сверлением, фрезерованием, шлифованием, опиливанием и другими способами в заранее назначенных конструктором местах изделия. Перемещение масс осуществляется путем перестановки штатных деталей ротора (лопаток, дисков, шкивов, муфт и др.) или специальных постоянных по массе балансировочных грузов.

Измеряют величину и направление смещения центра масс на балансировочных станках. Эти устройства позволяют определить начальную неуравновешенность ротора, величину требуемой корректирующей массы, место ее установки или снятия по окружности ротора и остаточную неуравновешенность ротора после его балансировки. Балансировочные станки бывают для статической и динамической балансировки. Частота вращения ротора на балансировочном станке намного ниже частоты вращения ротора в процессе эксплуатации из-за условий безопасности. Лучшим вариантом является использование балансировочных стендов, на которых балансируемое изделие вращают на эксплуатационных оборотах, что значительно повышает точность балансировки.

**Контроль точности сборки коробки скоростей.** Контроль радиального биения исполнительной конической поверхности шпинделя 2 осуществляют с помощью шлифованной оправки 1 (рис. 3.61, а). Радиальное биение определяют как разность максимального и минимального показаний индикатора 3.

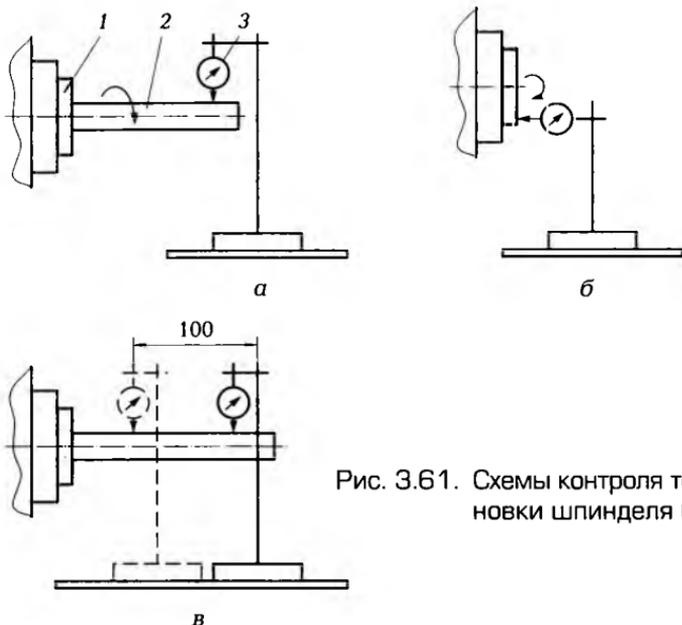


Рис. 3.61. Схемы контроля точности установки шпинделя (а—в)

Контроль осевого биения торца шпинделя (рис. 3.61, б) производят с помощью индикатора, измерительный наконечник которого упирается в торец шпинделя. Осевое биение определяют как разность наибольшего и наименьшего показаний индикатора при проворачивании шпинделя.

Контроль параллельности оси отверстия шпинделя (рис. 3.61, в) к плоскости основания осуществляют с помощью оправки, вставленной в коническое отверстие шпинделя. Параллельность на определенной длине (например, 100 мм) оправки определяют по разности показаний индикатора, измерительный наконечник которого перемещается по образующей оправки в вертикальной плоскости.

**Контроль точности сборки задней бабки.** Контроль параллельности оси конического отверстия в пиноли задней бабки плоскости ее основания (рис. 3.62, а) осуществляют с помощью оправки, вставленной в коническое отверстие пиноли. Параллельность измеряют с помощью индикатора на определенной длине (например, 100 мм) оправки по разности показаний индикатора, измерительный наконечник которого перемещается по образующей оправки в вертикальной плоскости.

Измерение стабильности положения пиноли задней бабки при ее осевом перемещении (рис. 3.62, б) осуществляют в вертикаль-

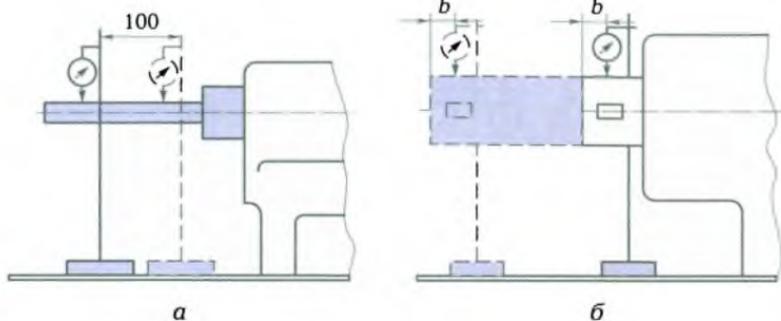


Рис. 3.62. Схема для определения параллельности отверстия в пиноли задней бабки основанию корпуса (а) и положения пиноли задней бабки при ее осевом перемещении (б):

$b$  — расстояние от торца пиноли

ной и горизонтальной плоскостях с помощью индикаторов, наконечники которых упираются в пиноль в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Стабильность положения пиноли определяют по разности показаний индикаторов при максимальном перемещении пиноли в осевом направлении.

**Контроль точности сборки суппортной группы.** Контроль перпендикулярности перемещений каретки и поперечного суппорта осуществляют с помощью эталонной детали, установленной в шпиндель коробки скоростей и двух индикаторов. Перпендику-

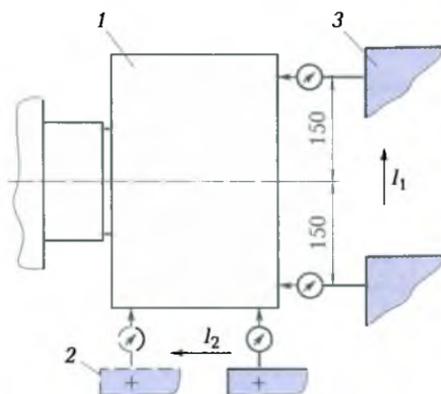


Рис. 3.63. Схема для определения перпендикулярности перемещения поперечного суппорта оси шпинделя:

1 — эталонная деталь; 2 — продольный суппорт; 3 — поперечный суппорт;  $l_1$ ,  $l_2$  — перемещения продольного и поперечного суппортов ( $l_1 = l_2$ )

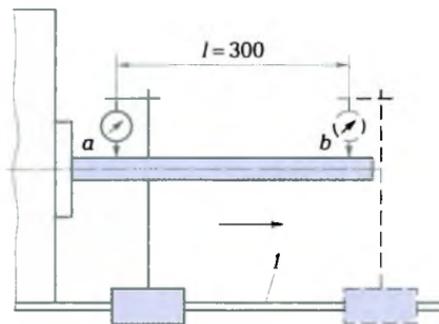


Рис. 3.64. Схема для определения параллельности оси отверстия шпинделя продольным направляющим станины:

1 — станина;  $a, b$  — показания индикаторов;  $l$  — величина перемещения индикатора

лярность определяют по показаниям индикаторов при их перемещении на определенное расстояние по поверхности эталонной детали (рис. 3.63).

**Контроль сборки токарного станка.** Направляющие поперечного суппорта должны быть перпендикулярны направляющим станины или оси шпинделя. Для проверки перпендикулярности направляющих на поперечный суппорт устанавливают индикатор, измерительный винт которого упирают в эталонную деталь, установленную в шпинделе. Для определения перпендикулярности поперечный суппорт перемещают на определенное расстояние, фиксируя при этом отклонение стрелки индикатора (см. рис. 3.61, в).

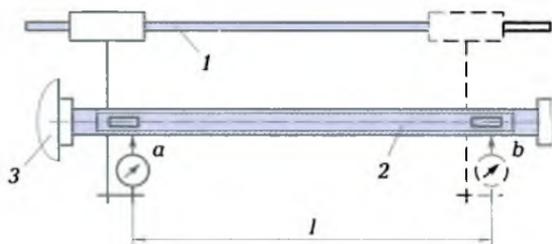


Рис. 3.65. Схема для определения параллельности оси ходового винта продольным направляющим станины:

1 — продольная направляющая станины станка; 2 — ходовой винт; 3 — коробка подач;  $a, b$  — показания индикаторов;  $l$  — величина перемещения индикатора

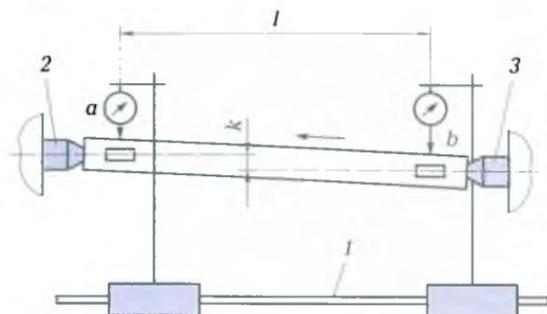


Рис. 3.66. Схема для определения соосности центров передней и задней бабки:

1 — продольная направляющая; 2 — центр передней бабки; 3 — центр задней бабки;  $l$  — величина перемещения индикатора по оправке;  $a$ ,  $b$  — показания индикаторов;  $k$  — величина несовпадения осей центров передней и задней бабки в вертикальной плоскости

Отклонение не должно превышать 0,02 мм на длине 300 мм при перемещении поперечного суппорта на 150 мм в каждую сторону от оси шпинделя.

Правильность установки задней бабки проверяют по индикатору с помощью оправки. Ось отверстия в пиноли задней бабки должна быть параллельна направляющим станины в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рис. 3.64 и 3.65). Эту проверку осуществляют индикаторами часового типа в обеих плоскостях. При этом используют эталонную оправку длиной 300 мм, а индикаторы крепят на суппорте или измерительной пластине и перемещают по направляющим станины (см. рис. 3.62, б).

Правильность нулевого штриха верхнего суппорта, а также совпадение осей переднего и заднего центров можно проверить с помощью индикатора и оправки (рис. 3.66).

## 3.8. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКЕ ИЗДЕЛИЙ

Сборочное производство характеризуется сложностью и разнообразием выполняемых операций, высокой трудоемкостью и стоимостью. Трудоемкость сборочных процессов в машиностроении и приборостроении составляет 30...70 % общей трудоемкости изготовления изделий, а уровень их автоматизации в настоящее время не превышает 10...15 %. Необходимость сокращения затрат

ручного труда делает проблему автоматизации сборочных операций чрезвычайно важной.

Автоматизация процессов сборки может быть осуществлена либо с помощью специальных сборочных машин, либо с помощью промышленных роботов (ПР). Как в первом, так и во втором случае построению сборочной машины или применению ПР должны предшествовать глубокий анализ процесса автоматического соединения деталей, выявление функций сборочной машины или ПР и разработка требований, которым они должны соответствовать. Проведение такого анализа, детальное описание процесса сборки и определение требований, которые должны быть предъявлены к автоматическим средствам, являются главными задачами технологических разработок при автоматизации процессов сборки.

Для автоматического соединения двух деталей им должно быть придано в пространстве необходимое относительное положение и обеспечены определенные относительные движения. Соотношения значений параметров положения и движения поверхностей деталей, по которым они должны быть сопряжены, получили название **условий собираемости**. Так, для соединения втулки с валом (для упрощения изложения рассмотрим соединение втулки с валом в одной плоскости, рис. 3.67, а) и при движении втулки в направлении  $A$  необходимо, чтобы смещение  $\varepsilon$  оси отверстия втулки относительно оси шейки вала и относительный поворот  $a/L$  осей не препятствовали их соединению. Это значит, что условием собираемости втулки с валом следует считать неравенство

$$\varepsilon_{\max} + a_{\max} \leq \Delta_{\min},$$

где  $\Delta_{\min}$  — минимальный зазор между отверстием во втулке и шейкой вала.

Требуемое положение соединяемых деталей обеспечивается их базированием. Базируем втулку с валом в системе  $XOZ$ , как показано на рис. 3.67, б, считая, что в исходном положении детали находятся в состоянии покоя. Для сообщения втулке движения в направлении  $A$  необходимо геометрическую связь, символизируемую опорной точкой 5, заменить кинематической связью.

Выбор баз приводит к возникновению размерных связей соединяемых деталей с избранной системой отсчета, а требования к их относительному положению определяют значения параметров замыкающих звеньев соответствующих размерных цепей.

Применительно к втулке с валом это будут размерные цепи  $A$  и  $\beta$ , имеющие  $A_{\Delta} = 0$ ,  $TA_{\Delta} = \varepsilon_{\max} = 0$ ,  $\Delta_{0A_{\Delta}} = 0$  и  $\beta_{\Delta} = 0$ ,  $T\beta_{\Delta_{\max}} = a_{\max}/L$ ,  $\Delta_{0\beta_{\Delta}} = 0$ .



Условия собираемости деталей могут быть расширены, если в момент соединения создать возможность регулирования их положения.

Например, регулированию положения втулки при установке на вал могли бы способствовать фаски, образующие в момент встречи деталей клиновую пару, обеспечивающую центрирование втулки по валу. При ширине фасок  $b$  условие собираемости деталей расширится и будет выражено неравенством

$$\varepsilon_{\max} + a_{\max} \leq \Delta_{\min} + b.$$

Однако при этом необходимо учесть, что во избежание заклинивания соединяемых деталей угол поворота оси отверстия во втулке относительно оси шейки вала не должен превышать значения  $\gamma$ . Допустимое значение угла  $\gamma$  зависит от соотношения параметров фасок и размеров поверхностей, по которым осуществляется сопряжение деталей.

Введение в процесс автоматического соединения деталей регулирования их относительного положения сопряжено с неоднократной сменой схем базирования. Нужный переход от одной схемы базирования к другой должны обеспечивать соответствующие устройства сборочной машины или ПР.

Рассмотрим этапы базирования втулки при ее посадке на вал и действия сборочной машины. На рис. 3.68 показаны схемы базирования только втулки.

**Этап I.** В исходной позиции втулку устанавливают на один из центров (до упора в торец штока привода), в которых установлен вал.

**Этап II.** Втулке сообщают движение вдоль оси центра, для чего геометрическую связь 5 заменяют кинематической связью А.

**Этап III.** Втулка коснулась фаской вала и должна повернуться вокруг точки  $O_1$ , чтобы сесть на вал фаской. В этот момент геометрические связи 2 и 4 должны быть сняты и заменены кинематическими связями  $\alpha$  и  $\beta$ , обеспечивающими поворот втулки в двух координатных плоскостях.

**Этап IV.** Для посадки на вал втулка должна повернуться вокруг точки  $O_2$ . Для этого она должна быть сцентрирована по контуру вала опорными точками 2' и 4', на какое-то мгновение лишенная опорной точкой 5' осевого перемещения и при действии созданных кинематических связей  $\mu$  и  $\nu$  повернута относительно вала до совмещения оси ее отверстия с осью шейки вала.

**Этап V.** С момента захода втулки на вал ее базирование полностью осуществляется валом. Причем для продвижения втулки в

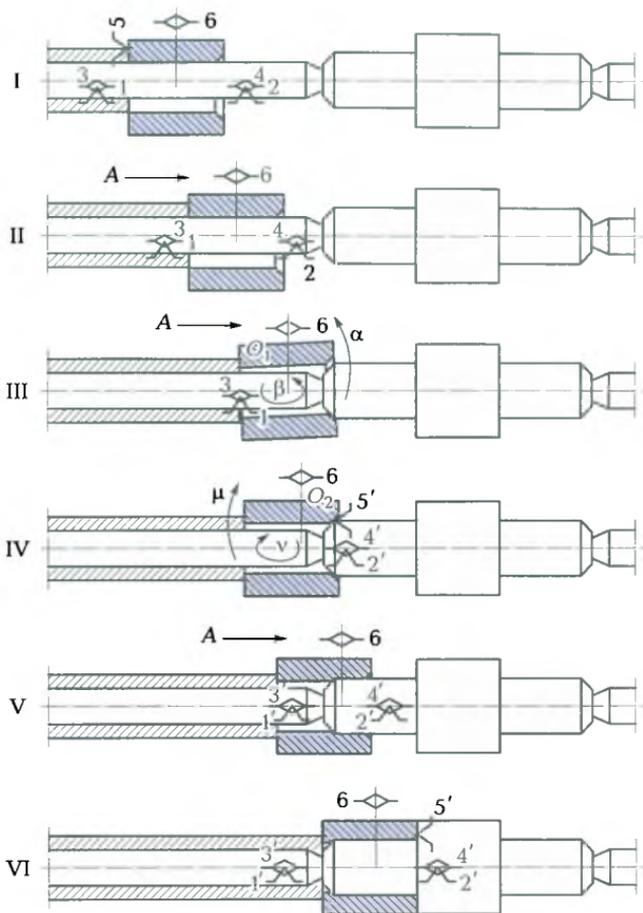


Рис. 3.68. Этапы базирования втулки в процессе посадки на вал (I—VI)

осевом направлении геометрическая связь  $5'$  должна быть вновь заменена кинематической связью  $A$ .

**Этап VI.** Втулка дослана до упора в торец вала. В этот момент действие кинематической связи  $A$  должно быть прекращено, а в силу должна вступить геометрическая связь  $5'$ .

Действие необходимых связей в процессе сборки обеспечивается силами, создаваемыми приводами сборочной машины или ПР, силами тяжести соединяемых деталей, возникающими силами реакции и трения. Из примера сборки втулки с валом нетрудно представить, что на каждом этапе процесса сборки должна быть создана своя система сил в соответствии с задачей, решаемой на данном этапе. При этом следует учитывать, что технологическая

система, осуществляющая сборку, не является абсолютно жесткой. Все это требует особой тщательности в раскрытии существа процесса автоматического соединения деталей и конструктивном обеспечении условий сборочного процесса.

Необходимость ведения процесса сборки с переменным режимом вынуждает оснащать сборочные машины и ПР устройствами «пассивной податливости», обеспечивающими тонкую коррекцию отклонений в относительном положении деталей, а также устройствами адаптивного управления, автоматически осуществляющими в нужный момент переход к другим режимам. На устройства такого рода возлагается коррекция относительного положения соединяемых деталей, обеспечения требуемой для данного этапа сборки системы действующих сил и их значений, регулирование скорости процесса сборки. Эффективность действия таких устройств целиком зависит от глубины проникновения в физическую сущность процесса и явлений, сопутствующих процессу сборки.

Таким образом, цель технологических разработок при автоматизации процесса сборки — решение следующих задач:

- выявление условий собираемости деталей при одновременном выборе баз и метода их автоматического соединения с учетом собственной точности деталей;
- доскональное описание существа процесса автоматического соединения деталей, раскрытие процесса базирования деталей в ходе их соединения и построение нужных для процесса сборки систем сил;
- проведение расчетов действующих сил режимов сборочного процесса и определение функций сборочной машины или ПР и требований, предъявляемых к ним, на каждом этапе сборки;
- выявление размерных связей, которые должны действовать в процессе автоматической сборки, разработка требований к точности базирующих устройств, сборочной машины или ПР;
- разработка технического задания на проектирование сборочной машины или ПР с отражением всех особенностей процесса сборки, функций машины или ПР и технических условий, которым они должны удовлетворять.

Состав автоматического сборочного оборудования определяется конструкцией изделия и технологией его сборки. В большинстве

случаев автоматические сборочные машины применяют для сборки изделий одного наименования или узкой номенклатуры сходных изделий, при годовой программе выпуска 200—500 тыс. шт. и более, вследствие чего они имеют специальное предназначение.

Обычно процесс сборки изделия делят на части в соответствии с членением изделия на отдельные сборочные единицы. Сборка сборочных единиц в зависимости от их сложности и изделия в целом может выполняться отдельными сборочными машинами или автоматическими линиями, имеющими ряд сборочных машин, объединенных транспортными средствами.

Помимо выполнения переходов, непосредственно связанных с соединением деталей или сборочных единиц, на автоматическое сборочное оборудование возложены функции транспортирования, загрузки, ориентации, контроля качества сборки, испытания и разгрузки.

При построении автоматического процесса сборки изделия важным является вопрос компоновки сборочного оборудования.

Применение однопозиционных сборочных машин (автоматов) в известной мере сокращает объем транспортных операций. Однако у такой сборочной машины число самостоятельных загрузочных, ориентирующих, питающих и собирающих устройств должно быть равно числу деталей, последовательно монтируемых в сборочную единицу (рис. 3.69, а).

Это требование снижает возможность концентрации операций, может значительно усложнить конструкцию сборочной машины и доступ к ней при наладке. Поэтому однопозиционные сборочные машины применяют для сборки сборочных единиц с малым числом деталей, входящих в их состав, или в случаях, когда собираются одинаковые детали и смонтировать их можно одновременно.

Более широкие возможности в этом отношении предоставляют многопозиционные машины, допускающие параллельное выполнение разных по содержанию операций (рис. 3.69, б). На загрузочной позиции такой машины в приспособление устанавливают базирующую деталь изделия, которая периодически переходит вместе с приспособлением с одной позиции на другую, в каждой из которых совершаются свои сборочные операции. Приспособления обычно размещают на поворотном столе, за один поворот которого выполняется полный цикл сборки изделия. Обычно многопозиционные машины имеют не более шести—восьми рабочих позиций, что ограничивает их применение для сборки сложных изделий.

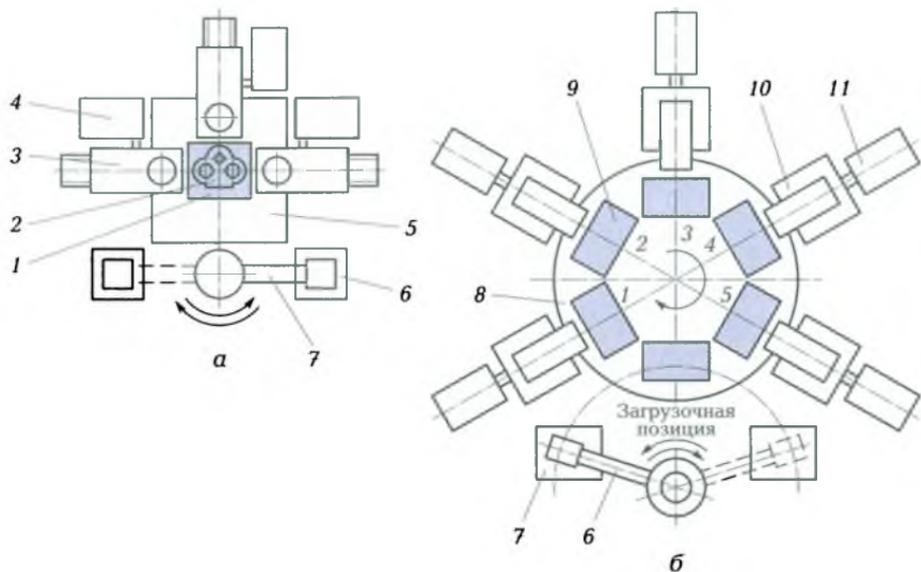


Рис. 3.69. Схемы компоновки сборочных машин (автоматов):

*а* — однопозиционной: 1 — приспособление; 2 — собираемое изделие; 3 — сборочная головка; 4 — магазинное устройство; 5 — стол сборочного автомата; *б* — стол; 7 — манипулятор; *б* — многопозиционной: 1–5 — рабочие позиции; 6 — манипулятор; 7 — стол; 8 — поворотный стол; 9 — приспособление; 10 — сборочная головка; 11 — магазинное устройство

Сборка сложных изделий ведется на автоматических линиях, которые могут быть составлены как из однопозиционных, так и из многопозиционных машин. На автоматических линиях может быть совмещена сборка отдельных сборочных единиц в целое изделие, подобное, например, блоку двигателя внутреннего сгорания, электродвигателю и т.п. Все позиции автоматической линии связаны между собой транспортными устройствами, доставляющими к сборочным машинам спутники с установленными на них базирующими деталями. Выполнение операций сборки на каждой позиции возможно с трех сторон одновременно, что предоставляет свободу в совмещении операций.

Для сборки изделий, изготавливаемых в очень большом количестве, как, например, роликовых цепей, применяют высокопроизводительные роторные автоматические линии. В состав роторной линии входят сборочные роторы, транспортные устройства и устройства автоматической загрузки собираемых деталей, контроля и др. Процесс сборки осуществляется непрерывно. При этом в

каждом технологическом роторе за полный его оборот осуществляется одна сборочная операция.

Главным преимуществом автоматической сборки с применением ПР по сравнению со сборочными машинами является возможность перестраивать их на сборку других изделий. Наличие устройств программного управления повышает уровень универсальности этих машин и делает возможным их применение при автоматизации сборки в многономенклатурном серийном производстве.

Функции любого робота сводятся к ряду типовых действий в пространстве: взять — положить, поднять — опустить, повернуть, перенести, на базе которых можно осуществлять транспортирование деталей к месту сборки, их ориентирование, выполнение разнообразных технологических операций, контроль качества сборки и др.

Существенному прогрессу в роботостроении и расширению возможностей ПР способствует развитие электронной и микропроцессорной техники. Первые ПР предназначались для замены человека на простых повторяющихся операциях, а в настоящее время роботы осуществляют сложные сборочные операции, выполнение которых обычно поручалось рабочим высокой квалификации. Развитие идет от жесткопрограммируемых автооператоров и манипуляторов к роботам с программным управлением и адаптивным ПР.

В настоящее время простейшие адаптивные системы по силам и крутящим моментам дополняются сенсорными устройствами. К числу таких устройств, особо расширяющих возможности роботов при сборке изделий, следует отнести визуальные (техническое зрение), тактильные и кинестатические (осознание и ощущение давления).

Например, визуальные сенсорные устройства позволяют:

- вести наблюдение за процессом соединения деталей и управлять адаптивными сборочными устройствами;
- осуществлять комплектацию узлов;
- проводить 100%-ный контроль по внешнему виду и размерам и выдавать статистические сведения о характере отклонений от нормы;
- сортировать изделия по внешнему виду и размерам и избирать нужную деталь при взятии ее с движущегося конвейера, со стеллажа или из тары;
- вести дистанционное управление процессов сборки и др.

Форма организации сборки с применением ПР в основном зависит от сложности изделий и может целиком выполняться либо на одном рабочем месте, либо на линии, оснащенной ПР.

В первом случае вокруг робота размещают питатели с деталями, подлежащими монтажу, набор захватных устройств, различные инструменты, которыми робот переоснащается сам, и стационарные установки (сверлильные головки, прессы и т.п.), к которым робот подает собираемое изделие для выполнения ими каких-то операций. Расширение возможностей сборки на одном рабочем месте дает применение «многоруких» роботов.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Перечислите виды сборки, применяемые в машиностроении.
2. Назовите виды сборочных единиц.
3. Каково назначение схемы сборки машины?
4. Какие способы соединения деталей вы знаете?
5. Расскажите о сборке узлов с подшипниками скольжения и качения.
6. Опишите сборку зубчатых передач.
7. Каково главное преимущество автоматической сборки с применением промышленных роботов по сравнению со сборочными машинами (автоматами)?
8. Перечислите переходы, которые включает в себя процесс сборки.
9. Как выявить и рассчитать технологические размерные цепи, с помощью которых в процессе сборки машины достигается ее точность?
10. С помощью каких величин можно характеризовать относительное положение поверхностей реальной детали?
11. В каких случаях производится шабрение детали?
12. Какие мероприятия способствуют повышению качества и уменьшению трудоемкости соединения деталей с натягом?
13. Что представляют собой погрешности измерения и как они возникают?
14. Как выбрать или разработать метод и средства оценки точности геометрических показателей машины?

# АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

## 4.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**Основные положения.** Организационную основу АСТПП составляет системное применение средств автоматизации инженерно-технических работ (Р 50-54-86—88 «Автоматизированная система технологической подготовки производства. Состав и порядок разработки»), которое обеспечивает оптимальное взаимодействие людей, машинных программ и технических средств автоматизации при выполнении функций технологической подготовки производства. Автоматизированная система ТПП призвана моделировать функции ТПП, связанные с обеспечением технологичности конструкции изделия, проектированием технологических процессов, проектированием и изготовлением средств технологического оснащения, управлением ТПП.

Обычно АСТПП состоит из подсистем. При этом предусматривается или их объединение в различных вариантах, или автономное использование каждой подсистемы. Таким образом, основным структурным элементом АСТПП является подсистема.

По функциональному назначению различают два типа подсистем: общего и специального назначения.

В зависимости от характера решаемых задач устанавливают следующий основной *состав подсистем общего назначения*:

- информационный поиск;
- кодирование, контроль и преобразование информации;
- формирование исходных данных АСУ различных уровней;
- оформление технической документации.

В зависимости от реализуемой функции ТПП устанавливают следующий основной **состав подсистем специального назначения**:

- обеспечение технологичности конструкции изделия (в части количественной оценки технологичности и совершенствования производственной системы);
- проектирование технологических процессов (по видам обработки);
- конструирование средств технологического оснащения (по видам);
- управление ТПП;
- изготовление средств технологического оснащения.

Подсистемы специального назначения реализуются, с одной стороны, на основе САПР (решение задач проектирования технологических процессов и конструирования средств технологического оснащения), а с другой — на основе АСУ, решающих задачи управления ходом ТПП, управления процессами проектирования, включая технологические процессы изготовления оснастки.

Состав подсистем специального назначения следует устанавливать для каждого предприятия отдельно, руководствуясь спецификой ТПП и экономической целесообразностью. Совместное функционирование подсистем специального назначения обеспечивается едиными подсистемами общего назначения.

Обмен информацией между подсистемами и их информационную совместимость обеспечивают единые информационно-поисковая система и система кодирования, контроля и преобразования информации.

Разработка АСТПП предполагает общее для всех подсистем информационное, математическое, методическое, организационное, техническое, лингвистическое и программное обеспечение. При разработке программ используются как блочная структура построения, так и модульный принцип программирования (библиотека модулей постоянно дополняется и обновляется).

**Организация автоматизированного технологического проектирования.** Задачей технологического проектирования согласно Р 50-54-87—88 «Организация автоматизированного технологического проектирования» является обеспечение производственной технологичности конструкции изделия и совершенствования производственной системы, проектирование технологических процессов, элементов производственной системы, технологической оснастки.

Автоматизированное проектирование технологических процессов проводят на основе типовых и групповых технологических процессов, индивидуальных технологических процессов и операций-аналогов, а также индивидуального проектирования.

Приступая к автоматизированному проектированию на основе технологических процессов-аналогов, сначала отбирают номенклатуру изделий, изучают их конструкции, требования к изготовлению и эксплуатации. Затем готовят конструкторскую документацию к процессу кодирования исходных данных, заполняют бланк исходных данных.

Конструктивно-технологический код формируется в зависимости от уровня автоматизации проектирования технологических процессов — на этапе подготовки исходных данных или на начальном этапе решения задачи на ЭВМ.

В ходе этапа поиска технологических процессов проводят сравнение конструктивно-технологических кодов изделия, подготавливаемого к производству, и изделий-представителей, хранимых в массивах поисковой системы.

На заключительных этапах проектируют технологический маршрут и технологические операции, рассчитывают режимы обработки и нормы времени, оформляют технологические документы.

Индивидуальное автоматизированное проектирование технологических процессов осуществляют при отсутствии технологических процессов-аналогов.

На первом этапе анализируют возможность применения имеющейся автоматизированной системы проектирования для данного изделия, подготавливают конструкторскую документацию к кодированию исходных данных, заполняют соответствующий бланк. Затем определяют целесообразный для данного производства метод получения заготовки, проектируют маршрутный технологический процесс. На основные элементы конструкции выбирают технологические базы, определяют припуски и технологические размеры обработки. Проектируют структурно-технологические схемы обработки на уровне переходов, объединяют переходы в операции и выбирают модели основного технологического оборудования.

Наконец, разрабатывают операции технологического процесса, определяют структуры операций и последовательность выполнения переходов, обрабатывающий инструмент. В случае необходимости разрабатывают техническое задание на проектирование специального инструмента, выбирают технологическую оснастку, рассчитывают режимы обработки. Одновременно подготавливают УП для станков с ЧПУ.

На последних этапах определяют нормы времени, профессии и квалификацию рабочих, корректируют технологический процесс, готовят комплект технологических документов.

**Общие правила проектирования элементов производственной системы.** Начальным этапом служит специализация цехов и участков основного производства, разработка их структуры на основе группирования конструктивно подобных объектов производства в пределах всей номенклатуры изделий, профилирующих предприятие и включенных в проектную годовую программу выпуска, затем в пределах номенклатуры изделий каждого цеха.

Исходя из полученных данных определяют необходимое число основного технологического оборудования по производственным подразделениям и видам производства. Расчеты проводят по каждому виду оборудования на основе норм трудоемкости обработки заготовки на данном оборудовании и проектной годовой программы выпуска.

Для формирования многономенклатурных поточных линий и участков группируют объекты производства по общности технологических процессов с учетом структурно-технологических схем обработки. Выделяют группы объектов производства, характеризующихся единой последовательностью выполнения операций. В структурно-технологических схемах должны быть зафиксированы отношения предшествования между технологическими операциями и определены все возможные варианты последовательности их выполнения.

Технологическое проектирование должно устанавливать взаимосвязь между этапами проектирования на основе технологических процессов-аналогов, индивидуального проектирования и проектирования элементов производственной системы.

## **4.2. СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

---

В машиностроении все шире используют системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП), что вызвано все возрастающим ростом объема машиностроения, усложнением конструкций изделий и технологических процессов, сжатыми сроками ТПП и ограниченной численностью

специалистов. Применение САПР ТП позволяет не только ускорить процесс проектирования, но и повысить его качество путем рассмотрения большего числа возможных вариантов и выбора самого лучшего по определенному критерию (по себестоимости, производительности и др.).

Автоматизация проектирования предусматривает систематическое использование ЭВМ в процессе проектирования и в обоснованном распределении функций между технологом-проектировщиком и ЭВМ.

Использование автоматизированного проектирования не только повышает производительность труда технолога, но и способствует улучшению условий труда проектировщиков, количественной автоматизации умственно-формальных (нетворческих) работ, разработке имитационных моделей на воспроизведение деятельности технолога, его способности принимать проектные решения в условиях частичной или полной неопределенности в возникающих ситуациях проектирования.

Проектирование технологического процесса включает в себя несколько уровней: разработку принципиальной схемы технологического процесса, проектирование технологического маршрута, проектирование операций, разработку УП для оборудования с ЧПУ.

Проектирование сводится к решению группы задач, которые относятся к задачам синтеза и анализа. Понятие «синтез» технологического процесса в широком смысле этого слова близко по содержанию к понятию «проектирование». Однако существует различие, которое заключается в том, что проектирование означает весь процесс разработки технологического процесса, а синтез характеризует создание варианта технологического процесса, не обязательно окончательного.

Синтез как задача может выполняться при проектировании много раз, сочетаясь с решением задач анализа. Анализ технологического процесса или операции — это изучение их свойств; при анализе не создают новые технологические процессы или операции, а исследуют заданные.

Синтез направлен на создание новых вариантов технологических процессов или операций, а анализ используют для оценки этих вариантов.

Технологический процесс механосборочного производства и его элементы являются дискретными, поэтому задача синтеза сводится к определению структуры. Если среди вариантов структуры отыскивается не любой приемлемый, а в некотором смысле наи-

лучший, такую задачу синтеза называют **структурной оптимизацией**.

Расчет оптимальных параметров (режимов резания, параметров качества и др.) технологического процесса или операции при заданной структуре с позиции некоторого критерия называют **параметрической оптимизацией**.

На каждом уровне процесс технологического проектирования (проектирование технологических процессов и их оснащения) представляют как решение совокупности задач (рис. 4.1). Проектирование начинается с синтеза структуры по техническому заданию, затем генерируют исходный вариант структуры и оценивают с позиции условий работоспособности (например, по обеспечению заданных параметров качества изделия). Для каждого вари-

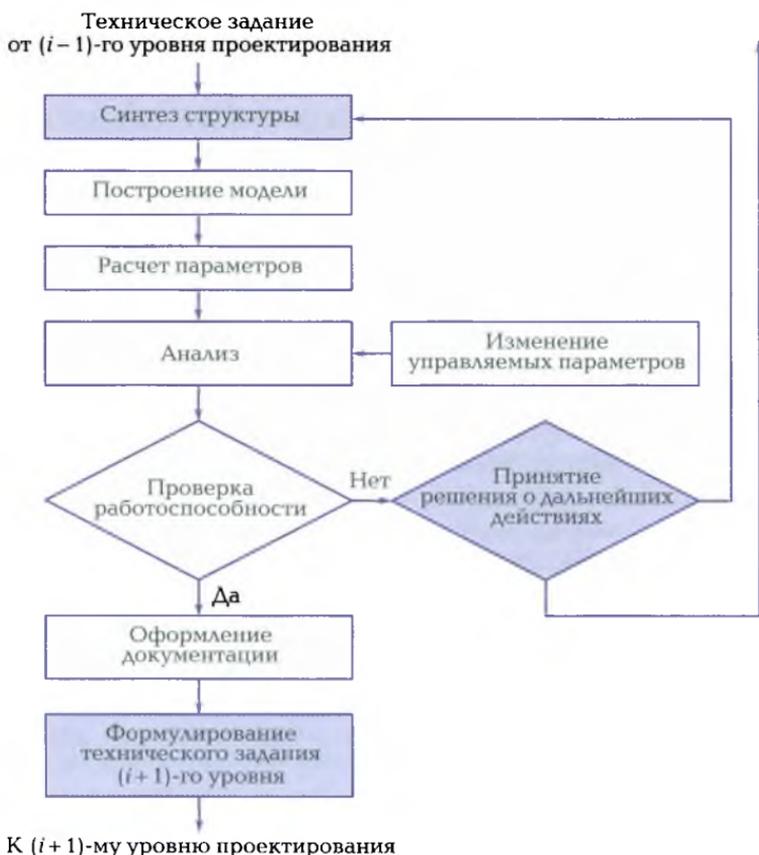


Рис. 4.1. Схема процесса проектирования на  $i$ -м уровне

анта структуры предусмотрена оптимизация параметров, так как оценка должна выполняться по оптимальным или близким к оптимальным значениям параметра.

В современных условиях совершенно очевидна необходимость системного подхода к автоматизированному проектированию, представляющему собой комплекс средств автоматизации в его взаимосвязи с необходимыми подразделениями проектной организации или коллективом специалистов (пользователи системы), выполняющих проектирование. Можно формулировать ряд **принципов**, которые используют при создании САПР, в том числе проектирования технологических процессов согласно ГОСТ 34.003—90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения»:

- САПР создается как автоматизированная система, где проектирование ведется с помощью ЭВМ;
- САПР строится как открытая развивающаяся система. Разработка САПР занимает продолжительное время, поэтому экономически целесообразно вводить ее в эксплуатацию по частям по мере их готовности. Созданный базовый вариант системы может расширяться. Кроме того, возможно появление новых, более совершенных математических моделей и программ, изменяются также объекты проектирования;
- САПР создается как иерархическая система, реализующая комплексный подход к автоматизации на всех уровнях проектирования. Блочный-модульный иерархический подход к проектированию сохраняется при применении САПР. Так, в технологическом проектировании механо-сборочного производства обычно включают подсистемы структурного, функционально-логического и элементного проектирования (разработка принципиальной схемы технологического процесса, проектирование технологического маршрута, проектирование операции, разработка УП для станков с ЧПУ). Возникает необходимость обеспечения комплексного характера САПР, т. е. автоматизации на всех уровнях проектирования. Иерархическое построение САПР относится не только к специальному программному обеспечению, но и к техническим средствам (центральному вычислительному комплексу и автоматизированным рабочим местам (АРМ));

- САПР как совокупность информационно-согласованных подсистем означает, что обслуживание всех или большинства последовательно решаемых задач ведется информационно-согласованными программами. Плохая информационная согласованность приводит к тому, что САПР превращается в совокупность автономных программ.

Структурными частями САПР являются подсистемы. Подсистема — выделяемая часть системы, с помощью которой можно получить законченные результаты. Каждая подсистема содержит элементы обеспечения. Предусматриваются следующие **виды обеспечения**, входящие в состав САПР:

- методическое обеспечение — совокупность документов, устанавливающих состав и правила отбора и эксплуатации средств обеспечения автоматизированного проектирования;
- информационное обеспечение — совокупность сведений, представленных в заданной форме, необходимых для выполнения проектирования (совокупность каталогов, справочников и библиотек на машинных носителях);
- математическое обеспечение — совокупность математических методов, математических моделей и алгоритмов, представленных в заданной форме и необходимых для автоматизированного проектирования;
- лингвистическое обеспечение — совокупность языков проектирования, включая термины и определения, правила формализации естественного языка и методы сжатия и развертывания текстов, представленных в заданной форме и необходимых для автоматизированного проектирования;
- программное обеспечение — совокупность машинных программ, представленных в заданной форме и необходимых для выполнения проектирования. Программное обеспечение подразделяют на общее программное обеспечение, которое разрабатывается для решения любой задачи, специфику САПР оно не отражает, и специальное программное обеспечение, включающее в себя все программы решения конкретных проектных задач;
- техническое обеспечение — совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств, предназначенных для автоматизированного проектиро-

вания. Наиболее успешно эти требования могут быть удовлетворены на основе применения единой серии ЭВМ (ЕС ЭВМ);

- организационное обеспечение — совокупность документов, устанавливающих состав проектной организации и ее подразделений, связи между ними, их функции, а также форму представления результатов проектирования и порядок рассмотрения проектных документов, необходимых для выполнения проектирования.

Работа САПР проводится в двух режимах — пакетном и диалоговом.

**Режим пакетной обработки** (автоматический) предусматривает автоматическое решение задачи по составленной программе без вмешательства проектировщика в ход решения. Оператор, пользуясь терминалом, только вводит необходимые данные. Этот режим применяют в тех случаях, когда удастся заранее предусмотреть все возможные ситуации при решении и формализовать выбор продолженных решений в точках ветвления алгоритма, а также когда требуется большое время счета между точками ветвления.

**Диалоговый режим** (оперативный или интерактивный) используется в следующих случаях:

- существование трудноформализуемых правил и процедур для принятия решения (например, распределение переходов по позициям многооперационных станков, выбор баз и другие решения);
- объем числовой информации, подлежащий вводу в ЭВМ в процессе диалога, невелик (при большом объеме информации диалог затягивается и аппаратура используется малоэффективно);
- время ожидания решений должно составлять от нескольких секунд (для часто повторяющихся процедур до нескольких минут) для редко встречающихся процедур.

**Классификация САПР.** Установлены следующие признаки классификации САПР (ГОСТ 23501.108—85 «Системы автоматизированного проектирования. Классификация и обозначение»):

- тип объекта проектирования;
- разновидность объекта проектирования;
- сложность объекта проектирования;

- уровень автоматизации проектирования;
- комплексность автоматизации проектирования;
- характер выпускаемых документов;
- число выпускаемых документов;
- число уровней в структуре технического обеспечения.

По каждому признаку имеются классификационные группировки САПР и их коды, которые определяют принадлежность создаваемой системы к определенному классу САПР.

Коды классификационных группировок различают по признакам сложности объекта проектирования, уровню автоматизации проектирования, комплексности автоматизации проектирования и числу выпускаемых документов, что определяют по отраслевым нормативно-техническим документам.

Уровень автоматизации проектирования показывает, какую часть процесса проектирования (в процентах) выполняют с использованием средств вычислительной техники. Комплексность автоматизации проектирования характеризует широту охвата автоматизацией этапов проектирования определенного класса объектов.

По первому признаку — тип объекта проектирования — установлены три кода классификационной группировки для машиностроения (ГОСТ 23501.108 — 85):

- САПР изделий машиностроения — для проектирования изделий машиностроения;
- САПР технологических процессов в машиностроении — для проектирования технологических процессов в машиностроении;
- САПР программных изделий — для проектирования программ ЭВМ, станков с ЧПУ, роботов и технологических процессов.

Код и наименование классификационной группировки по признаку «разновидность объекта проектирования» определяют по действующим классификаторам на объекты, проектируемые системой:

- для САПР изделий машиностроения и приборостроения — по классификаторам Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) или Общероссийскому классификатору продукции (ОКП);
- для САПР технологических процессов в машиностроении и приборостроении — по классификатору техноло-

гических операций в машиностроении и приборостроении или по отраслевым классификаторам.

Сложность объектов проектирования определяется пятью кодами классификационной группировки: САПР простых объектов (технологическая оснастка, редуктор), САПР объектов средней сложности (металлорежущие станки), САПР сложных объектов (трактор), САПР очень сложных объектов (самолет) и САПР объектов очень высокой сложности.

Существуют три классификационные группировки уровня автоматизации проектирования: система низкоавтоматизированного проектирования, когда уровень автоматизации проектирования составляет до 25 %; система среднеавтоматизированного проектирования, когда уровень автоматизации проектирования составляет 25...50 %; система высокоавтоматизированного проектирования, когда уровень автоматизации проектирования составляет более 50 %.

Пример формализованного описания САПР представлен в табл. 4.1.

**Таблица 4.1. Пример формализованного описания САПР.  
Коды классификационных группировок САПР – Станки:  
1.041000.2.1.2.1.1.2**

Номер классификационной группировки САПР	Код классификационной группировки	Наименование классификационной группировки	Нормативно-техническая документация, которая определяет коды классификационных группировок
1	1	САПР изделий машиностроения	ГОСТ 23501.108—85
2	041000	Станки и линии для обработки резанием (кроме деревообрабатывающих)	Классификатор ЕСКД
3	2	САПР объектов средней сложности	ГОСТ 23501.108—85

Номер классификационной группировки САПР	Код классификационной группировки	Наименование классификационной группировки	Нормативно-техническая документация, которая определяет коды классификационных группировок
4	1	Система низкоавтоматизированного проектирования, уровень автоматизации проектирования 22,5 %	Методика определения уровня автоматизации проектных работ № 95Д*
5	1	Одноэтапная САПР, выполняет один этап конструкторского проектирования (конструирования)	ГОСТ 23501.108—85
6	1	САПР, выпускающая документы на бумажной ленте и листе	То же
7	1	САПР малой производительности. Выпускает до $10^5$ документов в пересчете на формат А4 за год	»
8	2	Двухуровневая САПР	»

\* Утверждена Госстроем СССР 19.11.1981.

По комплексности автоматизации проектирования различают САПР одноэтапную, многоэтапную, комплексную.

Установлено три кода классификационной группировки уровней в структуре технического обеспечения САПР:

- одноуровневая — система, построенная на основе средней или большой ЭВМ со штатным набором периферийных устройств, включая средства обработки графической информации;
- двухуровневая — система, построенная на основе средней или большой ЭВМ и взаимосвязанных с ней

одного или нескольких АРМ, имеющих собственную ЭВМ;

- трехуровневая — система, построенная на основе большой ЭВМ, нескольких АРМ и периферийного программно-управляемого оборудования для централизованного обслуживания этих АРМ или на основе большой ЭВМ и группы АРМ, объединенных в вычислительную сеть.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Из каких элементов состоит структура АСТПП?
2. Что входит в состав АСТПП?
3. Как кодируется информация о деталях?
4. Каковы задачи и этапы организации автоматизированного технологического проектирования?
5. В чем заключается принципиальное различие методов проектирования?
6. Какие принципы используются при создании САПР?
7. Какие особенности имеет режим диалога-проектирования с ЭВМ?
8. Какие характеристики имеют компоненты подсистемы САПР?

# ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП

## 5.1. ОБЩАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТ ПРИ ПРОГРАММИРОВАНИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП

---

Разработка операционного технологического процесса начинается с составления (уточнения) операционного эскиза, по которому определяют содержание операции. Это позволяет выявить число установов, необходимых для выполнения операции. Далее процесс разрабатывают для каждого установа, выполняя соответствующие эскизы с указанием схемы базирования и крепления заготовки в каждом установе.

На детали выделяют так называемые зоны обработки, представляющие собой часть припуска на том или ином элементе либо какой-то части детали.

Припуск может быть удален различным инструментом за несколько переходов или даже операций. Введение зон обработки позволяет использовать типовые схемы переходов, определяющие правила построения траектории инструмента, что в значительной мере облегчает подготовку УП для станков с ЧПУ.

Последовательность обработки детали по зонам, обычно связанным с конструктивными особенностями детали, намечают отдельно для каждого установа детали.

В каждой из зон определяют вид обработки (черновая, чистовая), устанавливают ее последовательность для отдельных элементов детали, находящихся в данной зоне, находят требуемые типоразмеры режущего инструмента. Кроме того, выделяют совокупность элементов детали, обрабатываемых общим инструментом, что характеризует часть операции, выполняемую по отдельной подпрограмме.

Методы разработки операционных технологических процессов аналогичны методам разработки маршрутных технологических процессов. Наиболее успешно технологическое проектирование на основе типизации технологических процессов. Типовые технологические процессы являются базой для самых различных автоматизированных систем проектирования. Из этих систем следует выделить комплексную автоматизированную систему технологической подготовки производства (КАС ТПП), обеспечивающую совершенствование и ускорение технологической готовности предприятия к производству изделий высшей категории качества при минимальных трудовых и материальных затратах.

Метод проектирования технологических процессов на базе типовых переходов осуществляется выбором вариантов обработки отдельных элементов детали и общей последовательности ее обработки, наиболее соответствующих конкретным техническим и производственным условиям. При этом за основу принимаются соответствующие переходам типовые схемы обработки элементов, отличающихся геометрией контура, характером припуска, точностью и др.

Порядок технологического проектирования (синтезирования технологических процессов) в рассматриваемом случае следующий. Выявляют отдельные конструктивные элементы обрабатываемой детали и соответствующие зоны обработки. Для обработки каждого элемента и зоны устанавливают (выбирают) типовой технологический переход (типовую схему обработки) и предназначенный для этого режущий инструмент. В определенной логической последовательности переходы с назначением режимов обработки объединяют в технологическую цепочку, составляющую технологическую операцию в целом. При этом необходимо уже на стадии технологического проектирования стремиться строить операцию с такими переходами, которым соответствуют траектории движения режущего инструмента, реализуемые на станках с ЧПУ в виде так называемых стандартных циклов.

При реализации метода автоматизированной подготовки технологических процессов возникают сложные задачи выбора оптимального решения из допустимого множества решений. Поэтому в условиях автоматизированного производства решение технологических задач может быть несколько иным. Но все же в практике работ на станках с ЧПУ этот метод удобен, поскольку позволяет упростить составление УП.

Определенное влияние на процесс технологического проектирования для станков с ЧПУ оказывает ограничение по номенкла-

туре используемого режущего инструмента. Поэтому при проектировании операционных процессов для конкретного станка с ЧПУ при определении переходов исходят прежде всего из возможного числа инструментов, налаживаемых на операцию. Эти инструменты выбирают из закрепленной за данным станком номенклатуры инструментов. Если число выбранных для выполнения операции инструментов превышает число позиций на станке, чаще всего обработку разделяют на две операции, осуществляемые с определенной перенастройкой станка и по соответствующим программам.

Использование на станках с ЧПУ специального комбинированного инструмента экономически оправданно далеко не всегда и зависит от объема и повторяемости партий деталей, обрабатываемых на данном станке. От этого зависит также во многом характер проработки и отработки технологических процессов и подготовленных УП.

В общем случае можно выделить четыре вида операционных технологических процессов обработки деталей на станках с ЧПУ: А, Б, В, Г.

Вид А — для обработки малых неповторяющихся партий деталей. Малой считается партия, для которой суммарное время рабочего хода всех инструментов  $t_{pi}$ , умноженное на коэффициент времени резания  $\lambda$  (время резания), меньше суммы экономических стойкостей  $T_i$  всех инструментов наладки  $q_n$ :

$$\sum t_{pi} \lambda q_n < \sum T_i q_n.$$

Иначе говоря, партию деталей обрабатывают за время, меньшее периода стойкости используемых в наладке инструментов в количестве  $q_n$  (обязательно необходимых).

Вид Б — для обработки малых повторяющихся партий.

Вид В — для обработки средних и крупных неповторяющихся партий деталей. Средней считается партия, для которой время резания  $\sum t_{pi} \lambda q_n$  примерно равно или немного больше периода стойкости используемых в наладке обязательно необходимых инструментов:  $\sum t_{pi} \lambda q_n \geq \sum T_i q_n$ . Крупная партия — такая, для которой время резания  $\sum t_{pi} \lambda q_n$  больше суммарной стойкости всех инструментов наладки (как обязательно необходимых в количестве  $q_n$ , так и введенных дополнительно в количестве  $q_\Delta$ ), т. е.  $\sum t_{pi} \lambda q_n > \sum T_i (q_n + q_\Delta)$ .

Вид Г — для обработки средних и крупных повторяющихся партий.

Изложенные данные позволяют в общем виде наметить последовательность и определить перечень работ по составлению и от-

работке операционного технологического процесса и УП (табл. 5.1). Совершенно очевидно, что увеличение затрат времени на это экономически оправданно при увеличении объема партий деталей, обрабатываемых по данному технологическому процессу и подготовленной УП, и увеличении повторяемости партий.

**Таблица 5.1. Общая последовательность работ при проектировании операционных технологических процессов и отработке управляющей программы для станков с ЧПУ**

Наименование работы	Вид операционного технологического процесса			
	А	Б	В	Г
Составление операционного эскиза, схемы установки заготовки, общего плана операции	+	+	+	+
Выявление обрабатываемых элементов и зон обработки, расчет межпереходных размеров	+	+	+	+
Выбор типовых технологических переходов и соответствующих им режущих инструментов из номенклатуры инструментов, закрепленных за станком	+	+	+	+
Выбор для свободных позиций в револьверной головке или магазине дополнительных инструментов, если они позволяют: сократить время обработки	+	+	+	+
выровнять загрузку технологически необходимых инструментов	-	-	+	+
Анализ выбранного инструмента. Выбор инструмента, технологически необходимого для выполнения операций с учетом снижения времени обработки, из числа инструментов за пределами номенклатуры, закрепленной за станком. Рассмотрение возможности применения специальных комбинированных инструментов	-	-	-	+
Определение последовательности обработки поверхностей в операции с установлением очередности работы инструментов по типовым схемам	+	+	+	+
Оптимизация последовательности обработки: в целях минимизации времени обработки	-	+	-	+

Наименование работы	Вид операционного технологического процесса			
	А	Б	В	Г
в целях минимизации количества используемого инструмента	-	-	+	+
Назначение режимов работы каждого инструмента в соответствии с рекомендациями	+	+	+	-
Уточнение режимов резания по ограничениям, связанным со средствами закрепления заготовки, жесткостью детали, кинематическими особенностями станка	+	+	+	+
Уточнение режимов работы каждого инструмента с учетом предварительных экспериментов и имеющегося опыта использования, с учетом стойкости и надежности его работы	-	-	+	+
Уточнение режимов резания инструментов наладки (чтобы суммарное время обработки партии было минимальным) с учетом: смены инструмента	-	-	+	+
	-	-	-	+
Определение целесообразности установки на станке нескольких одинаковых деталей по затратам времени на установку	+	+	+	+
Подготовка УП	+	+	+	+
Подготовка УП с оптимизацией траекторий движения инструментов: основных	-	-	+	+
	-	-	-	+
Отладка УП при обработке первой детали	+	+	+	+
Отладка УП в части корректировки последовательности работы инструмента, схем его перемещения, количества дополнительного инструмента по результатам обработки: первой или нескольких первых деталей	-	-	+	+
	-	+	-	+

Наименование работы	Вид операционного технологического процесса			
	А	Б	В	Г
Отладка УП в части корректировки режимов резания, подходов и перебегов инструмента по результатам обработки: первой или нескольких первых деталей	-	-	+	+
первой партии деталей	-	+	-	+
Отладка УП в части корректировки режимов резания по результатам обработки первой партии деталей с учетом фактического расхода инструмента, его стоимости, затрат на смену, подналадку, восстановление и т. п.	-	-	-	+

Примечание. Знак «+» означает наличие данной работы в общей последовательности, знак «-» — ее отсутствие.

Установление последовательности переходов, используемого инструмента, режимов резания завершает первую часть работ по составлению операционного технологического процесса, который оформляется на стандартизованных бланках. Одновременно с разработкой операционной технологии готовят карты наладки станка и инструмента, оформление которых заканчивается после разработки УП.

В ряде случаев для удобства разрабатывают схемы (эскизы) закрепления заготовки с указанием нулевой точки станка, точки начала обработки, нулевой точки детали и т. д. Кроме того, на операционном эскизе обрабатываемой детали могут быть указаны контуры заготовки, контуры первого и второго уровней обработки с геометрическими опорными точками, припуски. Дальнейшие работы связаны с составлением РТК.

Поиск оптимального варианта технологической операции, представляющего собой компромиссное сочетание количественного и качественного критериев (машинного времени обработки детали и заданных параметров ее качества), наиболее успешно осуществляется при использовании ЭВМ. Один из путей проектирования технологического процесса обработки деталей — использование ЭВМ в диалоговом режиме. В основу такого проектирования положено целесообразное распределение функций между технологом-проектировщиком и ЭВМ с учетом качеств, присущих человеку и ЭВМ.

**Технологическая классификация отверстий.** Трудоемкость обработки отверстий в ряде деталей достигает 40 % и более общей трудоемкости обработки детали, поэтому выбору рациональной схемы обработки отверстий следует уделять особое внимание. Практически все основные типы станков с ЧПУ подходят для обработки отверстий, последовательность операций устанавливается по общим правилам.

**Конфигурация любого отверстия** — сквозного или глухого — может быть сформирована из основных и дополнительных элементов.

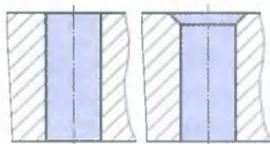
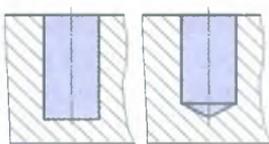
**Основные элементы** (табл. 5.2) могут быть сквозными или глухими, причем у последних форма дна может быть плоской или произвольной. Большинство основных элементов составляют гладкие цилиндрические отверстия различных квалитетов: от свободных размеров, которые при технологическом проектировании обычно приравнивают к 13-му квалитету, до отверстий 7-го квалитета. Отверстия, выполняемые по 6-му квалитету и выше, встречаются сравнительно редко.

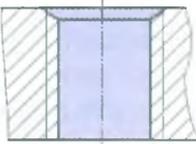
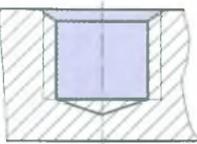
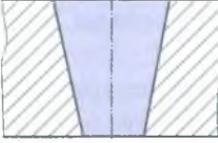
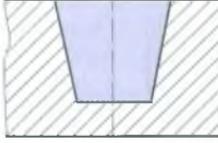
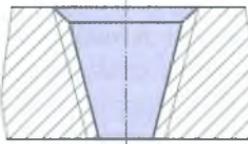
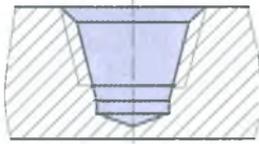
К числу **дополнительных элементов** относятся фаски и углубления прямоугольного профиля со свободными размерами, наружные и внутренние торцы, требующие обработки, канавки и разного рода препятствия.

**Заготовки** могут быть трех типов: сплошные, с литым отверстием и предварительно обработанным отверстием.

Отверстия сложной конфигурации могут быть представлены **ступенями**, которые располагаются вдоль оси отверстия и отделяются друг от друга торцовыми поверхностями, представляющими собой плоскости, перпендикулярные этой оси (рис. 5.1). Размеры

Таблица 5.2. Типовые основные элементы отверстий

Тип отверстия	Основной элемент	
	Сквозное отверстие	Глухое отверстие
Гладкое цилиндрическое		

Тип отверстия	Основной элемент	
	Сквозное отверстие	Глухое отверстие
Цилиндрическое с резьбой		
Гладкое коническое		
Коническое с резьбой		

поверхностей —  $l_1$ — $l_5$ . Таким образом, любое отверстие представляют как совокупность отдельных ступеней, расположенных вдоль одной оси.

Каждую ступень рассматривают вместе с торцом, от которого начнется ее обработка. Торцы можно пронумеровать.

Каждая выделенная ступень может быть обработана за один или несколько типовых переходов.

**Типовые переходы при обработке отверстий.** Для одной ступени отверстия может быть установлена определенная последовательность технологических переходов.

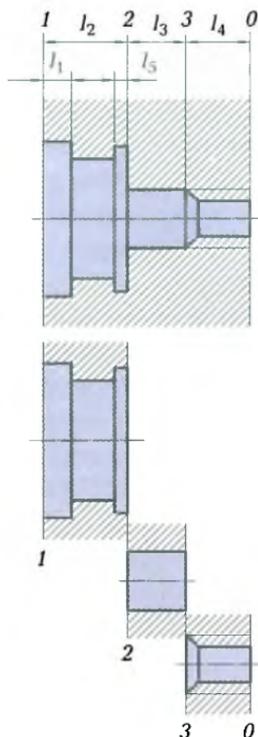
1. Центрование — выполняют специальным центровым инструментом, сверлом или конусной зенковкой (рис. 5.2, переход 1).

2. Черновая обработка отверстия — может быть выполнена за один или несколько проходов сверлами, зенкерами, резцами и фрезами (рис. 5.2, переходы 2, 5, 7, 8).

3. Обработка торца отверстия — выполняют прямой зенковкой с направляющей цапфой, торцевой пластиной (рис. 5.2, переход 3) или фрезой, а также резцами, установленными в планшуппоре.

4. Коническое зенкерование — выполняют специальным коническим зенкером.

Рис. 5.1. Пример обрабатываемого отверстия



5. Прямое зенкование — может осуществляться прямой зенковкой с направляющей цапфой, зенкером для глухих отверстий или резцом для глухих отверстий на борштанге и в плансуппорте (рис. 5.2, переходы 3, 7).

6. Коническое зенкование (переход для обработки фасок) — выполняют конусной зенковкой, сверлом или резцом (рис. 5.2, переход 4).

7. Резьбонарезание — выполняют метчиками для сквозных и глухих отверстий (рис. 5.2, переход 6).

8. Полуцистовая обработка отверстия — производят зенкерами или резцами для глухих и сквозных отверстий, включая плансуппортную обработку (рис. 5.2, переходы 2, 5, 7).

9. Обработка канавки — выполняют или плансуппортом, или вручную.

10. Чистовая обработка — выполняют развертками или резцами для сквозных или глу-

хих отверстий, включая плансуппортную обработку.

**Этапы проектирования операций обработки отверстий.** При проектировании технологического процесса обработки сложных отверстий (многоступенчатых, разностенных) чистовые переходы, в результате которых достигается качество готовой ступени, назначают в основном независимо от обработки других ступеней. Черновые переходы для разных ступеней, как правило, взаимосвязаны, что требует их объединения с уточнением размеров инструмента, а также плана рабочих и вспомогательных ходов.

Прежде чем приступить к назначению технологических переходов, необходимо установить, будет ли применен стержневой инструмент, расточный инструмент или тот и другой. При решении этого вопроса необходимо учитывать как размеры отверстия и назначение станка, так и общие технологические указания, в которых могут содержаться требования к черновой обработке (фрезерование или растачивание) и к виду заготовки.

Использование фрезерования для черновой обработки позволяет сократить номенклатуру инструмента, необходимого для выполнения операции.

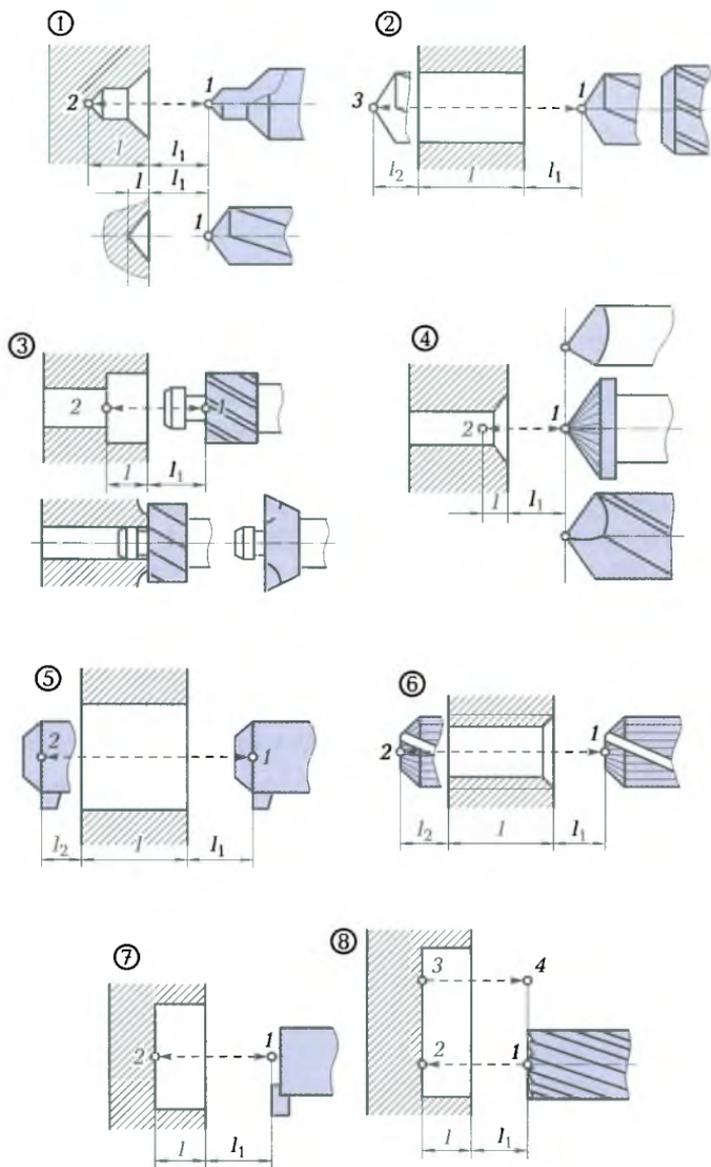


Рис. 5.2. Типовые переходы обработки отверстий:

1 — центрование центровочным или спиральным сверлом; 2 — сверление, зенкование, развертывание; 3 — зенкование донным зенкером, цекование; 4 — зенкование фаски конусной зенковкой, сверлом или резцом; 5 — растачивание отверстия; 6 — нарезание резьбы; 7 — растачивание глухого отверстия; 8 — фрезерование отверстия концевой фрезой; 1—4 — траектория режущего инструмента;  $l_1$  — недоход;  $l_2$  — перебор;  $l$  — глубина отверстия

В технологических указаниях может содержаться требование выполнить обработку детали за несколько операций на специализированных станках. В таком случае назначение технологии на первом этапе ведут применительно к станку с максимальными возможностями, а разделение на отдельные операции с учетом возможностей станков производят на других этапах.

Технологические переходы, выполняемые расточным инструментом, назначают при допустимом отклонении расположения оси отверстия менее 0,1 мм и при таких диаметрах отверстия, которые допускают применение расточного инструмента.

**Проектирование операций с использованием стержневого инструмента.** При использовании стержневого инструмента схема переходов при обработке отверстия может быть следующей. Переход центрирования назначают во всех случаях, когда нужно выполнить отверстие в сплошном материале (т. е. исходная заготовка отверстия не имеет). Исключения составляют короткие отверстия 13-го качества с диаметром менее 25 мм. Отверстия 13-го качества и ниже с параметром шероховатости поверхности по диаметру  $R_z > 20$  мкм могут быть получены сверлением, кроме отверстий, имеющих плоское дно и поэтому требующих зенкерования.

Для получения отверстия 11-го качества необходим чистовой проход зенкером, диаметр которого равен окончательному размеру отверстия.

Если требуется получить отверстия 7—10-го качества, чистовой переход выполняют разверткой соответствующего качества, диаметр и поле допуска которой равны соответствующим параметрам отверстия. Перед развертыванием отверстия зенкуют.

Припуски на обработку отверстий, а также рекомендуемый характер переходов и типы используемого инструмента приведены в справочной литературе.

Обработка дополнительных элементов отверстий стержневым инструментом, как правило, не вызывает затруднений. Рекомендации по назначению переходов обработки этих элементов достаточно известны.

**Проектирование операций с использованием расточного инструмента.** Расточный инструмент позволяет получить отверстия высокой точности с достаточной прямолинейностью и небольшими уводами инструмента. При использовании расточного инструмента число переходов для отверстия заданных диаметра, длины, точности и шероховатости зависит от разных факторов и во многом от паспортной точности настроенного инструмента, которую в автоматическом цикле может обеспечить данный станок.

Припуски на обработку отверстий, рекомендуемый характер переходов, типы инструмента и другие данные приведены в справочной литературе. Следует отметить, что особенно сложны для обработки глубокие отверстия, отношение длины которых к диаметру больше пяти, их обработка требует не только специальных инструмента и технологии, но и оборудования.

**Проектирование операций с использованием ЭВМ.** Решение задачи построения переходов при обработке отверстий достаточно просто формализуется с помощью ЭВМ (рис. 5.3). Естественно, что в развернутых автоматизированных системах подготовки технологических процессов эта задача решается с учетом значительно большего числа факторов, в том числе технических данных оборудования.

При оперативном программировании с использованием микро-ЭВМ данного устройства ЧПУ станка в ряде случаев операции по обработке отверстий разрабатывают в режиме диалога. Технолог-программист последовательно отвечает на вопросы ЭВМ, формируя на первом этапе работ исходные данные, а на втором — схемы обработки отверстий. В процессе работы ЭВМ предлагает меню типовых переходов, при отклонении условий обработки от типовых требует дополнительных данных и т. д.

**Выбор режимов обработки отверстий.** Входными данными для определения режимов обработки при *сверлении, рассверливании, зенкеровании и развертывании отверстий* являются:

$R_{ms}$  — род обрабатываемого материала (сталь, чугун, цветные металлы);

$R_m$  — прочность стали, МПа;

НВ — твердость материала, МПа;

$R_{m0}$  — род материала инструмента (твердый сплав, быстрорежущая сталь);

$T$  — стойкость инструмента, мин;

$s$  — марка (сорт) материала;

$d$  — диаметр обрабатываемого отверстия, мм;

$d_1$  — диаметр инструмента, мм;

$t_{IT}$  — квалитет точности IT;

$h$  — параметр шероховатости  $Ra$ , мкм;

$l$  — длина (глубина) обрабатываемого отверстия, мм;

$R$  — вид обработки:  $R_{0z}$  — черновая;  $R_{0d}$  — чистовая;

$l_2$  — перебеж инструмента, мм;

$l_1$  — недоход инструмента, мм;

$r$  — схема обработки;

$\Omega$  — множество частот вращения шпинделя станка;



$\pi$  — множество подач станка.

Входные данные позволяют определить следующие параметры (выходные данные):

$S$  — подача, мм/об;

$n$  — частота вращения, мин<sup>-1</sup>;

$t_m$  — машинное время, мин;

$t_{m100}$  — табличное машинное время, мин;

СН — информация об охлаждении.

Выходные данные достаточно просто определить или по таблицам, или расчетом по соответствующим зависимостям, или выбором (расчетом) на ЭВМ в соответствии с определенным алгоритмом. Для примера приведем простой вариант алгоритма для выбора параметров резания при сверлении, рассверливании, зенковании и развертывании стальных и чугунных деталей.

Для выбора параметров резания при **расточивании отверстий** дополнительными входными данными являются следующие:

$R_p$  — вид обработки резцом;

$L$  — длина точения, мм;

$t$  — глубина резания, мм;

$\varphi$  — угол резания в плане, ...° (рад);

$r_p$  — тип крепления инструмента (крепление в шпинделе, крепление с опорой, крепление без опоры, крепление с опорой в люнете);

$L_1$  — длина инструмента, мм;

$r_1$  — радиус закругления режущей кромки, мм;

$\gamma$  — передний угол резца, ...° (рад);

$F$  — площадь сечения тела инструмента, мм<sup>2</sup>.

**Последовательность обхода отверстий инструментами. Методы обхода отверстий.** Проектирование операций обработки отверстий на станках с ЧПУ сверлильно-расточной группы завершается назначением последовательности обхода отверстий инструментами. Последовательность обхода зависит от того, как строятся операции (переходы): последовательно или параллельно.

При **параллельном методе** каждый инструмент обходит все отверстия, подлежащие обработке этим инструментом, а затем его меняют, и цикл повторяется. **Последовательный метод** отличается тем, что каждое отверстие обрабатывают всеми необходимыми инструментами, а затем после изменения позиции обрабатывают следующее отверстие.

В большинстве случаев выбор метода обработки связан с выполнением условия минимизации времени холостых перемещений. Исключение составляют случаи, когда метод определяется

технологическими условиями обработки. Например, при обработке отверстий 7—9-го квалитетов или отверстий с жесткими допусками на межцентровое расстояние (менее 0,2 мм) целесообразно первые переходы (центрование, сверление, зенкование, зенкерование) выполнять параллельно, а заключительные переходы — последовательно без перемещений детали.

Время холостых перемещений при обработке группы одинаковых отверстий одним комплектом инструментов складывается из времени на смену инструментов  $\tau_{\Sigma}$  и времени на перемещения при позиционировании  $\theta_{\Sigma}$ :

$$T_x = \tau_{\Sigma} + \theta_{\Sigma}.$$

При параллельном методе каждый инструмент меняют один раз, поэтому время, затраченное на смену инструментов, составляет  $T_{\Sigma} = m\tau$ , а время обхода отверстий одним набором инструментов  $\theta_{\Sigma} = m\theta$ , где  $m$  — число инструментов;  $\tau$  — среднее время смены одного инструмента;  $\theta$  — время обхода всех отверстий одним инструментом.

Общее время на холостые перемещения при параллельном методе

$$T_{\text{пар}} = m(\tau + \theta).$$

При последовательном методе каждый инструмент меняют столько раз, сколько отверстий ( $n$ ) в группе, т.е.  $T_{\Sigma} = nmt$ , а время обхода комплектом инструментов всех отверстий будет  $\theta_{\Sigma} = \theta$ , поскольку обход осуществляется один раз.

Общее время на холостые перемещения при последовательном методе

$$T_{\text{пос}} = nmt + \theta.$$

Для выбора метода обработки можно воспользоваться коэффициентом

$$K = T_{\text{пар}}/T_{\text{пос}} = (1+k)/(n+k/m),$$

где  $k = \theta/\tau$ .

Если  $K > 1$ , более предпочтительным является последовательный метод обработки, если  $K < 1$ , бóльшую производительность обеспечивает параллельный метод.

Общее время обхода группы отверстий

$$\theta = nt_{p,\tau} + (\Sigma - \varepsilon_{p,\tau}n)/v_y,$$

где  $n$  — число отверстий в группе;  $t_{p,\tau}$  — суммарное время на разгон и торможение;  $\Sigma$  — длина пути обхода отверстий группы;  $\varepsilon_{p,\tau}$  —

суммарный путь разгона и торможения;  $v_y$  — средняя скорость ускоренного перемещения.

**Методы выбора маршрута инструмента при обходе отверстий в процессе обработки.** Задача заключается в выборе маршрута обхода  $n$  точек, проходящего через каждую точку только один раз. Поскольку этот маршрут определяет время вспомогательных перемещений, он должен иметь минимальную длину.

Задача в такой постановке идентична известной в математике задаче о коммивояжере. При всей простоте постановки этой задачи (перебрать все маршруты и взять из них наименьший) ее решение отличается трудностью вычислительного характера. Поэтому в математике разработан ряд точных методов, позволяющих найти оптимальный маршрут, не прибегая к перебору всех возможных вариантов. Наиболее известны из них методы **целочисленного линейного и динамического программирования, метод ветвей и границ.**

**Методы оптимизации маршрута инструмента.** При выборе метода оптимизации маршрута инструмента необходимо руководствоваться соображениями экономики. Если оптимизация маршрута позволяет сократить время обработки на величину  $T$ , мин, то выигрыш в стоимости за счет оптимизации составляет  $C_o = TNC_{ст}$ , где  $N$  — размер партии деталей, обрабатываемых по данной УП;  $C_{ст}$  — стоимость 1 станко-мин. Расходы на расчет составят  $R = C_{ЭВМ}t_o$ , где  $C_{ЭВМ}$  — стоимость 1 мин времени работы ЭВМ;  $t_o$  — время, необходимое для расчета оптимизированного маршрута, мин.

Для оценки экономичности можно ввести коэффициент

$$\Xi = TNC_{ст}/(C_{ЭВМ}t_o).$$

Если  $\Xi > 1$ , оптимизация целесообразна.

Помимо точных математических методов оптимизации маршрутов широко используют эвристические методы, основанные на догадках и не претендующие на точность решения. Применение эвристических методов приводит к результатам, которые намного лучше произвольного, взятого наугад решения и которые обычно близки к наилучшему варианту, хотя никогда не дают полной уверенности в том, что наилучшее решение достигнуто.

Простейший эвристический алгоритм формулируется так: «идти в ближайшую еще не пройденную точку». Для  $n$  точек этот алгоритм требует порядка  $n^2$  арифметических операций. Усовершенствованием алгоритма является эвристический алгоритм, состоящий в его  $n$ -кратном повторении с выбором каждый раз другой начальной точки. В качестве оптимального принимается луч-

ший из  $n$  вариантов. Число арифметических операций, требуемое для выполнения этого усовершенствованного алгоритма, имеет порядок  $n^3$ . Эти два эвристических алгоритма называются локально-оптимальными и дают удовлетворительные результаты для малого числа точек ( $n \leq 20$ ).

Имеются рандомизированные варианты этих алгоритмов, в которых переход из  $i$ -й точки производится не в ближайшую непройденную точку, а случайную, т. е. в любую непройденную. При этом вероятность перехода взвешена в соответствии с расстоянием: чем ближе точка, тем вероятнее переход в нее.

Второй рандомизированный алгоритм отличается от первого рандомизированного тем, что каждый раз за начало случайным образом выбирается другая точка. Этот алгоритм по сравнению с маршрутом, назначенным человеком, повышает производительность станка на 14... 17 %.

### 5.3. ТОКАРНЫЕ ОПЕРАЦИИ

**Общие сведения.** В связи со спецификой конфигурации обрабатываемых объектов, представляющих собой тела вращения, геометрические расчеты при программировании токарной обработки сводятся к решению задач на плоскости — в осевом сечении. В системе координат детали, в которой выполняются расчеты, осью  $Z$  служит ось вращения детали, а ось  $X$  лежит, как правило, в одной из торцовых плоскостей.

**Элементы контура детали.** Поверхности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, подразделяют на плоскости, перпендикулярные оси вращения, соосные цилиндры, конусы, сферы, торы и поверхности вращения с произвольной криволинейной образующей, а также винтовые поверхности, формирующие резьбу. Образующими этих поверхностей являются прямые, окружности и линии, заданные последовательностью точек. Поэтому контур образующей детали представляет собой последовательность геометрических элементов: отрезков прямых, дуг окружностей и кривых, заданных в табличной форме. С технологической точки зрения эти геометрические элементы и соответствующие им поверхности принято подразделять на основные и дополнительные (рис. 5.4).

К **основным** элементам контура детали относят образующие поверхностей, которые могут быть обработаны резцом для контурной обработки с главным углом в плане  $\varphi = 95^\circ$  и вспомогательным углом в плане  $\varphi_1 = 30^\circ$ . Для наружных и торцовых поверхно-

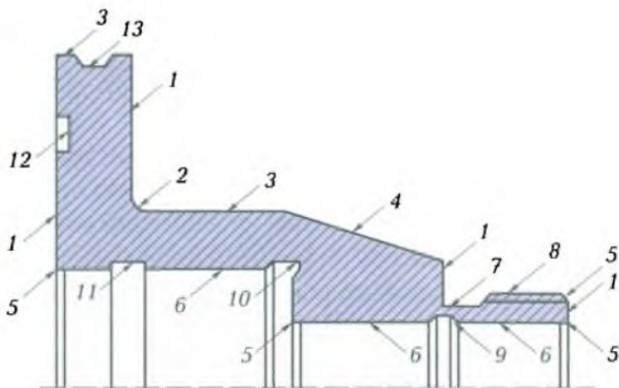


Рис. 5.4. Поверхности, образующие контур детали:

1–6 – основные поверхности (1 – торцовая; 2 – вогнутая; 3 – цилиндрическая наружная; 4 – конусная; 5 – конусная – фаска; 6 – цилиндрическое отверстие); 7–13 – дополнительные поверхности (7 – зарезьбовая канавка; 8 – резьбовая поверхность; 9 – внутренняя трапециевидная канавка; 10 – угловая канавка; 11 – внутренняя прямоугольная канавка; 12 – торцовая канавка; 13 – желоб)

стей такой резец принадлежит к числу проходных, а для внутренних — к числу расточных.

Элементы образующих поверхностей, формообразование которых не может быть выполнено указанным резцом, являются **гополнительными**. К ним относят торцовые и угловые канавки для выхода шлифовального круга, канавки на наружной, внутренней и торцовой поверхностях, резьбовые поверхности, желоба под ремни и т. п.

**Элементы контура заготовки.** В качестве заготовок для деталей, обрабатываемых на токарных станках с ЧПУ средних размеров, в условиях производства малой и средней серийности используют разрезанный прокат. При диаметрах заготовок 50 мм и выше применяют штучные заготовки на одну деталь. Для деталей, максимальный диаметр которых меньше 50 мм, можно использовать одну заготовку на несколько деталей.

Заготовки для деталей, обрабатываемых в центрах, должны быть зацентрированы с двух сторон, а один из торцов подрезан. Допустимые отклонения по длине не должны превышать 0,6 мм.

При использовании в качестве заготовок поковок необходимо предварительно обтачивать поверхности, используемые для закрепления. Термической обработке, если она требуется, заготовки должны подвергаться перед обработкой на токарном станке с ЧПУ.

Контур заготовки чаще всего представляет собой прямоугольник. При использовании литья или штамповки контур заготовки может быть фасонным и состоять, как и контур детали, из отрезков прямых и дуг окружностей.

**Припуски на обработку деталей.** В начале технологического проектирования токарной операции необходимо сравнить требуемые точность обработки отдельных элементов контура детали и шероховатость поверхностей с паспортными данными станка и определить те участки поверхностей детали, которые не могут быть окончательно обработаны на данном станке. Для соответствующих элементов контура назначают промежуточные припуски на последующую обработку и в соответствии с ними строят новые элементы контура детали, заменяющие первоначальные.

Существуют два метода определения припусков на обработку: опытно-статистический и расчетно-аналитический. **Опытно-статистический метод** дает обобщенные рекомендации в виде таблиц. **Расчетно-аналитический метод** позволяет дифференцированно определить припуски на обработку путем анализа производственных погрешностей в конкретных условиях обработки.

После назначения припусков на чистовую обработку основных поверхностей детали общий припуск на обработку, выполняемую на токарном станке с ЧПУ, разбивают на несколько промежуточных. С помощью линий, эквидистантных основным элементам контура детали и отстоящих от каждого из них на расстояние, равное чистовому припуску на соответствующий элемент, строят черновой контур детали (рис. 5.5). Припуск 1, расположенный между контуром заготовки и черновым контуром детали, представляет

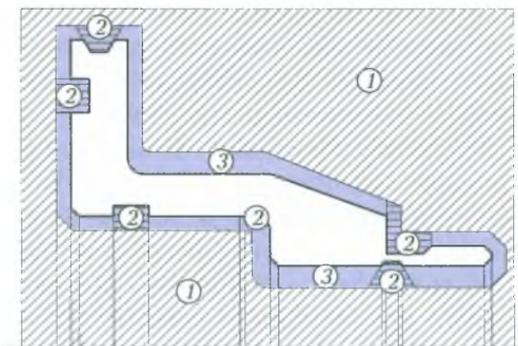


Рис. 5.5. Распределение припуска на токарную обработку в контуре заготовки

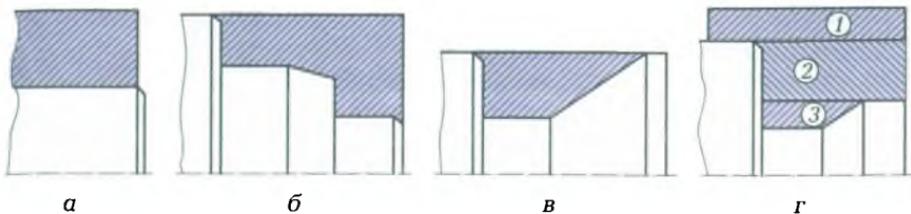


Рис. 5.6. Зоны токарной обработки (а—г)

собой область черновой обработки основных поверхностей. Припуск 2, расположенный между черновым контуром детали и контурами дополнительных поверхностей (канавок, резьбовых поверхностей и т. д.), составляет области обработки этих поверхностей. Наконец, припуск 3, расположенный между черновым контуром детали и ее чистовым контуром, с учетом припусков под последующую обработку образует область чистовой обработки основных поверхностей. В большинстве случаев деталь обрабатывают за два установка. Поэтому припуск на черновую и чистовую обработку основных поверхностей детали разбивают на зоны в соответствии с отдельными переходами.

**Зоны обработки.** Каждая зона токарной обработки на станках с ЧПУ, как правило, соответствует одному технологическому переходу и формируется в зависимости от конфигурации черного или чистового контура детали и технологических возможностей режущего инструмента, выполняющего данный переход. Для резцов эти технологические возможности определяются основным и вспомогательным углами в плане.

В зависимости от конфигурации участка черного или чистового контура детали, формируемого за технологический переход, зоны обработки подразделяют на открытые, полуоткрытые, закрытые и комбинированные (рис. 5.6).

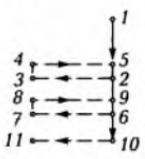
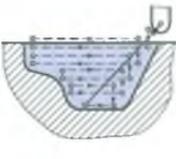
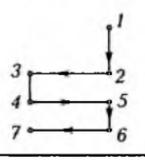
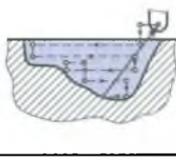
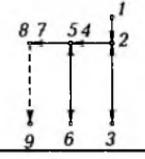
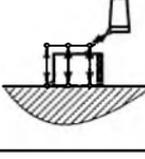
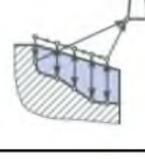
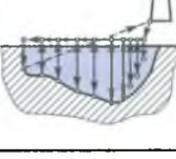
**Открытая зона** (рис. 5.6, а) формируется при снятии припуска с цилиндрической, а в некоторых случаях конической поверхности. При выборе резца для этой зоны не накладывают ограничений на главный и вспомогательный углы в плане.

Наиболее типичной является **полуоткрытая зона** (рис. 5.6, б), конфигурация которой регламентирует главный угол резца в плане.

**Закрытые зоны** (рис. 5.6, в), встречающиеся преимущественно при обработке дополнительных поверхностей, накладывают ограничения как на главный, так и на вспомогательный углы резца в плане.

**Комбинированная зона** (рис. 5.6, г) представляет собой объединение описанных двух или трех зон.

**Таблица 5.3. Типовые схемы переходов при черновой токарной обработке основных поверхностей деталей**

Схема перехода	Типовой переход в разных зонах обработки		
	Открытая зона	Полуоткрытая зона	Закрытая зона
<p>«Петля»</p> 			
<p>«Виток» («зигзаг»)</p> 			
<p>«Спуск»</p> 			

**Разработка черновых переходов при токарной обработке основных поверхностей.** В табл. 5.3 показаны типовые схемы переходов токарной обработки основных поверхностей.

**Схема «петля»** характеризуется тем, что по окончании рабочего хода инструмент отводят на небольшое расстояние (примерно 0,5 мм) от обработанной поверхности и возвращают во время вспомогательного хода назад. Эту схему наиболее часто применяют при обработке открытых и полуоткрытых зон. Разновидность этой схемы может быть использована также при обработке деталей типа ступенчатых валов методом «от упора».

**Схема «виток» («зигзаг»)** предусматривает работу инструмента на прямой и обратной подаче и может быть реализована в зонах обработки всех видов.

**Схема «спуск»** характерна тем, что припуск снимается при радиальном перемещении резца. Наиболее часто эту схему используют при черновых переходах для закрытых зон.

Особое внимание следует уделять выбору схем для полуоткрытых зон, так как они наиболее часто встречаются при токарной обработке. Помимо простейших схем, приведенных в табл. 5.3, в этих зонах находят применение и более сложные.

**Черновая схема с подборкой** (рис. 5.7, а) отличается тем, что после прямолинейного рабочего хода инструмент, согласно УП, движется вдоль чернового контура детали (вплоть до уровня предыдущего прохода), срезая при этом оставшийся материал. В результате для последующей обработки остается равномерный припуск по всему контуру. Для увеличения стойкости инструмента при использовании этой схемы назначают две рабочие подачи: основную, действующую в течение прямолинейного прохода; подачу подборки, действующую при движении вдоль контура детали, когда срезаются гребешки.

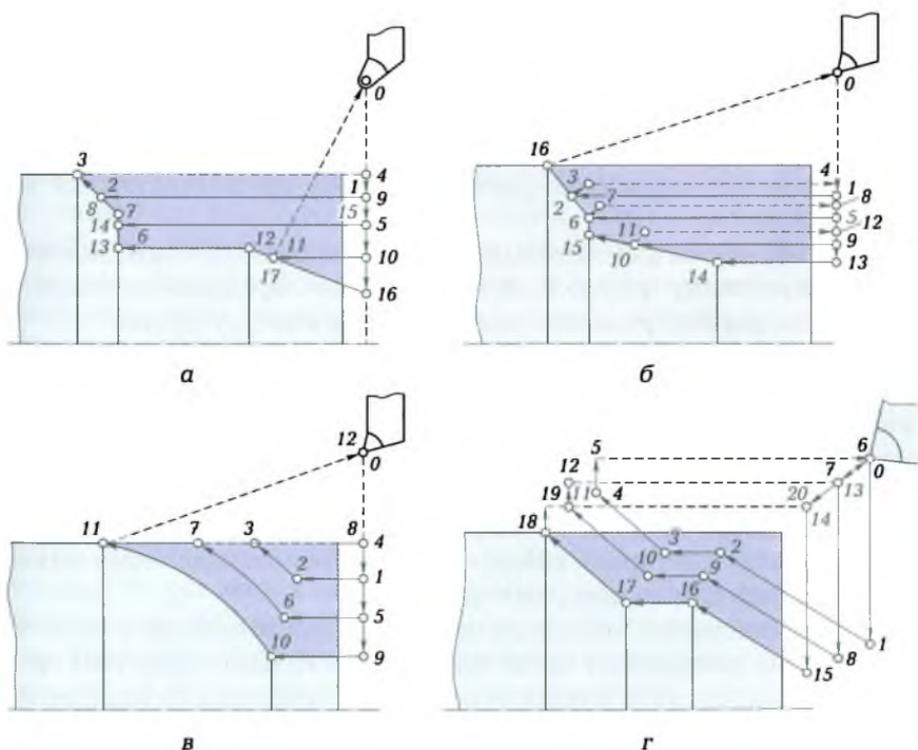


Рис. 5.7. Типовые схемы переходов при черновой токарной обработке для удаления припуска из полуоткрытых зон (цифрами обозначена последовательность обработки) [а—г]

Черновую схему с подборкой можно применять в качестве окончательной и в сочетании с последующей чистовой обработкой, она позволяет получить поверхности с параметром шероховатости вплоть до  $Rz$  40 мкм. В данной схеме в точках конца хода инструмента на контуре детали могут оставаться риски, их можно уменьшить, если вводить в конце каждого хода перебеги инструмента вдоль контура детали, равный половине радиуса инструмента при вершине.

Другой схемой выполнения черновых переходов для полуоткрытых зон является **черновая схема с получистовым (зачистным) проходом** (рис. 5.7, б). В отличие от предыдущей схемы здесь после каждого хода инструмента не производится подборки материала, остающегося на контуре. Однако после выполнения последнего (или предпоследнего) черного хода инструмента задают движение вдоль контура детали, осуществляя получистовой ход, при котором на контуре срезаются все гребешки и остатки металла. Получистовой ход дает переменную глубину резания, в связи с чем его целесообразно выполнять на подаче, отличной от той, которая использовалась при черновых ходах. Преимущество этой схемы перед черновой с подборкой в том, что она позволяет в ряде случаев обойтись без дальнейших чистовых переходов при обработке детали, так как на поверхностях не остается рисок.

При обработке фасонных деталей можно использовать **эквилистантную схему** (рис. 5.7, в). Название ее определяется тем, что рабочие ходы инструмента эквидистантны контуру детали.

Последняя схема черновой обработки основных поверхностей детали — **контурная схема** (рис. 5.7, г) — формируется путем повторения рабочих ходов инструмента вдоль контура обрабатываемой детали. Каждый такой ход совместно с вспомогательным образует траекторию в виде замкнутого цикла, начальная точка которого смещается вдоль некоторой прямой, приближаясь к контуру заготовки. Контурная схема соответствует стандартному циклу и достаточно просто программируется.

При выполнении черновых переходов для открытых и полуоткрытых зон инструмент после завершения каждого рабочего прохода выводят из зоны и подают на глубину следующего хода (вспомогательный ход).

В случае закрытой зоны инструмент не может быть выведен из нее в процессе обработки, поэтому при использовании для таких зон схем черновой обработки с подборкой и с получистовым проходом их нужно несколько видоизменить: после завершения каж-

дого рабочего хода инструмент возвращается (вспомогательный ход) к начальной точке этого хода и врезается на глубину следующего хода, двигаясь на подаче врезания вдоль контура обрабатываемой зоны.

Оценка основных схем черновых переходов по производительности позволяет сделать следующие выводы:

- наибольшую производительность обеспечивает схема «петля» в связи с отсутствием зачистных рабочих ходов. Однако в подавляющем большинстве случаев она может обеспечить равномерный припуск на чистовую обработку только для открытых зон;
- черновая схема с подборкой проигрывает по производительности черновой схеме с получистовым (зачистным) проходом из-за большей длины вспомогательных ходов;
- для открытых зон наибольшую производительность обеспечивает схема «петля», а для полуоткрытых и закрытых зон — черновая схема с зачистным проходом.

Комбинированные зоны целесообразно разбивать на несколько участков (см. рис. 5.6, г, участки 1—3). Если комбинированная зона состоит из открытого и полуоткрытого участков (зон), открытый следует обрабатывать по схеме «петля», а полуоткрытый — по черновой схеме с зачистным проходом. При наличии в составе комбинированной зоны всех трех участков первые два целесообразно объединять и обрабатывать по схеме «петля», а участок закрытого типа обрабатывать по схеме с зачистным проходом, продлив этот проход для зачистки чернового контура, входящего в первые два участка.

**Определение зон при разработке токарных переходов.** Область черновой обработки основных поверхностей разбивают на зоны. Существует несколько схем разделения припуска на зоны. На рис. 5.8, а показана схема, где зоны расположены между базовыми торцовыми сечениями 1—5. Припуск снимают последовательно по основным обрабатываемым поверхностям. Очевидно, такая схема разделения на зоны не является рациональной, так как проигрывает по производительности схемам, приведенным на рис. 5.8, б, в. Это происходит из-за увеличения длины вспомогательных ходов, которые должны выполняться на всех торцах кроме последнего.

Отсюда следует, что при работе на токарных станках при построении зон черновой обработки основных поверхностей нужно стремиться включать в зону максимальное число таких поверхно-

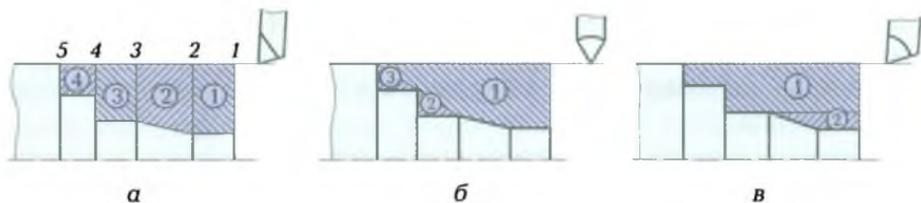


Рис. 5.8. Схема разделения припуска на зоны (номера зон указаны в кружках) [а—в]

стей, обработка которых на данном установе возможна с применением выбранного инструмента.

**Схемы удаления припуска при черновой обработке.** Разделение обрабатываемого участка на переходы и выбор траектории инструмента в САПР ТП осуществляется с помощью ЭВМ. Анализ реализованных в системах алгоритмов решения геометрических задач позволяет установить определенные формализованные правила построения траекторий инструмента при токарной обработке. Рассмотрим это на примере.

При обработке ступенчатого вала (рис. 5.9, а), определенного размерами в системе координат детали  $ZWX$ , можно выделить границу черновой зоны обработки. Эта граница определяется черновым контуром детали (рис. 5.9, б), образованным с учетом припусков на цилиндрические и торцовые поверхности, и контуром заготовки. Поэтому можно выделить опорные точки черногового контура детали, определив их соответствующими координатами  $X$  и  $Z$ , а также крайнюю точку заготовки, определенную размером  $l_3 = ZW0$  и диаметром  $d_{\text{заг}}$ . Полагаем, что в рассматриваемом случае вал изготавливают из предварительно заторцованной цилиндрической заготовки. Таким образом, припуск черновой зоны может быть четко определен схемой на рис. 5.9, б и разделен на области (с размерами  $ZW3$ ,  $ZW2$  и  $XW1$ ,  $XW2$ ,  $XW3$ ) над каждой цилиндрической поверхностью в соответствии с вертикалями, проходящими через опорные точки 1—3 (рис. 5.9, в). При этом относительно наружной поверхности заготовки можно определить припуски  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  в каждой области.

Для определения числа проходов черновую зону разбивают горизонтальными прямыми уровнями в такой последовательности:

- вычисляют припуски на черновую обработку для каждой цилиндрической поверхности ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  на рис. 5.9, в):  
 $t_1 = XW0 - XW1$ ;  $t_2 = XW0 - XW2$ ;  $t_3 = XW0 - XW3$ ;

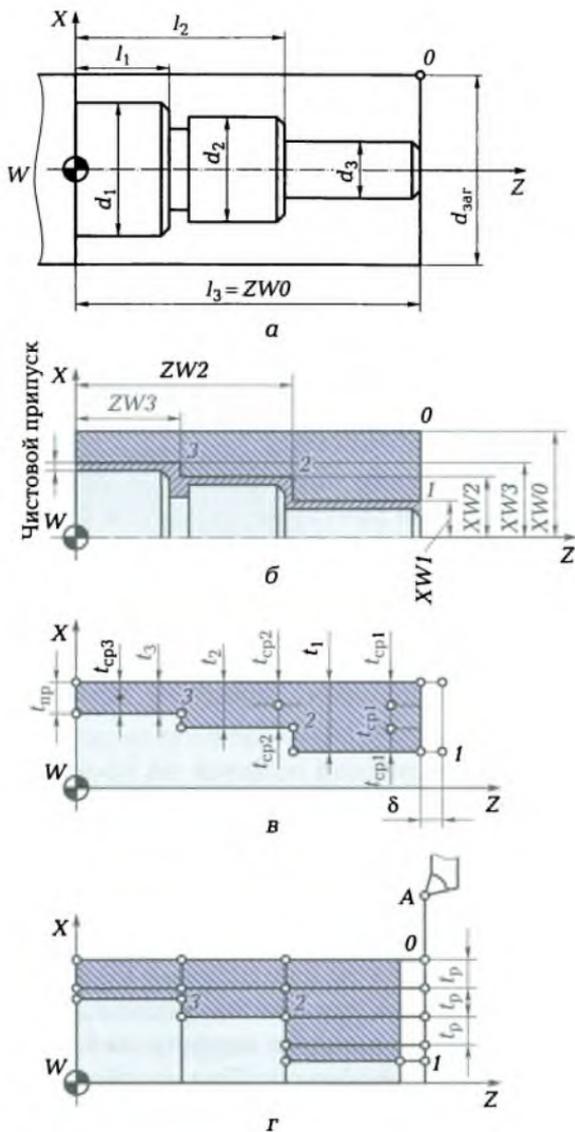


Рис. 5.9. Формирование черновой зоны обработки и разделения припуска на уровни для ступенчатых валов (а—г)

- определяют наименьшее число черновых проходов по каждой цилиндрической поверхности. Для этого делят вычисленные припуски  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  на предельную глубину резания  $t_{\text{пр}}$  и округляют полученное число до бóльшего

целого. Величина  $t_{np}$  зависит от прочности инструмента, мощности привода подачи станка, максимального крутящего момента, задаваемой стойкости и других факторов при назначении режимов обработки. Для рассматриваемого примера примем, что величина  $t_{np}$  больше  $t_3$ , но меньше  $t_2$  и  $t_1$ ;

- вычисляют глубину резания при черновых проходах в предположении, что припуск над каждой цилиндрической поверхностью разбит равномерно на определенное в предыдущем пункте число проходов. Для рассматриваемого примера в области первого цилиндра такой глубиной будет величина  $t_{cp1}$ , в области второго цилиндра —  $t_{cp2}$ , третьего цилиндра —  $t_{cp3}$ ;
- наибольшая среди определенных в предыдущем пункте глубин резания принимается единой ( $t_p$ ) для всей черновой зоны. Примем, что для рассматриваемого примера такой глубиной будет  $t_{cp2}$ , т. е.  $t_p = t_{cp2}$ ;
- по принятой величине  $t_p$  последовательным вычитанием из размера заготовки  $XW0$  определяют горизонтали сверху вниз по всему припуску черновой зоны (рис. 5.9, г).

Величина  $t_p$  делит черновой припуск на проходы более равномерно, чем  $t_{np}$ . Полученные горизонтали и вертикали определяют элементарные участки обрабатываемой заготовки (рис. 5.10, а), удалять которые при точении можно разными способами. Естественно, что при составлении траектории должна быть задана величина  $\delta$  — недоход инструмента до заготовки (см. рис. 5.9, в).

Принимая во внимание рассмотренные схемы распределения припуска, можно выделить три основные схемы его удаления.

В схеме обработки **по циклам вертикалей** припуск удаляют последовательно в каждой области. При такой схеме сначала удаляют припуск  $t_1$ , потом  $t_2$ , потом  $t_3$ , и траектория резца проходит по следующим точкам: А, 4, 5 (см. рис. 5.10, а), отход по 0,5 мм в точку 6 и на ускоренном ходу в точки 7, 8, 2, 9—16, 5. Далее резец движется по точкам 5, 18, 19, 23 (2), 20, 21, 22, 17, 3, 24, 25 и А (рис. 5.10, б).

В схеме обработки **по циклам уровней** припуск снимают последовательно вниз при продольных перемещениях резца в пределах уровня во всех областях (рис. 5.11). Там верхний слой будут удалять при движениях резца через точки А, 4, 5, отход на 0,5 мм в точку 6, ускоренный возврат в точку 7, радиальное смещение (на

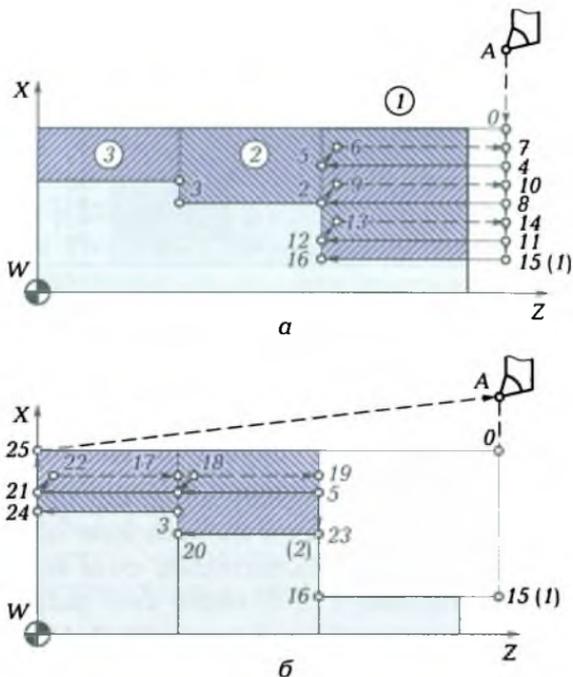


Рис. 5.10. Схема удаления припуска по циклам вертикалей (а, б)

$t_p + 0,5$  мм) в точку 8. Далее на рабочей подаче происходит удаление следующего слоя припуска при траектории движения резца через точки 9, 3, 10. Потом (после возврата резца на исходную вертикаль) срезают припуск при рабочих ходах резца из точки 11 в точку 12 и из точки 1 в точку 13. Ходом 13—2 подчищают торец и резец возвращается в точку А.

Схема обработки **по циклам горизонталей черного контура** (рис. 5.12, а) отличается от предыдущего варианта тем, что сначала инструмент удаляет припуск  $t_p$  продольным ходом по всем зонам (траектория А—4—5). Далее такой же припуск удаляется в первой зоне за два хода (траектории 4—6—2 и 6—7—8), а затем следует окончательный проход, формирующий черновой контур заготовки, — движение резца от точки 1 через точки 9, 2, 10, 3, 11.

Сравнивая данную схему и типовую — черновую с полужестким (зачистным) проходом (см. рис. 5.7, б), можно установить их определенное сходство, поскольку задача состоит в удалении слоев припуска за несколько ходов инструмента по всем областям, оставляя в каждой области припуск, меньший предельного; затем

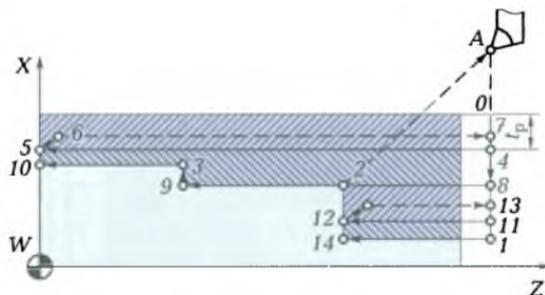


Рис. 5.11. Схема удаления припуска по циклам уровней

необходимо выполнить зачистной ход по всему черновому контуру, сформировав его.

Еще один вариант удаления припуска по циклам горизонталей показан на рис. 5.12, б. Припуск  $t$  в третьей зоне меньше предельного  $t_p$ . Сначала удаляют последовательно слои металла, обозначенные в кружках цифрами 1, 2, 3, после чего выполняют ход по черновому контуру от точки 1 через точки 10, 2, 11, 3, 12.

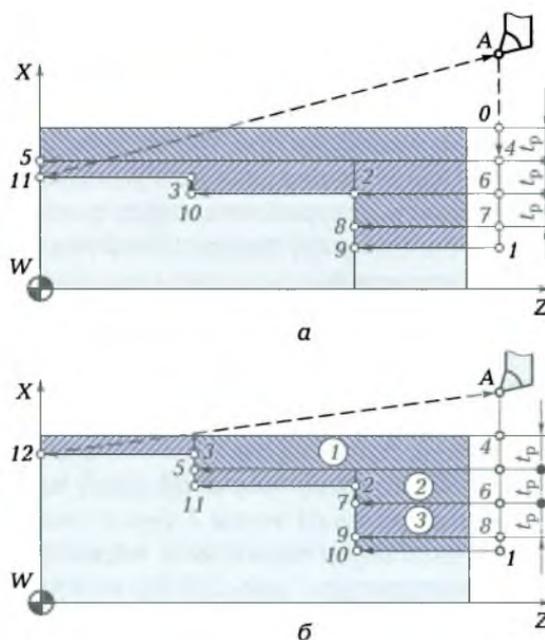


Рис. 5.12. Схемы удаления припуска по циклам горизонталей (а, б)

Анализ рассмотренных схем удаления припуска при черновой обработке показывает примерно одинаковую эффективность второй и третьей схем, однако предпочтение следует отдавать третьей схеме.

Рассмотренные схемы удаления припуска при обработке ступенчатых валов могут быть распространены на любые ступенчатые заготовки. Несложно представить зону черновой обработки ступенчатой заготовки отдельными участками, каждый из которых ограничен контуром одной ступени. На рис. 5.13, а показано разделение обрабатываемой части ступенчатой заготовки на участки I и II, на рис. 5.13, б — деление этих участков на уровни ( $t_p$ ) с выделением опорных точек, на рис. 5.13, в — последовательность удаления припуска (цифры 1—6, заключенные в кружки) по отдельным элементарным участкам при рабочих ходах инструмента через точки А, 3, 5, 12, 1, 4, 2, 6, 7, 8, 9, 6, 10, 3, 11, А.

Следует отметить общность обработки ступенчатых деталей различных классов: валков, втулок, дисков, крышек, черновой

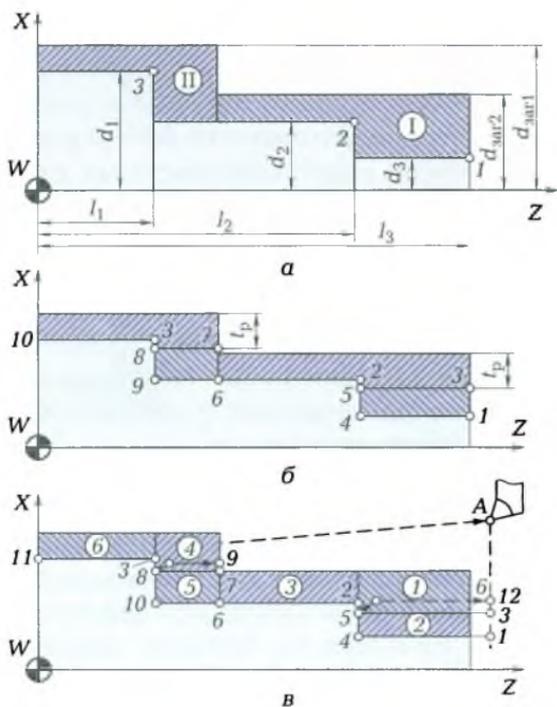


Рис. 5.13. Зона черновой обработки ступенчатой заготовки (а—в)

припуск у которых может быть сформирован и обработан по рассмотренным для вала схемам.

**Типовые схемы переходов при токарной обработке дополнительных поверхностей.** Типовые схемы обработки некоторых дополнительных элементов контура детали (канавок, проточек, желобов) показаны в табл. 5.4.

По **схеме 1** следует обрабатывать наружные угловые канавки для выхода шлифовального круга. Число проходов зависит от соотношения размеров резца и канавки. Рекомендуется подбирать инструмент таким образом, чтобы обработку завершить за один или за три хода.

**Схема 2** — рекомендуемая схема выполнения перехода при обработке наружных проточек для выхода резьбообразующего инструмента. Ширину режущей части прорезного резца целесообразно выбирать таким образом, чтобы обработку завершить за два или три хода.

**Схема 3** — наиболее рациональная схема обработки канавок для пружинных, пружинных упорных, уплотнительных и поршневых колец. Ширину рабочей части резца следует стремиться выбирать такой, чтобы обработку канавки выполнить за три хода.

По **схеме 4** целесообразно обрабатывать канавки шкивов, канавки для сальниковых войлочных колец, а также торцовые канавки.

Прямые канавки обрабатывают прорезным резцом по типовой **схеме 5**. При параметре шероховатости поверхностей канавки  $Rz$  40 мкм и более обработка ведется без чистовых ходов, обозначенных на рисунке под номерами  $n + 1$  и  $n + 2$ . Общее число ходов  $n = (b - B)/(B - 1)$ , где  $b$  — ширина канавки;  $B$  — ширина рабочей части резца. В этой формуле знаменатель уменьшен на 1 мм для обеспечения необходимых перекрытий между соседними ходами.

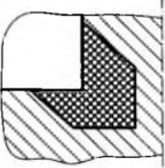
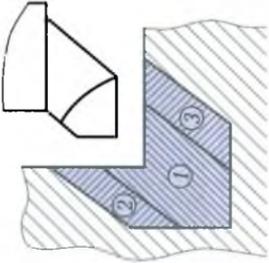
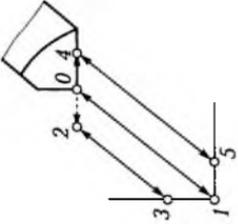
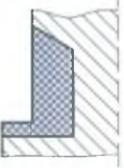
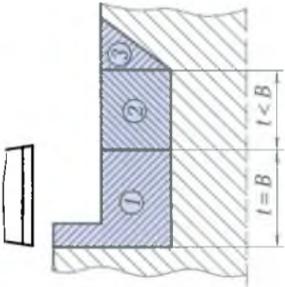
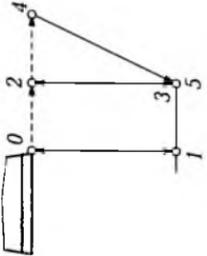
При параметрах шероховатости торцов канавки  $Rz$  от 20 до 10 мкм и  $Ra$  от 2,5 до 1,25 мкм вводят чистовые ходы обработки этих торцов. Под эти ходы оставляют припуск по 0,5 мм на сторону, вследствие чего общее число ходов

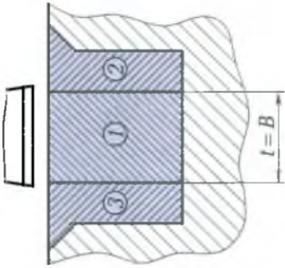
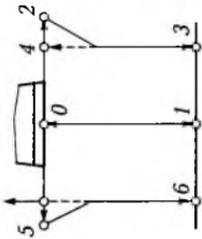
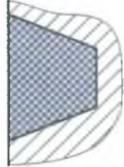
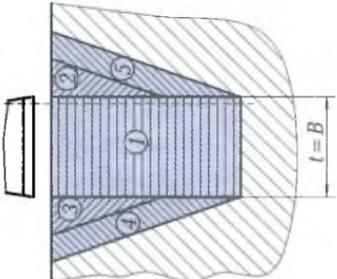
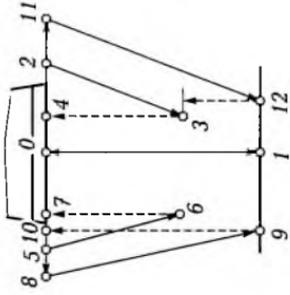
$$n = (b - B - 1)/(B - 1).$$

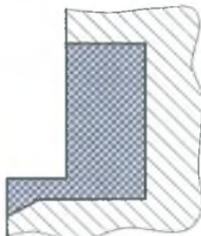
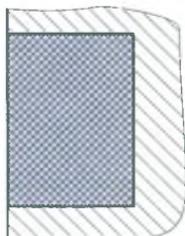
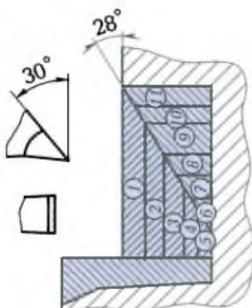
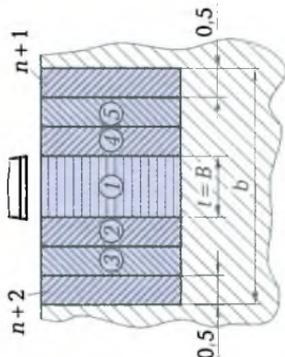
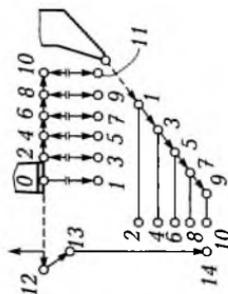
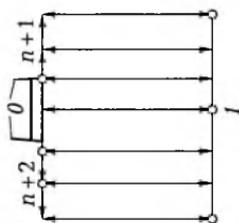
Если названные параметры шероховатости должны быть обеспечены и по дну канавки, вводят дополнительный проход для зачистки дна, под который также оставляют припуск.

Для широких ( $b = 6B$  и более) и глубоких канавок рекомендуется применять комбинированную схему, в соответствии с которой обработка выполняется за два перехода — контурным и канавочным резцами.

Таблица 5.4. Типовые схемы обработки канавок, проточек, желобов

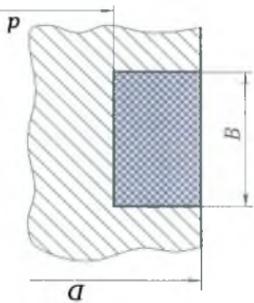
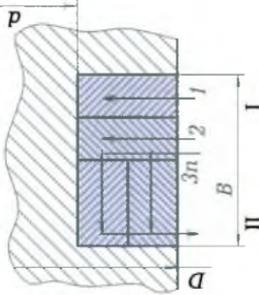
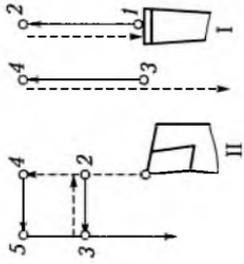
Номер схемы	Элемент контура	Разбивка припуска	Траектория инструмента
1			
2			

Номер схемы	Элемент контура	Разбивка припуска	Траектория инструмента
3			
4			



5

6

Номер схемы	Элемент контура	Разбивка припуска	Траектория инструмента
7			

Примечание.  $B$  — ширина рабочей части резца;  $t$  — глубина резания; цифры в кружках — последовательность рабочих ходов.

Зона перехода, выполняемого контурным резцом с главным углом в плане  $95^\circ$  и вспомогательным  $30^\circ$ , формируется с помощью прямой с углом наклона  $\alpha = 28^\circ$  (*схема 6*). Обработка этой зоны ведется по схеме черновой строки закрытого типа. Торцы всегда подрезают прорезным резцом после завершения обработки контурным резцом. Чистовые ходы по торцам и дну канавки назначаются, как и в предыдущем случае.

Широкие канавки можно обрабатывать также прорезным I и упорно-проходным II резцами (*схема 7*). Сначала прорезным резцом выполняют канавку за несколько рабочих ходов, потом удаляют припуск упорно-проходным резцом.

**Типовые схемы нарезания резьбы.** На токарных станках с ЧПУ резьбу нарезают чаще всего с помощью резцов. Существуют две основные схемы формообразования резьбы резцами: с применением радиального и бокового врезания.

При **радиальном врезании** инструмент работает в условиях несвободного резания. Стружка формируется одновременно двумя кромками резца, процесс ее образования усложняется, она завивается в спираль, и отвод ее от резца затруднен, так как слои металла, срезаемые обеими кромками, стремятся загигаться по направлению друг от друга. Поэтому такую схему применяют или при нарезании мелкой резьбы с шагом до 2 мм включительно, или для чистовой обработки профиля резьбы.

Для черновых ходов при нарезании резьбы с шагом более 2 мм используют **боковое врезание**, при котором стружка образуется только одной режущей кромкой резца, что улучшает ее отвод.

Распространено многопроходное нарезание резьбы с большим числом не только черновых, но и чистовых ходов. В табл. 5.5 приведены рекомендации по числу ходов при нарезании метрической треугольной резьбы.

На токарных станках с ЧПУ можно нарезать как цилиндрическую и коническую резьбу, так и резьбу, расположенную на торцах, перпендикулярных оси вращения.

**Назначение инструмента для токарной обработки.** Режущий инструмент, применяемый на станках с ЧПУ (рис. 5.14), можно подразделить на две большие группы.

В первую группу входят инструменты с осью вращения. Общим для них является то, что скорость резания определяется частотой вращения главного привода станка и диаметром инструмента. К первой группе относятся стержневой инструмент для обработки отверстий (сверла, зенкеры, развертки, метчики и т.д.) и фрезы.

**Таблица 5.5. Число ходов при нарезании метрической треугольной резьбы резцом**

Шаг резьбы, мм	Число ходов		
	при боковом врезании	при радиальном врезании	
		черновых	чистовых
0,75	—	3	3
1,00	—	3	3
1,25	—	4	3
1,50	—	4	3
1,75	—	5	3
2,00	—	5	3
2,50	6	—	3
3,00	6	—	3
3,50	7	—	4
4,00	7	—	4
4,50	7	—	4
5,00	8	—	4
5,50	8	—	4
6,00	9	—	4

Примечание. Обрабатываемый материал — сталь, чугун, бронза, латунь.

Ко второй группе относятся резцы для точения наружных и внутренних поверхностей вращения, а также для подрезания торцов.

В зависимости от направления подачи **проходные резцы**, используемые при реализации схемы обработки, подразделяют на правые и левые.

Для обработки наружных цилиндрических, конических и торцовых поверхностей используют в большинстве случаев проходные резцы трех типов: черновые с главным углом в плане  $\varphi = 95^\circ$  и вспомогательным углом в плане  $\varphi_1 = 5^\circ$ , чистовые (контурные) с углами  $\varphi = 95^\circ$  и  $\varphi_1 = 30^\circ$  и комбинированные подрезные с углами  $\varphi = 95^\circ$  и  $\varphi_1 = 5^\circ$ .

Для обработки внутренних основных поверхностей применяют **центровочные и спиральные сверла**, а также **расточные резцы**:

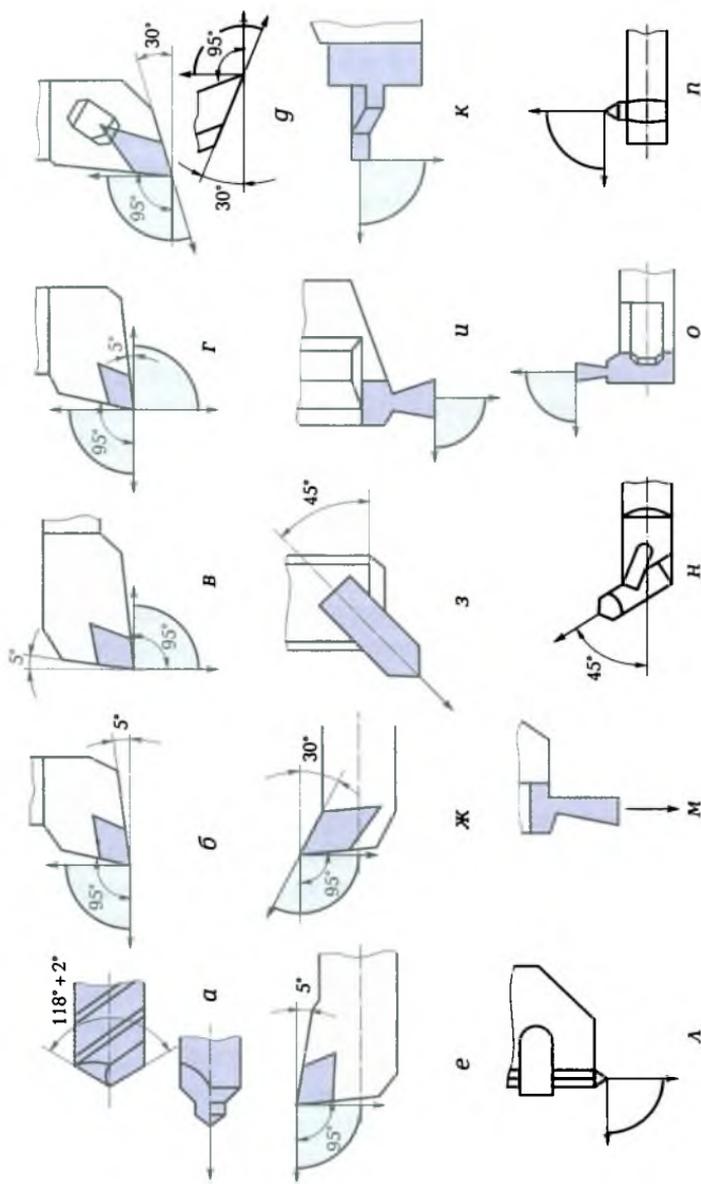


Рис. 5.14. Номенклатура режущего инструмента для токарных станков с ЧПУ с указанием зон направления рабочей подачи:

а — спиральное и центровочное сверла; б — проходной левой резец; в — проходной (подрезной) правый резец; г — проходной (подрезной) левый резец; д — контурные левый и правый резцы; е — расточный проходной резец; ж — расточный контурный резец; з — резец для угловых канавок; и — прорезной резец; к — резец для проточки торцовых канавок; л — резьбовой резец; м — отрезной резец; н — расточный резец для угловых канавок; о — прорезной расточный резец; п — резьбовой расточный резец

черновые ( $\varphi = 95^\circ$ ;  $\varphi_1 = 5 \dots 10^\circ$ ) и чистовые (контурные) ( $\varphi = 95^\circ$ ;  $\varphi_1 = 30^\circ$ ).

Размеры расточного инструмента устанавливают в соответствии с размерами (диаметром и длиной) внутренних поверхностей деталей, обрабатываемых в патроне.

Чтобы выбрать размеры сверл для рассверливания многоступенчатых отверстий, сопоставляют длительность расточных и сверлильных переходов. Обычно для растачивания берут твердосплавные резцы, а для рассверливания — сверла из быстрорежущей стали. В связи с этим при растачивании скорость резания примерно в 2,5—3 раза выше, чем при сверлении, а подача составляет примерно 0,6...1 от подачи при сверлении. Два прохода расточным резцом выполняются быстрее, чем один проход сверлом.

**Зенкеры** обычно не включают в номенклатуру инструментов, используемых на токарных станках с ЧПУ. Это связано с тем, что при обработке отверстий на этих станках в большинстве случаев производительнее снять припуск расточными резцами, так как при этом формируется более качественная поверхность. Аналогично обстоит дело с использованием **разверток**. Токарные станки с ЧПУ позволяют с помощью расточных резцов получать отверстия, по точности и качеству поверхности не уступающие отверстиям, обработанным с помощью разверток. Поэтому развертки также нецелесообразно включать в основную номенклатуру инструмента для этих станков, они могут быть рентабельными лишь при обработке больших партий деталей или отверстий малого диаметра.

Несмотря на большое разнообразие форм дополнительных поверхностей, число типоразмеров применяемого для их обработки режущего инструмента резко сокращается за счет использования описанных типовых схем выполнения переходов. Для обработки дополнительных поверхностей применяют **прорезные резцы** (наружные, внутренние и торцовые), **внутренние и наружные резцы для угловых канавок**, а также **резьбовые наружные и внутренние резцы для метрической и дюймовой резьбы**.

**Выбор параметров режима резания при токарной обработке.** Работа станка с ЧПУ не может быть успешной, если имеются ошибки в выборе параметров режимов резания. Несмотря на кажущуюся простоту вопроса, он до сих пор не нашел полного решения. При обработке деталей на станках с ЧПУ в основном сохраняется методика, разработанная для обычных станков, но вместе с тем существуют некоторые особенности.

Общая последовательность выбора параметров режима резания при токарной обработке:

- глубина резания;
- подача;
- скорость резания.

**Глубина резания.** В каждом случае выбирают максимально возможную глубину резания, которая ограничена припуском на обработку и возможностями станка. Если для обработки какой-либо поверхности предусмотрено два или три прохода (например, черновой, получистовой и чистовой), общий припуск делят соответственно на две или три части, каждую из которых стремятся снять за один рабочий ход. От глубины резания зависят ширина среза и длина рабочей части режущей кромки.

Чистовой припуск зависит от ряда факторов, основными из которых являются требуемые точность и шероховатость детали, необходимость в последующей обработке, характер предыдущей обработки и т. д.

Глубину резания при черновом проходе в первом приближении задают в зависимости от жесткости инструмента, прочности и размеров пластины твердого сплава. Максимально допустимую глубину резания при черновых проходах и среднюю рекомендуемую обычно указывают в картах соответствующего инструмента или в нормативах. При оптимизации параметров резания первоначально назначенную глубину резания обычно корректируют в соответствии с назначаемой подачей и скоростью резания.

**Подача.** Подачу назначают максимально допустимой по условиям технических ограничений.

Такими ограничениями для подачи **при черновой обработке** являются жесткость обрабатываемой детали, жесткость резца, прочность державки резца, прочность режущих пластин резца, прочность механизма подач станка, наибольший крутящий момент, мощности главного привода и привода подач, предельные минутные подачи на станке. Подачи при черновом точении обычно приводятся в соответствующих таблицах и корректируются различными коэффициентами в зависимости от условий обработки. На станках с ЧПУ подачу при первом черновом проходе заготовок, имеющих биение по торцу, наружному диаметру или отверстию, на участке входа резца обычно снижают на 20...30 %, чтобы предотвратить сколы режущих кромок.

Подачу  $S_j$  **при однопроходном чистовом точении** назначают с учетом требований к шероховатости и точности соответствующих

поверхностей в зависимости от требуемой точности детали и погрешности заготовки:

$$S_j = \left( \frac{2,5}{C_p} \right)^{4/3} \left( \frac{\Delta_{\text{дет}}}{\Delta_{\text{заг}}} \right)^{4/3} J^{4/3},$$

где  $C_p$  — коэффициент, зависящий от рода обрабатываемого материала;  $\Delta_{\text{дет}}$  — допустимая погрешность детали, мм;  $\Delta_{\text{заг}}$  — погрешность заготовки, мм;  $J$  — жесткость технологической системы, Н/м.

Подачу  $S_{Rz}$ , мм/об, обеспечивающую требуемую шероховатость, находят по формуле

$$S_{Rz} = \frac{C_n R z_{\text{max}}^{\alpha} r^u k_{\mu}}{t^x \varphi^z \varphi_1^z} v^n,$$

где  $C_n$  — постоянный коэффициент;  $Rz_{\text{max}}$  — наибольшая высота микронеровностей поверхности, мкм;  $r$  — радиус при вершине резца, мм;  $k_{\mu}$  — поправочный коэффициент;  $t$  — глубина резания, мм;  $\varphi, \varphi_1$  — главный и вспомогательный углы резца в плане, ...°;  $v$  — скорость резания, м/мин;  $\alpha, u, x, z, n$  — показатели степени.

Рассчитанные по приведенным формулам подачи не должны быть меньше наименьшей минутной подачи на станке  $S_{\text{мин min}}$  и наименьшей подачи, обеспечивающей нормальное резание  $S_{\text{рез min}}$ .

**Скорость резания.** При выбранных глубине резания и подаче задают такую скорость резания, которая обеспечивала бы оптимальную стойкость инструмента.

Напомним, что при резании различают изнашивание по задней и передней граням. Наиболее часто за критерий изнашивания принимают ширину ленточки изнашивания  $h_3$  по задней грани. В каждом случае можно установить допустимый износ (величину  $h_3$ ), при достижении которого инструмент подлежит переточке. **Стойкостью инструмента** называется период времени его работы между переточками.

Ориентировочный допустимый износ  $h_3$ : **при черновом точении** — 1,8 мм для неперетачиваемых пластин и 1...1,4 мм для резцов с напаянными пластинами из твердого сплава; **при чистовом точении** — 0,4...0,6 мм для твердосплавных резцов.

При работе на станках с ЧПУ значения допустимого износа могут отличаться от указанных. Это зависит от требований, предъявляемых к заданной точности обработки, циклам принудительной замены инструмента, циклам подналадки инструмента и т. п.

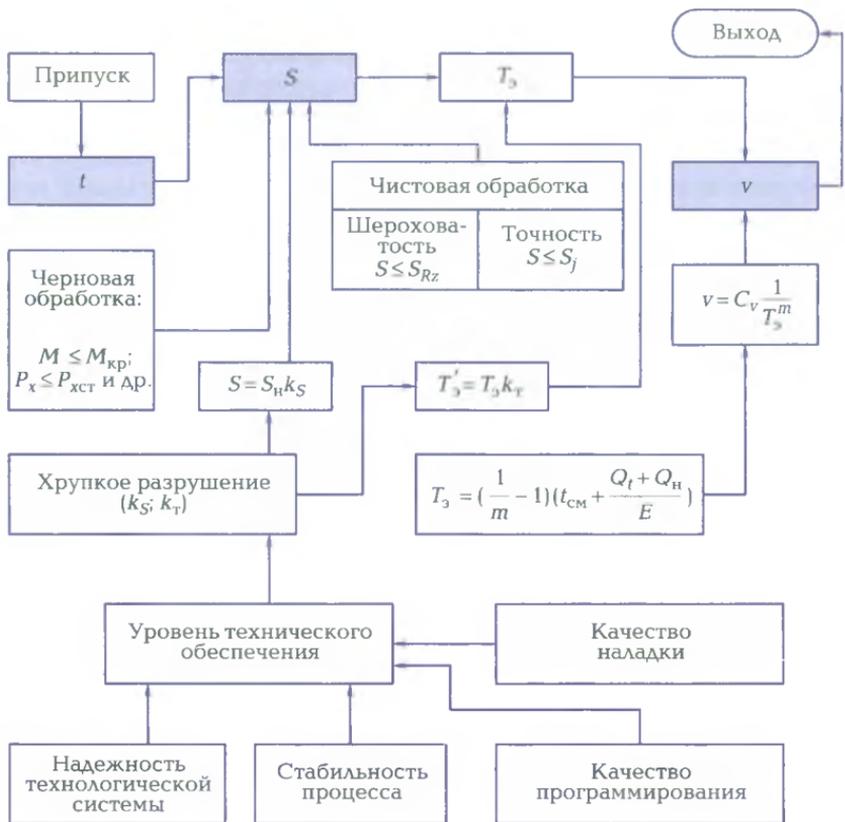


Рис. 5.15. Схема выбора параметров режима резания на станках с ЧПУ

Особое влияние на выбор параметров режима резания на станках с ЧПУ оказывает возможность быстро заменять изношенный инструмент новым с его автоматической подналадкой.

**Особенности выбора параметров режима обработки для станков с ЧПУ.** По сравнению с обычными станками при выборе параметров режима резания для токарных станков с ЧПУ (рис. 5.15) должны быть учтены хрупкое разрушение твердосплавного инструмента, экономическая стойкость инструмента и стабильность режимов резания.

**Учет хрупкого разрушения.** Твердосплавный инструмент выходит из строя из-за изнашивания или хрупкого разрушения. Обычно при выборе параметров режима резания для универсального оборудования с ручным управлением хрупкое разрушение не рассматривают. Имеется в виду, что рабочий непрерывно наблюдает за резанием и при выкрашивании инструмента отводит ре-

зец, чем предотвращает нежелательные последствия хрупкого разрушения. Станок с ЧПУ работает по полуавтоматическому циклу, а зона обработки на токарных станках закрыта кожухом, поэтому выкрашивание резца может вести к браку детали и поломке станка. Практика показывает, что до 30...50 % резцов выходят из строя вследствие хрупкого разрушения. Процесс выкрашивания носит вероятностный характер, точно никогда нельзя сказать, произойдет ли выкрашивание инструмента в той или иной конкретной ситуации, можно только учитывать и предупреждать явления, которые повышают вероятность выкрашивания.

Факторы, связанные с разрушением инструмента, можно подразделить на три группы:

- качество твердосплавного инструмента (марка материала, остаточные напряжения, микротрещины);
- величина и характер нагружения пластины;
- стабильность процесса обработки.

Любые дестабилизирующие факторы повышают вероятность выкрашивания: неравномерный припуск, дефекты поверхности, вибрации технологической системы и т.д. Величина нагружения зависит в основном от подачи, а его характер — от геометрии инструмента. Пластина может работать на изгиб и на сжатие. Нагружение на сжатие менее способствует хрупкому разрушению инструмента.

**Учет экономической стойкости инструмента.** Режимы резания определяют энергетические затраты на обработку. Мощность резания, кВт:

$$N_p = 9,8 \frac{P_z v}{60 \cdot 75 \cdot 1,36},$$

где  $P_z$  — составляющая силы резания, Н;  $v$  — скорость резания, м/мин.

Расчет мощности резания позволяет правильно выбрать мощность главного привода станка и оценить жесткость технологической системы.

Режимы резания определяют также интенсивность изнашивания инструмента и, следовательно, его **стойкость**  $T$ . При наибольшей производительности станка

$$T = (1/m - 1)t_{cm},$$

где  $m$  — показатель относительной стойкости (для твердосплавного инструмента  $m = 0,2$ );  $t_{cm}$  — время работы инструмента до замены.

**Экономическая стойкость** — стойкость, которая для заданных условий обработки обеспечивает наибольшую производительность и минимальную стоимость обработки:

$$T_3 = \left( \frac{1}{m} - 1 \right) \left( t_{\text{см}} + \frac{Q_t + Q_n}{E} \right),$$

где  $T_3$  — экономическая стойкость инструмента, мин;  $Q_t$  — затраты, связанные с работой инструмента в течение одного периода стойкости;  $Q_n$  — затраты, связанные с переточкой инструмента;  $E$  — стоимость 1 станко-мин, включая заработную плату рабочего с начислениями.

На станках с ЧПУ с автоматической заменой инструмента экономическая стойкость инструмента может быть принята равной 15...25 мин, т.е. значительно меньшей, чем на станках с ручным управлением. Это позволяет форсировать режимы и получать на станках с ЧПУ бóльшую производительность обработки. Однако интенсификация режимов повышает вероятность хрупкого разрушения инструмента. Устранение последствий выкрашивания пластин требует значительных затрат времени, а это снижает производительность. Если в данных условиях вероятность выкрашивания инструмента высока, интенсификация режимов резания недопустима и не имеет смысла снижать экономическую стойкость инструмента.

#### **Последовательность выбора параметров режима резания.**

С учетом сказанного можно рекомендовать выбирать параметры режима резания для токарных станков с ЧПУ в такой последовательности (для заданных условий обработки):

- глубина резания;
- подача;
- экономическая стойкость;
- скорость резания (согласно соотношению  $v = C_v / T_3^m$ , где  $C_v$  — коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал, геометрию инструмента и др.).

При этом учитывают уровень технологического обеспечения, под которым понимают создание условий, повышающих надежность технологической системы и стабильность процесса обработки, правильный выбор и повышение качества заготовок, дробление стружки, обеспечение равномерного припуска заготовок, высокое качество и правильный выбор режущего инструмента, рациональное обслуживание станка и т.д.

При выборе подачи кроме обычных поправок вводят поправку на вероятность выкрашивания пластины:

$$S = S_n k_s,$$

где  $S_n$  — номинальная подача;  $k_s$  — коэффициент вероятности в зависимости от уровня технологического обеспечения.

При высоком уровне технологического обеспечения  $k_s = 1,1 \dots 1,4$ , при его снижении ( $k_s \leq 1$ ) снижается подача, а значит, уменьшаются нагрузка на режущую кромку и вероятность выкрашивания.

Экономическую стойкость инструмента  $T'_3$  при работе на станках с ЧПУ можно определить по номинальной экономической стойкости  $T_3$ , установленной для станков с ручным управлением:

$$T'_3 = T_3 k_T,$$

где  $k_T$  — общий коэффициент уровня технологического обеспечения для станков с ЧПУ.

При высоком уровне технологического обеспечения  $k_T = 0,25 \dots 0,3$ , а  $T'_3 = 15 \dots 20$  мин. При недостатках в технологическом обеспечении  $k_T$  возрастает и может быть больше единицы. Это заставляет снизить параметры режимов, но повышает вероятность безотказной работы, т. е. достигается максимальная производительность обработки.

После определения  $T'_3$  выбирают скорость резания, обеспечивающую экономическую стойкость.

## 5.4. ФРЕЗЕРНЫЕ ОПЕРАЦИИ

**Общие сведения. Фрезерование** — наиболее универсальный вид механической обработки, пригодный для обработки практически любых поверхностей. На универсальных фрезерных станках с ЧПУ это обеспечивается возможностью перемещения режущего инструмента одновременно по трем согласованным осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

С точки зрения специфики программирования фрезерные операции принято классифицировать по числу осей станка с ЧПУ, которые одновременно используют для выполнения данной операции. Различают 2—5-; 3-; 4- и 5-координатную обработку.

При так называемой 2—5-координатной, или плоской, обработке одновременно используют не более двух осей. Третья ось служит в основном как установочная для подводов и отводов инструмента. Такое фрезерование применяют для обработки цилиндрических и линейных поверхностей (контуров), произвольные

направляющие и образующие которых или параллельны оси инструмента, или составляют с этой осью постоянный угол в нормальном сечении. В первом случае обработка осуществляется боковой поверхностью цилиндрических фрез, а во втором — конических фрез. Другое назначение 2—5-координатного фрезерования — обработка плоскостей, перпендикулярных оси инструмента.

Фрезерование с использованием одновременно трех осей станка предназначено для объемной обработки любых поверхностей, доступных для подвода инструмента при неизменном направлении его оси в пространстве. Остальные разновидности многокоординатной фрезерной обработки принято относить к специализированным технологическим процессам.

На станках с ЧПУ находят применение классические разновидности фрезерования — цилиндрическое и торцовое: **цилиндрическое** — обработка контуров боковой цилиндрической поверхностью инструмента; **торцовое** — формообразование торцов узких ребер, ширина которых не превышает диаметра фрезы, а также поверхностей с малым припуском.

На станках с ЧПУ применяют и смешанное фрезерование — одновременную обработку детали боковой и торцовой поверхностями концевых фрез.

**Элементы контура детали. Области обработки.** При программировании фрезерных операций, так же, как и при токарной обработке, **элементы контура** обрабатываемых деталей могут быть подразделены на основные и дополнительные. К числу дополнительных в данном случае относят сопрягающие поверхности с постоянным и переменным радиусами сопряжения. При плоской обработке внутренние сопряжения постоянного радиуса формируются за счет соответствующей конфигурации инструмента. Для обеспечения технологичности детали такие сопряжения должны выполняться с одинаковым, типовым для данного контура или детали радиусом  $r_{\min}$ , с выдерживанием определенного соотношения между этим радиусом и типовым входящим радиусом  $R_{\text{тип}}$  на контуре, регламентирующим максимально допустимый диаметр фрезы для чистовых переходов.

При фрезеровании можно выделить определенные **зоны обработки**, которые подразделяют на открытые, полуоткрытые, закрытые и комбинированные (рис. 5.16).

К **открытым** относятся зоны, не налагающие ограничений на перемещения инструмента вдоль его оси или в плоскости, перпендикулярной этой оси.

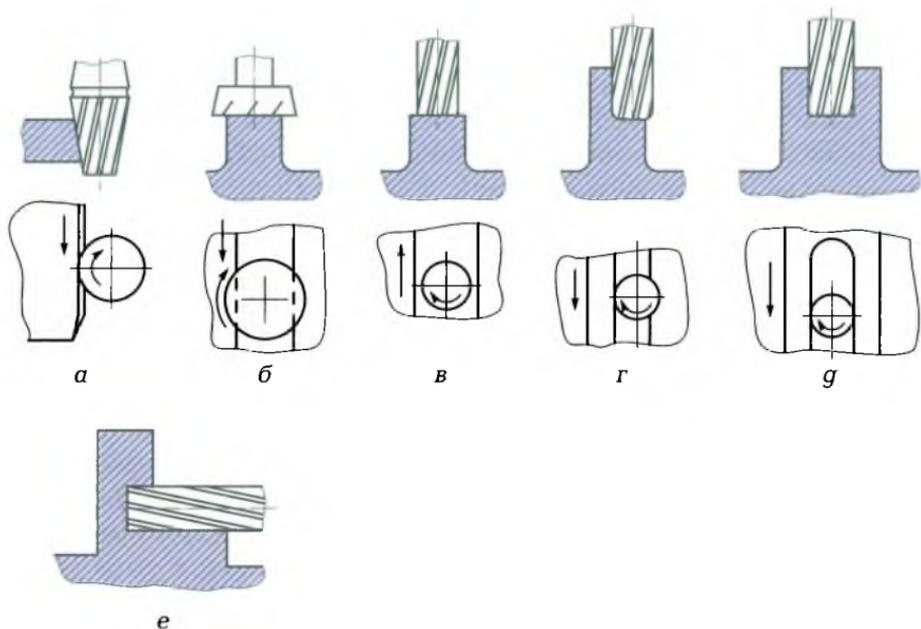


Рис. 5.16. Зоны обработки при фрезеровании:

*а–в* — открытые при обработке цилиндрической, торцевой и концевой фрезами соответственно; *г* — полуоткрытая при обработке концевой фрезой; *д* — закрытая при обработке концевой фрезой; *е* — комбинированная при обработке концевой фрезой

В **полуоткрытых** зонах перемещения инструмента ограничены как вдоль оси, так и в плоскости, ей перпендикулярной.

В **закрытых** зонах перемещение инструмента ограничено по всем направлениям.

**Комбинированные** зоны формируются в результате объединения нескольких областей различных типов.

При программировании фрезерной обработки зон используют типовые схемы технологических переходов, определяющие правила построения траектории инструмента.

**Припуски на обработку деталей.** Фрезерные операции на станках с ЧПУ, как правило, состоят из черновых и чистовых переходов. Для выполнения чистовых переходов должны быть назначены промежуточные припуски и соответствующие им межпереходные размеры. В общем случае припуски при фрезерной обработке могут быть назначены по таблицам или определены расчетным путем.

При назначении припусков на чистовую обработку необходимо учитывать специфику закономерностей резания при фрезеровании. Дело в том, что даже при чистовых режимах контурного фрезерования концевыми фрезами, когда припуск минимальный и подача мала, ошибки, вызываемые деформацией технологической системы, в которой наиболее слабым элементом в большинстве случаев является инструмент, могут превышать допуск на размер. Поэтому при фрезеровании снижение производительности для получения точности не всегда дает желаемый результат.

В отдельных случаях можно значительно уменьшить ошибки от деформации технологической системы за счет надлежащего выбора при программировании размера чистового припуска и схемы фрезерования. Последнее особенно важно, так как процессы резания в схемах фрезерования «против подачи» и «по подаче» существенно различаются. Так, при чистовом фрезеровании по схеме «против подачи» стойкость инструмента и шероховатость поверхности хуже, но одновременно (при работе в зоне контакта не более двух зубьев) деформации фрезы и детали меньше, поэтому припуск может быть назначен в размере до 30 % диаметра фрезы.

**Типовые схемы переходов при фрезерной обработке. Обрабатываемые области.** За типовой базовый элемент при разработке операций фрезерования принимают совокупность обрабатываемых зон — обрабатываемую область. Каждому технологическому переходу соответствует обработка одной или нескольких областей.

Различают одно- и двумерные области.

**Одномерные** (обычно состоящие из открытых зон), в общем случае непрямолинейные области получаются при обработке боковой поверхностью инструмента наружных контуров деталей и контуров окон, а также при обработке торцом фрезы узких ребер.

**Двумерные** одно- и многосвязные области образуются при обработке сложных поверхностей. Эти области могут быть определены любой комбинацией самых различных зон: открытых, закрытых, полуоткрытых.

С учетом специфики геометрических расчетов и технологического проектирования двумерные области подразделяют на два основных класса: области, располагающиеся на плоскостях, перпендикулярных оси инструмента, и области на криволинейных поверхностях и плоскостях, не перпендикулярных оси инструмента.

Для обработки областей первого класса применяют 2—5-координатное фрезерование, в то время как обработка областей вто-

рого класса возможна лишь при использовании 3- или 5-координатного фрезерования. Методы 2—5-координатной обработки более просты в геометрическом и технологическом отношениях.

**Типовые траектории фрезы.** Существуют два основных метода формирования траектории фрезы при фрезерной обработке: зигзагообразный и спиралевидный.

**Зигзагообразный метод** характеризуется тем, что инструмент в процессе обработки совершает движения в противоположных направлениях вдоль параллельных строк с переходом от одной строки к другой вдоль границы области. В настоящее время этот метод распространен, хотя и обладает определенными недостатками, основной из которых заключается в переменном характере фрезерования. Если вдоль одной строки инструмент работает в направлении подачи, вдоль следующей он будет работать в направлении, противоположном подаче. Аналогичная картина наблюдается и при переходе от одной строки к другой вдоль границы. Все это приводит к изменениям сил резания и отрицательно сказывается на точности и качестве поверхности. (Вместе с тем следует отметить, что в тех случаях, когда расстояние между соседними строками, определяющее глубину фрезерования, незначительно отличается от диаметра инструмента, изменение сил резания невелико.) Другой недостаток зигзагообразной схемы — повышенное число изломов на траектории инструмента. Это также отрицательно сказывается на динамике резания и приводит во многих случаях к увеличению времени обработки в связи с необходимостью выполнения операций по разгону-торможению, которые обуславливаются динамикой приводов подачи станка с программным управлением.

Зигзагообразная схема может иметь несколько разновидностей, связанных с порядком обработки границ: без обхода границ (рис. 5.17, а); с проходом вдоль границ в конце обработки области (рис. 5.17, б); с предварительным проходом вдоль границ (рис. 5.17, в).

Предварительная прорезка границ обеспечивает симметрию резания для инструмента в процессе выполнения этого прохода, а также облегчает условия работы инструмента при последующей обработке в начале и в конце каждой строки. Однако при этом ухудшаются прочностные условия, так как инструмент работает на полную глубину на участке траектории прорезки. Последующая зачистка границ облегчает условия работы, но ухудшает динамику обработки, поскольку инструмент работает с переменной глубиной резания. По этой причине при использовании схемы

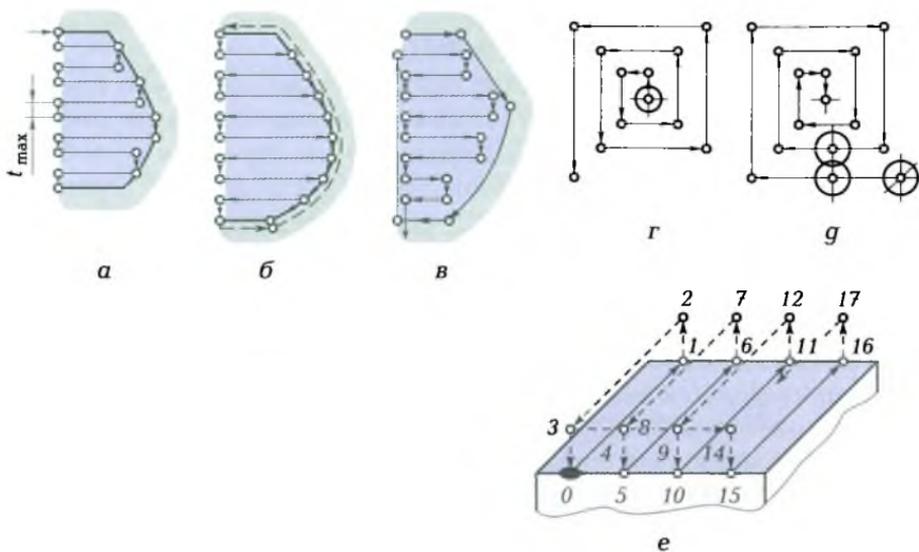


Рис. 5.17. Типовые схемы фрезерных переходов:

а–в – зигзагообразные; г, д – спиралевидные; е – Ш-образного типа; 1–17 – траектория режущего инструмента

«зигзаг» (см. рис. 5.17, б), как правило, вдоль границы следует оставлять припуск на последующую обработку.

**Спиралевидный метод** отличается от зигзагообразного тем, что обработка ведется круговыми движениями инструмента, совершаемыми вдоль внешней границы области на разном расстоянии от нее. Спиралевидная схема выгодно отличается от зигзагообразной более плавным характером обработки, обеспечивает неизменное направление фрезерования (вдоль или против подачи) и не дает дополнительных (кроме имеющихся на контуре) изломов траектории.

Спиралевидная схема имеет две основные разновидности, одна из которых характеризуется движением инструмента от центра области к периферии (рис. 5.17, г), а другая, наоборот, от границы области к ее центру (рис. 5.17, д). При использовании этих разновидностей следует иметь в виду, что при обработке колодцев с тонким дном в деталях из легких сплавов возможен подрыв дна в конце обработки по схеме от периферии к центру.

Для того чтобы обеспечить необходимый характер фрезерования при правом и левом направлениях вращения шпинделя станка, каждая из описанных разновидностей спиралевидной схемы имеет два типа: с движением инструмента в направлении по или

против часовой стрелки при наблюдении со стороны шпинделя (обозначается соответственно ЧС и ПЧС).

Выдержать одинаковый характер фрезерования можно также с помощью схемы **Ш-образного типа**. Согласно этой схеме инструмент после выполнения прохода вдоль строки отводится на небольшое расстояние от обработанной поверхности и на ускоренном ходу возвращается назад. Схема Ш-образного типа (рис. 5.17, е) может иметь такие же разновидности, как и зигзагообразная. Существенный недостаток этой схемы — большое число вспомогательных ходов.

**Способ врезания инструмента в металл.** Важным моментом при программировании фрезерной обработки областей является врезание инструмента в металл.

Наиболее простой способ — врезание с подачей вдоль оси инструмента. Однако этот метод неприемлем для фрез, имеющих технологические центровые отверстия. Для остальных типов фрез он также неэффективен, поскольку фрезы плохо работают на за сверливание. Использовать этот метод наиболее удобно при предварительной обработке места врезания сверлом (рис. 5.18, а).

Наиболее технологичным способом является врезание при движении инструмента вдоль одной из строк с постепенным его снижением («спуск»). Схема «спуск» может также осуществляться при движении инструмента по окружности или вдоль границы обрабатываемой области.

В случае чистовой обработки контуров, как правило, врезание осуществляют по дуге  $O1$  окружности, касательной к контуру в точке, с которой должно быть начато движение инструмента вдоль контура. Такой метод обеспечивает наиболее плавное изменение сил резания и минимальную погрешность обработки в упомяну-

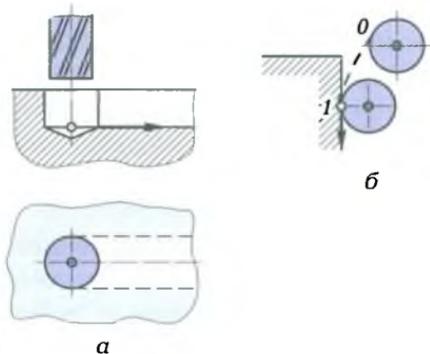


Рис. 5.18. Схемы врезания фрезы в металл (а, б)



Рис. 5.19. Этапы выбора фрез

той точке, он также наиболее удобен с точки зрения ввода в УП коррекции на радиус инструмента (рис. 5.18, б).

**Расстояние между соседними проходами фрезы.** Для построения траектории инструмента при черновых переходах важен вопрос о назначении расстояния между соседними проходами, так как оно определяет глубину резания. Максимально допустимое значение этого расстояния (см. рис. 5.17, а) зависит от геометрических параметров применяемого инструмента:

$$t_{\max} = D - 2r - h,$$

где  $D$  — диаметр фрезы;  $r$  — радиус скругления у торца;  $h$  — перекрытие между проходами, обеспечивающее отсутствие гребешков.

**Выбор инструмента для фрезерной обработки.** Последовательность выбора инструмента для фрезерования показана на рис. 5.19.

**Тип фрезы** выбирают, как правило, в зависимости от схемы обработки. Для обработки плоскостей используют торцовые фрезы, для обработки контуров — концевые. Однако в ряде случаев плоскости также обрабатывают концевыми фрезами, которые наиболее употребительны при фрезерной обработке на станках с ЧПУ.

Основные параметры фрез при выбранном материале режущей части: наружный диаметр фрезы  $D$ , длина рабочей части  $l$ , число зубьев  $z$  и радиус  $r$ .

При **обработке открытых плоских областей конфигурации детали** не накладывают ограничений на выбор диаметра фрезы. С увеличением диаметра фрезы растет производительность обработки. Поскольку стойкость фрез с ростом их диаметра тоже увеличивается, выбор инструмента с большим диаметром обеспечивает не только более производительную, но и более экономичную обработку.

При **торцовой обработке ребер** диаметр фрезы целесообразно назначать из условия  $D = (5 - 10)b + 2r$ , где  $b$  — окончательная толщина стенки ребра;  $r$  — радиус закругления у торца инструмента.

При **обработке контуров**, а также **полуоткрытых, закрытых и комбинированных областей** максимальный диаметр фрезы ограничивается наименьшим радиусом, образующим вогнутость на контуре.

При **чистовой обработке внутренних радиусов сопряжения** на контуре инструментом, радиус которого равен радиусу контура, глубина фрезерования скачкообразно возрастает от значения, равного припуску на чистовую обработку  $\delta_1$  (десятиые или сотые доли диаметра фрезы  $D_{\max}$ ), до значения  $t_{\max}$  (рис. 5.20), сравнимого с  $D_{\max}$ . При этом равнодействующая сил резания резко возрастает по величине и изменяет свое направление, вызывая отжим инструмента при фрезеровании в направлении подачи и его «подхват», приводящий к подрезу контура, при фрезеровании в направлении против подачи. Во избежание этого необходимо стремиться к постоянству числа одновременно работающих зубьев фрезы. Поэтому при чистовой обработке

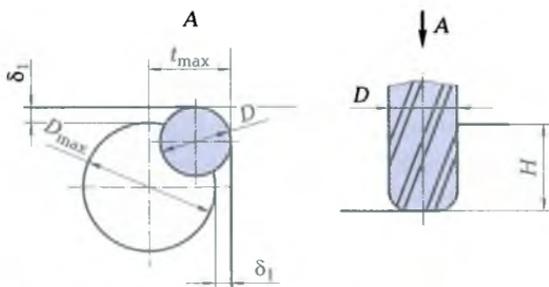


Рис. 5.20. Схема для выбора диаметра фрезы

контура желательно выбирать такой инструмент, чтобы его радиус был меньше, чем минимальный радиус, образующий вогнутость на контуре.

При назначении диаметра инструмента для **черновой обработки внутренних радиусов сопряжения** желательно, чтобы оставляемый во внутренних углах контура припуск не превышал  $(0,15 \dots 0,25)D$ , где  $D$  — диаметр инструмента, применяемого на чистовом переходе.

Для обеспечения жесткости инструмента желательно, чтобы его диаметр удовлетворял условию  $H \leq 2,5D$ , где  $H$  — максимальная высота стенки обрабатываемой детали. Если это условие не выполняется, выбирают фрезу с ближайшим большим типовым диаметром. Иначе обработку производят за несколько переходов.

Длина режущей части инструмента для обработки **полуоткрытых и закрытых областей**  $L = H + 5 \dots 7$  мм, а для обработки **наружных и внутренних открытых контуров**  $L = H + r + 5$  мм, где  $r$  — радиус скругления у торца фрезы.

В ряде случаев к фрезам предъявляют особые требования, для выполнения которых проектируют специальный инструмент.

**Выбор параметров режима резания при фрезеровании.** Основное, или технологическое, время при фрезеровании, определяет производительность перехода

$$T_{\text{рез}} = L_{\Sigma} / (S_z z n),$$

где  $L_{\Sigma}$  — суммарная длина рабочих ходов, мм;  $S_z$  — подача инструмента на один зуб, мм/зуб;  $z$  — число зубьев фрезы;  $n$  — частота вращения шпинделя,  $\text{мин}^{-1}$ .

**Длина рабочих ходов.** Точное значение суммарной длины рабочих ходов  $L_{\Sigma}$  может быть определено в результате расчета УП. В данном случае будем пользоваться приближенной оценкой величины  $L_{\Sigma}$ , позволяющей в наиболее простой форме выявить интересующие нас качественные закономерности.

Для **зигзагообразных схем обработки** величина  $L_{\Sigma}$  может быть приближенно определена по следующим формулам:

- для схемы без обхода границ

$$L_{\Sigma} \approx F/t + 0,5P;$$

- для схем с проходом вдоль границ

$$L_{\Sigma} \approx F/t + 1,5P,$$

где  $F$  — площадь обрабатываемой области,  $\text{мм}^2$ ;  $t$  — глубина фрезерования, мм;  $P$  — периметр обрабатываемой области, мм.

Площадь обрабатываемой области определяют исходя из площади обрабатываемой поверхности детали:

$$F \approx F_k - KR_n,$$

где  $F_k$  — площадь обрабатываемой поверхности детали;  $K$  — длина границ закрытого типа;  $R_n$  — радиус цилиндрической поверхности фрезы.

**Для спиралевидных схем обработки**

$$L_{\Sigma} \approx F_k/t + A,$$

где  $A$  — величина, учитывающая длину перемещений от одного хода к другому.

В качестве верхней оценки величины  $A$  можно использовать радиус описанной окружности для данной обрабатываемой области.

**Скорость резания.** Частоту вращения шпинделя определяют по скорости резания  $v$  и наружному диаметру инструмента  $D$ :

$$n = 10^3 v / (\pi D).$$

Скорость резания должна быть определена заранее в зависимости от диаметра инструмента  $D$ , принятой стойкости фрезы  $T$ , ее конфигурации и материала режущей части, числа зубьев фрезы  $z$ , глубины  $t$  и ширины  $B$  резания, подачи на зуб  $S_z$ , рода обрабатываемого материала и его физико-механических свойств, условий обработки и т. п. Для определения скорости резания при фрезеровании может быть предложена следующая формула:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v$$

где  $C_v$  — коэффициент скорости резания, характеризующий нормативные условия работы;  $K_v$  — суммарный поправочный коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала, состояние поверхности заготовки, материал инструмента;  $q, m, x, y, u, p$  — показатели степеней соответствующих параметров.

**Подача.** Подачу на зуб для каждого рабочего хода выбирают минимальной из четырех возможных:

$$S_z = \min[S_{z1}, S_{z2}, S_{z3}, S_{z4}],$$

где  $S_{z1}$  — подача, определяемая по заданной шероховатости в зависимости от припуска при глубине резания  $t$  и ширине  $B$ ;  $S_{z2}$  — подача, зависящая от допускаемого отжима  $[\Delta]$  инструмента (фреза диаметром  $D$  с длиной режущей части  $l$ );  $S_{z3}$  — подача, опреде-

ляемая как функция прочности инструмента;  $S_{z4}$  — подача, допустимая по мощности электродвигателя привода главного движения.

В случае, если при фрезеровании существуют какие-либо ограничения, рабочую подачу выбирают на основе анализа конкретных условий обработки. При таком анализе следует учитывать, что суммарная длина рабочих ходов инструмента  $L_{\Sigma}$ , определяющая время обработки, а следовательно, и производительность, зависит от принятых глубины резания  $t$  на рабочих ходах, ширины фрезерования  $B$ , параметров режущего инструмента  $D$ ,  $l$  и  $g$ . В свою очередь, производительность фрезерования можно охарактеризовать скоростью съема обрабатываемого материала в единицу времени,  $\text{мм}^3/\text{мин}$ :  $Q = S_z z n t B$ . Как видим, при заданном инструменте (число зубьев  $z$ ) и частоте вращения  $n$  шпинделя скорость съема припуска будет функцией подачи  $S_z$ , глубины  $t$  и ширины  $B$  фрезерования.

Достаточно сложная взаимосвязь входных данных, определенная ограничениями подач  $S_{zi}$ , требует оптимизации выбора параметров режимов резания при фрезеровании. Задачей оптимизации является сведение к минимуму следующих показателей: единичной стоимости операции; технологического времени обработки; единичной стоимости операции при обеспечении необходимой шероховатости поверхности и требуемых размеров обработанных деталей.

## 5.5. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ

**Общие сведения.** В производстве часто встречаются сложные корпусные детали, требующие обработки с шести сторон. Если детали имеют наклонные плоскости, число сторон увеличивается до 10 и более. На каждой из сторон имеются выступы, карманы, пазы, направляющие, ребра и другие конструктивные элементы, т.е. каждая сторона корпуса — поверхность, имеющая несколько уровней по глубине, каждый уровень имеет сложный контур. На каждой стороне расположено определенное число основных и крепежных отверстий: гладких, ступенчатых, конических и резьбовых, разных размеров, глубины и точности. Часто требуется обработка внутренней полости корпусной детали, в которой имеются перемычки, стенки, ребра жесткости, карманы. В обычных условиях это требует разработки сложной технологии, предусматривающей значительное число фрезерных, сверлильных и рас-

точных операций. При этом тяжелый и громоздкий корпус необходимо транспортировать от одного станка к другому, многократно устанавливая его на станке, выверять и закреплять, проектировать средства механизации для подъемно-транспортных работ. При такой технологии машинное время обычно не превышает 30 % штучного времени, а остальную его часть занимают тяжелые вспомогательные операции и переходы.

Многоцелевые станки (МС) позволяют совместить операции фрезерования прямолинейных и криволинейных поверхностей, центрирования, сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания, цекования, растачивания, раскатывания и накатывания отверстий, нарезания резьбы (метчиками, плашками, резцовыми головками, резцами), кругового фрезерования наружных и внутренних цилиндрических, конических и фасонных поверхностей и круговых пазов концевыми и дисковыми фрезами.

Для достижения высокой эффективности МС всю обработку заготовок стремятся выполнять на одном станке за один-два установка. Однако приходится считаться с опасностью искажения формы обработанных деталей вследствие перераспределения остаточных напряжений, имеющих в исходной заготовке. В этих случаях технологический процесс разделяют на операции черновой (обдирочной) и последующей обработки. Черновую обработку выполняют на мощных, особо жестких станках (с ЧПУ или универсальных), и детали направляют на термическую обработку для снятия внутренних напряжений. Дальнейшую механическую обработку выполняют на МС.

**Особенности обработки различных элементов контура детали.**  
**Плоскости** фрезеруют торцовыми и концевыми фрезами с твердосплавными многогранными неперетачиваемыми пластинами. Обычно это выполняют в два перехода. Первый — черновое фрезерование при больших припусках целесообразно выполнять торцовыми фрезами, последовательными проходами вдоль обрабатываемой поверхности. Ширину поверхности, обрабатываемой за один рабочий ход инструмента, а следовательно, и диаметр фрезы выбирают такими, чтобы отжим инструмента не сказывался на точности чистового перехода. Поэтому при неравномерном большом припуске диаметр фрезы приходится уменьшать. Для чистового перехода стремятся использовать фрезу, диаметр которой позволяет захватить всю ширину обработки.

Для получения особо мелкой шероховатости поверхности при малых припусках применяют торцовые фрезы с пластинами из эльбора и минералокерамики.

Концевыми фрезами открытые плоскости обрабатывают реже, главным образом тогда, когда эту же фрезу используют для фрезерования других поверхностей (уступов, пазов), чтобы уменьшить номенклатуру применяемых инструментов.

**Пазы, окна и уступы** обычно обрабатывают концевыми фрезами, оснащенными твердосплавными пластинами.

Для повышения точности обработки по ширине паза и сокращения номенклатуры инструментов диаметр фрезы принимают несколько меньшим паза. Обработку выполняют последовательно: сначала фрезеруют среднюю часть паза, затем обе стороны, используя возможность получения высокой точности паза по ширине за счет введения коррекции на радиус фрезы. В конце цикла коррекцию отменяют.

Для повышения стойкости, улучшения условий отвода стружки при обработке глухих пазов применяют концевые фрезы с увеличенным углом наклона спирали и полированными канавками. Для облегчения врезания с осевой подачей применяют фрезу с особой заточкой торцовых зубьев. Повышенной жесткостью обладает конструкция фрезы с усиленной сердцевиной конической формы и переменной глубиной канавок. При увеличенных вылетах фрезы, обуславливаемых конфигурацией заготовки, используют фрезы с усилительным конусом. Уменьшение вибрации достигается у фрез с тремя и четырьмя зубьями благодаря различному расстоянию между ними (разношаговые фрезы).

**Круговое фрезерование** — операция, которая стала возможной с появлением фрезерных МС и МС с ЧПУ. Отверстия в корпусных деталях всегда обрабатывались растачиванием. На станке с ЧПУ они могут быть обработаны фрезерованием. Для этого фрезе сообщают круговую подачу. Если обозначить время фрезерования  $t_{\text{ф}}$ , а время растачивания  $t_{\text{р}}$ , производительность кругового фрезерования будет выше производительности растачивания, если выполняется соотношение  $t_{\text{ф}}/t_{\text{р}} < 1$ .

Как показывает анализ данных по построению технологического процесса на фрезерные операции, в современных условиях круговому фрезерованию отдается предпочтение во всех случаях, когда этот процесс возможен к применению. Ограничениями являются лишь глубина отверстия (она ограничена длиной обычных концевых фрез и составляет 60...80 мм), его диаметр и точность обработки.

Следует отметить, что особенно успешно используется круговое фрезерование для предварительной обработки отверстий в литых заготовках (для снятия черного припуска).

Обработка отверстий — самый распространенный вид технологических переходов на МС. Среди них сверление и нарезание резьбы в крепежных отверстиях под болты, винты и шпильки, сверление, зенкерование, развертывание, растачивание точных посадочных отверстий (гладких и ступенчатых), обработка отверстий в литых деталях.

**Соосные отверстия** в противоположащих стенках корпусных деталей обрабатывают на МС консольно закрепленными инструментами, последовательно, с поворотом заготовки вместе со столом станка на  $180^\circ$ . Достижимая соосность зависит от точности делительного стола. Погрешность деления не должна превышать половины поля допуска на отклонение взаимного расположения отверстий по чертежу детали. Для увеличения жесткости шпиндельного узла отверстия стремятся растачивать с постоянным вылетом шпинделя за счет перемещения стола или стойки станка. Дело в том, что жесткость выдвижной пиноли в десятки раз меньше жесткости шпиндельной бабки. Поэтому на МС с выдвижной пинолью шпинделя приходится снижать параметры режимов резания, чтобы получить высокую точность обработки. Только при изготовлении особо точных корпусных деталей окончательную обработку наиболее важных отверстий завершают отдельной операцией на прецизионных расточных станках.

При обработке отверстий **осевым инструментом**, если требования к точности невысоки, операции выполняют в такой последовательности: сначала обрабатывают все отверстия одним инструментом, затем следующим (при условии, что смена инструмента на данном станке требует больше времени, чем позиционирование стола).

Если требования к точности диаметров и формы отверстий высокие, отверстия стремятся обрабатывать полностью по отдельности, со сменой инструментов у каждого отверстия и с перемещением шпинделя только по оси  $Z$ . В противном случае погрешность обработки будет увеличиваться за счет погрешности позиционирования.

Для сокращения времени сверления **спиральными сверлами** и повышения стойкости инструментов используют быстрое автоматическое изменение режима резания. После ускоренного подвода сверла к заготовке включают рабочую подачу, а когда большая часть отверстия будет просверлена, подачу уменьшают во избежание поломки инструмента из-за скачкообразного изменения нагрузки при выходе сверла из отверстия. Если имеется литейная корка на входе в отверстие или выходе из него, на этих участках

предусматривают в программе уменьшение частоты вращения шпинделя.

В связи с тем, что на МС при сверлении, как правило, не используют кондуктор, широко применяют засверливание отверстий короткими жесткими сверлами — своеобразную разметку расположения будущих отверстий. При работе по литейной корке это позволяет решить и другие задачи: облегчить врезание и повысить стойкость сверл небольшого диаметра и вместе с тем снять фаску на входе в отверстие, если она предусмотрена чертежом. Засверливание целесообразно применять для обработки отверстий диаметром до 8... 15 мм в деталях из черных металлов.

Для обработки **отверстий в корпусах заготовок** весьма эффективным оказалось применение инструментов, предназначавшихся раньше только для сверления глубоких отверстий, например двухкромочных сверл с механическим креплением трехгранных твердосплавных пластин. Использование таких сверл наряду с делением припуска по ширине среза и внутренним подводом СОЖ позволяет в 3—5 раз повысить эффективность резания по сравнению с обычными спиральными сверлами.

Большие возможности повышения производительности при обработке отверстий заключаются в использовании **комбинированных инструментов** разных типов.

**Выбор плана операций.** Большое число обрабатываемых поверхностей, наличие черновых, получистовых и чистовых проходов при обработке каждой поверхности, значительное число инструментов в магазине усложняют выбор плана операций обработки детали на МС. Возникает задача выбора такого варианта, который будет наиболее эффективен. Возможностей при выборе плана операций достаточно много:

- сначала полностью обрабатывают деталь с одной стороны, затем разворачивают ее;
- сначала обрабатывают деталь со всех сторон начерно, затем приступают к чистовой обработке;
- сначала обрабатывают все плоскости, затем приступают к обработке отверстий.

Для деталей с соосными отверстиями целесообразна последовательная обработка с двух противоположных сторон и т. д.

Конкретное решение задачи должно учитывать значительное число разнообразных факторов. Есть несколько **общих принципов**, которыми следует руководствоваться при этом:

- чем выше точность элемента конструкции, тем позже следует предусматривать его обработку;
- сначала следует планировать черновую обработку, затем чистовую;
- чем меньше время срабатывания исполнительного органа (смена инструмента, поворот стола и др.), тем чаще этот орган должен функционировать.

Наибольшая точность обработки достигается при обработке детали с одного установа. Для деталей с большими припусками должны быть предусмотрены разгрузочные операции, часть которых целесообразно выполнять на универсальном или специализированном оборудовании.

При выборе плана операций обработки деталей на МС прежде всего целесообразно использовать типовые схемы обработки, рекомендуемые соответствующими нормативными документами. Обычно эти документы предлагают последовательность переходов операций в зависимости от типа детали и заготовки, вида обрабатываемых поверхностей и их точности и т. д.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Назовите общую последовательность работ при разработке операционного процесса.
2. Перечислите типовые переходы при обработке отверстий на станках с ЧПУ.
3. Из каких этапов складывается проектирование операций при обработке отверстий?
4. В чем заключается процесс программирования токарной обработки на станках с ЧПУ?
5. Расскажите о процессе программирования фрезерной обработки на станках с ЧПУ.
6. Назовите типовые схемы переходов при фрезерной обработке.
7. Перечислите особенности процессов обработки деталей на многоцелевых станках.
8. Каков состав технологической документации при разработке управляющих программ?

## ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ НА СТАНКАХ С ЧПУ

### 6.1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТ ПО ОСВОЕНИЮ И ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАНКОВ С ЧПУ

Практика применения станков с ЧПУ на отечественных и зарубежных предприятиях показала, что внедрение станков, техническая подготовка производства и эксплуатация производственных участков наиболее эффективны при наличии на предприятиях специальных технологических служб, структура которых позволяет оперативно решать все возникшие задачи. Такая служба, как правило, представляет собой технологический отдел программного управления. Анализ проблем, связанных с внедрением и эксплуатацией станков с ЧПУ, позволяет сформули-

Таблица 6.1. Последовательность работ по освоению и промышленной эксплуатации станков с ЧПУ

Этапы	Содержание работ
Технологическая проработка чертежа детали и подготовка производства: технологическая проработка чертежа	Технико-экономическое обоснование выбора детали Выбор типа станка и схемы ориентации заготовки Выбор последовательности обработки и числа операций Выбор баз и типа оснастки Расчет значений подачи по участкам

Этапы	Содержание работ
подготовка технологической документации	<p>Составление РТК с траекторией движения режущего инструмента</p> <p>Создание операционной технологии для цеха</p> <p>Создание ТУ на проектирование режущего инструмента</p> <p>Создание ТУ на проектирование приспособлений</p> <p>Создание ТУ на проектирование контрольно-измерительной оснастки</p> <p>Создание технического задания на расчет управляющей программы</p> <p>Создание ТУ на поставку заготовки</p> <p>Создание ТУ на поставку детали</p>
подготовка конструкторской документации	<p>Создание рабочих чертежей (шифр) режущего инструмента</p> <p>Создание рабочих чертежей приспособления</p> <p>Создание рабочих чертежей контрольно-измерительной оснастки</p>
Расчет траектории движения инструмента	<p>Составление исходных данных для расчета</p> <p>Расчет траектории (вручную или на ЭВМ)</p> <p>Контроль расчета</p>
Запись УП	<p>Контроль управляющей (промежуточной) информации</p> <p>Контроль УП на координатографе</p>
Внедрение технологии обработки с помощью программного управления	<p>Контроль УП на станке</p> <p>Доводка приспособлений</p> <p>Наладка станка. Изготовление пробной детали</p> <p>Корректировка геометрии инструмента и параметров режима резания</p> <p>Отработка процесса стружкообразования</p> <p>Редактирование УП</p> <p>Изготовление контрольной партии деталей</p> <p>Хронометраж основного и вспомогательного времени</p> <p>Составление акта о переводе обработки деталей на станок с ЧПУ</p>
Наладка и эксплуатация станка	<p>Запуск и отладка новых станков с ЧПУ</p> <p>Наблюдение за ППП станков и пультов</p> <p>Ремонтно-наладочные работы по графику</p>

Этапы	Содержание работ
	Контроль точности станков по графику Восстановление пришедших в негодность УП Сбор, учет и анализ данных по обработке на станках с ЧПУ

Примечание. РТК — расчетно-технологическая карта; ТУ — технологические условия; УП — управляющая программа; ППР — планово-предупредительный ремонт.

ровать основные этапы внедрения систем программного управления (табл. 6.1):

- технологическая проработка чертежа детали и подготовка производства;
- расчет траектории движения инструмента;
- запись программ обработки;
- отладка программы и внедрение технологии обработки детали на станке с ЧПУ;
- наладка и эксплуатация станков с ЧПУ.

В конкретных условиях производства функциональная схема может быть скорректирована.

## 6.2. ПОДГОТОВКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ОПЕРАЦИИ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ

При проектировании документов на операции, выполняемые на станках с ЧПУ, в соответствии с ГОСТ 3.1404—86 «Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов на технологические процессы и операции обработки резанием» применяют следующие виды документов:

- карту технологического процесса;
- операционную карту;
- карту наладки инструмента;
- карту кодирования информации.

По усмотрению разработчика допускается применять следующие вспомогательные документы:

- карту заказа на разработку УП;
- ведомость обрабатываемых деталей.

**Карту технологического процесса** применяют для операционного описания при разработке единичных, типовых и групповых технологических процессов.

**Операционную карту** применяют для описания единичных технологических операций (типовых и групповых), ее составляют по результатам проектирования технологической операции. В этом первичном документе приводят операционный эскиз, указывают все переходы операции, используемый станок, шифр приспособления и инструмента, отмечают координаты исходных точек траектории движения инструмента и время обработки.

Операционная карта является основным документом, по которому определяют требуемые материалы, оснастку, рабочую силу, решают вопросы организации и планирования производства.

На основании ОК обработки детали на станках с ЧПУ и на обычных станках с ручным управлением окончательно формируют технологический маршрут с включением в него специальных операций термической обработки и покрытия. Предварительную работу по проектированию схемы маршрута выполняют на начальной стадии разработки технологического процесса. На заключительном этапе, когда определены условия выполнения операции и переходов, рассчитывают основное и штучное время, окончательно упорядочивают состав каждой операции и их рациональную последовательность в маршруте. При необходимости вносят коррективы в операционную технологию, после чего оформляют всю остальную технологическую документацию.

Пример оформления ОК для станка с ЧПУ приведен на рис. 6.1.

**Карту наладки инструмента** (КНИ) применяют для указания полного состава вспомогательного и режущего инструмента в технологической последовательности его применения совместно с документом, содержащим описание операции (ОК, маршрутная карта. Карту используют при наладке инструмента вне станка и установке его на станке в соответствии с выбранной наладкой.

В КНИ записывают координаты вершин всех инструментов наладки и показания прибора для их настройки вне станка. Пример оформления КНИ приведен на рис. 6.2.

**Карту кодирования информации** применяют для кодирования информации при разработке УП

**Карту заказа на разработку УП** применяют для указания исходных данных, необходимых при разработке УП для станка с ЧПУ (рис. 6.3). На основании КЗ/П разрабатывают РТК, которая







содержит полную информацию о всех решениях, принятых на этапах проектирования маршрутной и операционной технологии, ее оформляют в определенной последовательности.

**Ведомость обрабатываемых деталей** применяют на станках с ЧПУ для указания исходных данных, необходимых для расчета загрузки одной единицы оборудования.

**Акт внедрения УП** является заключительным документом, в котором отражаются результаты пробной обработки одной или нескольких заготовок на станке с ЧПУ по подготовленной УП. В акте отмечают соответствие обработанных поверхностей требованиям к их точности и шероховатости, рациональность режимов резания, приводят данные хронометража.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Назовите последовательность работ по освоению и промышленной эксплуатации станков с ЧПУ.
2. Какие виды документов следует использовать при проектировании операций на станках с ЧПУ?
3. В каких случаях необходимо использовать карту технологического процесса, операционную карту, карту наладки инструмента, карту кодирования информации, ведомость обрабатываемых деталей?

# ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЦЕХАХ ПРЕДПРИЯТИЯ

## 7.1. ОРГАНИЗАЦИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ СЛУЖБЫ ОХРАНЫ ТРУДА

---

Администрация предприятий, цехов и участков машиностроительного производства должна в силу своих должностных обязанностей:

- создавать безопасные условия работы при осуществлении технологических процессов и операций;
- своевременно проводить мероприятия по механизации и автоматизации тяжелых, вредных для здоровья человека и окружающей среды и опасных работ;
- обеспечивать нормальные температурно-влажностные условия и чистоту воздуха в помещениях, в которых находятся рабочие и служащие;
- обучать рабочих и специалистов безопасным методам труда;
- снабжать рабочих необходимой спецодеждой и средствами индивидуальной защиты.

Организовывают работу по охране труда в масштабах всего предприятия директор и главный инженер, в цехах и на участках — начальники цехов. Они несут полную ответственность за проведение мероприятий по охране труда, выполнением всеми работниками правил техники безопасности и промышленной санитарии.

Предупреждение аварий и несчастных случаев невозможно без качественного инструктажа и обучения рабочих правилам техники безопасности. К работе не должны допускаться сотрудники, не

прошедшие соответствующий инструктаж по технике безопасности. Поэтому имеется целый комплекс инструктажей, которые должны проходить все работники предприятия.

**Вводный инструктаж** каждого вновь поступающего на предприятие работника проводят в целях ознакомления его со всеми опасными и вредными для здоровья работами на предприятии. Проводит инструктаж инженер по технике безопасности предприятия.

**Инструктаж на рабочем месте (первичный)** проводят с каждым работником, вновь поступившим или переведенным с одного рабочего места на другое. Проводит инструктаж мастер или руководитель участка непосредственно на рабочем месте. При работе в условиях повышенной опасности первые 6—10 смен инструктаж проводится ежедневно.

**Периодический повторный инструктаж** по безопасным приемам и методам работы проводят со всеми рабочими независимо от их квалификации и стажа работы по данной профессии один раз в квартал.

**Внеочередной инструктаж** проводят в следующих случаях:

- при изменении технологического процесса или оборудования;
- при несчастном случае;
- при профзаболеваниях;
- при грубом нарушении правил и инструкции по технике безопасности.

Каждый проведенный инструктаж оформляют соответствующей документацией с обязательной распиской инструктируемого работника и инструктирующего лица. Работники, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, не должны допускаться к работе.

Несчастные случаи возможны там, где грубо нарушаются правила безопасной работы. Под **несчастливым случаем** следует понимать такой случай с работающим, когда на него воздействует опасный производственный фактор.

**Травмой** называют внешнее повреждение организма человека или нарушение правильного его функционирования, наступившего внезапно в результате несчастного случая. Производственные травмы подразделяются:

- на механические — это ушиб, порез, перелом кости, разрыв тканей;
- термические — это тепловой удар, ожог, обморожение;
- электрические — это повреждение организма человека от прохождения электрического тока;

- лучевые;
- комбинированные.

**Профессиональным заболеванием** называют такое заболевание человека, которое вызвано воздействием на его организм вредных условий труда.

Все несчастные случаи, происшедшие на производстве, должны быть расследованы в течение 24 ч с обязательным составлением акта. На предприятии должен вестись строгий учет и анализ всех несчастных случаев в целях их недопущения в будущем.

## **7.2. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ**

---

Причинами травматизма в случае отсутствия или недостаточности предупредительных мер при работе на металлорежущих станках являются:

- вращающиеся валы, муфты, шпиндели, шкивы, зубчатые колеса, выступающие части станка, зазоры между вращающимися деталями станка, зазоры между любыми подвижными и неподвижными частями и другие детали и сборочные единицы кинематической системы, станка, передающие движение от привода к зоне резания;
- вращающиеся инструменты (сверла, фрезы, шлифовальные круги и др.), возвратно-поступательно движущиеся инструменты (строгальные и долбежные резцы, ножовка и др.), обломки инструмента и установочно-зажимные приспособления при их установке и снятии;
- движущиеся и неподвижные обрабатываемые заготовки во время установки и съема и в процессе резания, а также стружка и другие отходы при обработке и уборке.

Безопасность работы на станках обеспечивается устройствами, надежно защищающими работающих от травм отлетающими стружками, и ограждением передач движения от электродвигателя (ременные, зубчатые и др.) сплошными металлическими открывающимися укрытиями. Патроны и планшайбы должны иметь замковые приспособления и устройства против самоотвинчивания при реверсировании вращения шпинделя.

Станины станков снабжают специальными болтами с обозначениями «Земля», предназначенными для заземления. Если кор-

пус электрооборудования станка не имеет надежного металлического соединения с заземленной станиной, его заземляют самостоятельной шиной. Подвижные участки электропроводки должны находиться в гибких металлических рукавах, снабженных уплотнением против проникновения масла и СОЖ.

Так как работа на металлорежущих станках относится к разряду точных зрительных работ, система освещения станков должна быть комбинированной (общее и местное освещение).

Станки должны быть снабжены светильниками местного освещения, обеспечивающими освещенность рабочих зон (место обработки, лимбы подач, таблицы настройки станка) в соответствии с санитарными нормами. Устройство местного освещения станков должно быть безопасным, поэтому напряжение сети местного освещения не должно превышать 36 В, подводка электрических проводов к светильнику должна быть скрытой, необходимо, чтобы конструкция светильника исключала перекручивание и перетирание проводов и попадание на них применяющихся при обработке жидкостей (масла, эмульсии и др.).

**Скоростное точение**, в основе которого лежит квалифицированное использование резцов, оснащенных пластинами из твердого сплава (во многих случаях с механическим креплением пластин), характеризуется относительно высокими скоростями движения частей станка и обрабатываемого изделия, а также отделением от обрабатываемого изделия большого количества стружки.

Устанавливать на станок нужно только исправный резец. Перед установкой следует проверить надежность крепления пластины твердого сплава (особенно при механическом ее креплении), целостность и правильность заточки пластины из твердого сплава, которая не должна иметь зазубрин, трещин, сетки и прижогов. Режущая кромка должна быть доведена. Резец следует устанавливать строго по высоте центров станка. В случае установки резца выше или ниже оси центров или неперпендикулярно и непараллельно оси изделия углы резания не будут соответствовать углам заточки и появится опасность выкрашивания пластины и поломки резца. Для установки резца по оси центров нужно пользоваться только специально для этого предназначенными подкладками. Во всех случаях резец следует устанавливать с минимальным вылетом из резцедержателя; по условиям безопасности и для получения обработанной поверхности хорошего качества вылет резца из резцедержателя не должен превышать высоту державки резца более чем в 1,5 раза. Резец нужно закреплять надежно, не менее чем двумя болтами резцедержателя.

Обрабатываемое изделие следует надежно закрепить в центрах или в патроне. При обработке деталей в центрах нужно предварительно проверить правильность зацентровки обрабатываемой детали. При применении вращающихся центров заднюю бабку необходимо надежно закрепить на направляющих станины. При обтачивании длинных деталей (осей, валов и т.д.) на высоких скоростях следует применять роликовые люнеты. В кулачковом патроне (без подпора центром задней бабки) закрепляют только весьма короткие (при отношении длины к диаметру не более 2) уравновешенные детали. В других случаях пользуются для подпора центром задней бабки. Несоблюдение этих требований может привести к вылету детали в процессе обработки вследствие сгорания центра, отхода задней бабки и т.д.

При скоростном точении пользуются устройствами, защищающими от травмирования стружкой. Если обрабатывают вязкие металлы (стали и др.), дающие сливную (ленточную) стружку, применяют резцы с канавками или с накладными порогами на передней поверхности, которые дробят или завивают стружку в процессе точения. При обработке хрупких металлов (бронзы, чугуна и др.), дающих мелкую отлетающую стружку, а также при дроблении стальной стружки в процессе точения применяют защитные устройства: индивидуальные щитки, прозрачные быстроустанавливаемые на рабочую позицию экраны или специальные стружкоотводчики.

Для безопасного ведения процесса **скоростного фрезерования** необходимо при установке фрезы осуществлять проверку на радиальное и торцовое биение, биение на периферии не должно превышать 0,03 мм, а по торцу в зависимости от характера обработки (черновая или чистовая) — не более 0,04...0,08 мм.

Фрезеруемая деталь в приспособлении должна быть надежно закреплена с направлением усилий резания на неподвижные опоры. Деталь следует закреплять как можно ближе к обрабатываемой поверхности. При закреплении детали прижимными планками последние следует располагать горизонтально с применением только специально для этого предназначенных подкладок. Детали с необработанными поверхностями (особенно имеющие литейные и штамповочные уклоны) закрепляют при помощи приспособлений и тисков с насеченными губками.

При использовании пневматических, гидравлических и электромагнитных приспособлений для закрепления деталей необходимо тщательно оберегать от механических повреждений трубки подачи воздуха и жидкости, а также электропроводку. Нужно помнить, что при внезапном падении давления в пневматической или

в гидравлической сети или при внезапном перерыве в питании током изделие открепляется и, если станок не снабжен соответствующими автоблокировками, обрабатываемая деталь может вылететь из приспособления. На станках современных конструкций безопасность применения пневматических, гидравлических электромагнитных зажимных приспособлений обеспечивается введением соответствующих автоблокировок или ограничителей.

При скоростном фрезеровании необходимо пользоваться устройствами для защиты от отлетающей стружки и предупреждения рассеивания ее по рабочему месту. В зависимости от направления полета стружки и степени ее рассеивания следует применять индивидуальные средства защиты (очки, индивидуальные щитки), прозрачные экраны, препятствующие рассеиванию стружки, или специальные стружкоотводчики, улавливающие и отводящие стружку в стружкосборник.

При работе на **шлифовальных станках** особое внимание должно быть уделено правильности установки и крепления шлифовального круга, выбору режима резания и соблюдению условий безопасности работы.

Продолжительность службы шлифовального круга зависит от его уравновешенности, поэтому для точной и спокойной работы шлифовальный круг нужно подвергать балансировке (уравновешиванию). Причинами неуравновешенности шлифовальных кругов являются неодинаковая плотность материала, неправильная форма наружной поверхности, эксцентрическое расположение отверстия по отношению к наружной поверхности круга и эксцентрическое расположение круга на шпинделе или на фланцах. Сбалансированным шлифовальным кругом следует считать такой круг, у которого центр тяжести совпадает с геометрическим центром оси вращения.

Балансируют шлифовальные круги на специальных установках, которые отличаются друг от друга характером опор для установки оправки. Опорами могут быть призмы, диски, цилиндрические валики и т. д.

Обязательной балансировке подлежат все шлифовальные круги диаметром от 1 090 мм и выше. Шлифовальные круги диаметром 150 мм и выше, предназначенные для работы со скоростью резания более 10 м/с, помимо внешнего осмотра и простукивания должны быть испытаны на специальных испытательных стендах или на специальных станках при частоте вращения, превышающей указанную в маркировке круга на 50 %. Продолжительность вращения круга при испытательной скорости должна составлять

для шлифовальных кругов с наружным диаметром до 475 мм — 5 мин, с диаметром 500 мм и более — 7 мин.

Испытательный стенд должен постепенно и плавно увеличивать скорость до требуемой для испытания соответствующего круга. Одновременно он должен быть снабжен стационарным тахометром для контроля частоты вращения круга.

Круги, выдержавшие испытания, записывают в специальную книгу по особой форме и на самом круге делают соответствующую пометку (краской или специальным ярлыком) — указывают порядковый номер круга по книге испытаний, ответственное лицо за испытание и дату испытания.

Способы крепления кругов при установке должны обеспечивать надежность закрепления круга на шпинделе; в круге не должно создаваться внутренних напряжений, для чего между фланцами и кругом с обеих сторон ставят прокладки из эластичного материала (плотной бумаги, картона, резины и т. д.) толщиной от 0,5 до 3 мм в зависимости от диаметра круга. Прокладки должны перекрывать всю зажимную поверхность фланцев и выступать наружу по всей окружности.

Необходимо, чтобы поверхности соприкосновения фланцев, прокладок и шлифовального круга были совершенно чистыми, а зажимная поверхность фланца была шириной не менее  $1/16$  диаметра круга. Отверстие в круге должно быть больше диаметра шпинделя на 0,2...0,4 мм.

Шлифовальные круги во время работы должны быть ограждены защитными кожухами, которые изготавливают из стали или ковкого чугуна и прочно прикрепляют к станкам. При большой частоте вращения круга толщина стенок кожуха увеличивается по расчету. Зазор между кругом и цилиндрической поверхностью защитного кожуха должен быть в пределах от 20 до 30 мм, зазор между кругом и боковой стенкой кожуха 10...15 мм. Угол раскрытия защитного кожуха может колебаться от 60 до 180°.

Столы плоскошлифовальных станков и магнитные плиты должны иметь ограждения на случай отлета деталей.

## **7.3. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ В МЕХАНИЧЕСКИХ И СБОРОЧНЫХ ЦЕХАХ**

Современное технологическое оборудование машиностроительного производства насыщено электрическими двигателями и другими электротехническими устройствами. В цехах используют

ручной электроинструмент. Кроме того, электроэнергию применяют для освещения, сварки, разогрева в печах заготовок и др. При неумелом обращении с этим оборудованием или при несоблюдении установленных правил электрический ток представляет серьезную опасность для здоровья человека.

Действие электрического тока на организм человека носит разносторонний характер. Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействие на его различные органы. При этом может быть нарушена деятельность сердца, мозга, легких. Классификация травм от электрического тока по степени их тяжести следующая:

- I — судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- II — судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранением дыхания и работы сердца;
- III — потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания;
- IV — клиническая смерть, характеризуемая отсутствием дыхания и кровообращения.

**Клиническая смерть** — это переходный этап от жизни к смерти, наступающий с момента прекращения деятельности сердца и легких. Человек, находящийся в состоянии клинической смерти, не имеет никаких признаков жизни — не дышит, его сердце не работает, зрачки глаз расширены и не реагируют на свет, болевые раздражения не вызывают никаких реакций. Между тем в этот период жизнь в организме человека еще полностью не угасла. Человек может находиться в состоянии клинической смерти от 4 до 10 мин в зависимости от вида и тяжести поражения и индивидуальных особенностей организма человека.

Первая помощь пострадавшему от электрического тока должна оказываться умело и быстро. Поэтому в каждой работающей смене должны быть люди, специально обученные оказанию первой помощи.

При поражении электрическим током пострадавшего необходимо отсоединить от токоведущих проводов. Однако при этом следует помнить, что пострадавший может находиться под электрическим напряжением, и прикосновение к нему без мер предосторожности может быть опасным.

Если пострадавший держит провод в судорожно сжатых пальцах рук, то первым делом следует обесточить электроустановку, например рубильником или кнопкой пускателя. Оттягивать по-

страдавшего следует за сухую одежду или с использованием сухих изолированных предметов.

После отсоединения пострадавшего от электрических проводов ему необходимо грамотно оказать первую медицинскую помощь. Создать приток свежего воздуха, обеспечить полный покой и вызвать врача. Правила оказания первой помощи пострадавшему должен знать каждый работник предприятия, для чего проводятся систематическая учеба и тренировки в виде учений.

К работе с электроинструментами допускают лишь тех работников, которые прошли специальное обучение и аттестацию. Запрещается работать с электроинструментами в помещениях с парами горюче-смазочных материалов и химически активной средой, а также на открытых площадках во время дождя или снегопада. Заземлять электроинструмент следует только лишь посредством предусмотренных в его конструкции клемм и проводов согласно соответствующей инструкции.

Перед работой с электроинструментом необходимо проверить его исправность и убедиться в том, что изоляция электрических проводов и других частей инструмента не повреждена. Во время работы следует исключить соприкосновение токоведущих проводов с горячими частями оборудования, горячими материалами, мокрыми или масляными поверхностями. В противном случае может произойти разрушение изоляционного материала на токоведущих проводах, что приведет или к короткому замыканию, или к поражению работающего электрическим током. Если шпиндель электроинструмента (или станка) перестал вращаться по неизвестной причине, следует отключить инструмент (или станок) от электросети.

Ремонт (любой сложности) электроинструмента должен проводиться в специальных подразделениях предприятия работниками высокой квалификации.

## 7.4. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ИНСТРУМЕНТОМ И НА БАЛАНСИРОВОЧНЫХ СТАНКАХ

*Пневматический инструмент* характерен тем, что в нем используется двигатель, приводимый в движение (вращение) энергией сжатого воздуха. Подключают такой инструмент к цеховой системе сжатого воздуха с помощью воздушных гибких шлангов. При подсоединении шланга к системе сжатого воздуха воздушный

кран, открывающий путь воздуха к пневматическому инструменту, должен быть закрыт. Перед отсоединением воздушного шланга от системы необходимо закрыть воздушный кран и выпустить сжатый воздух из шланга, например кратковременным включением инструмента при закрытом воздушном кране на входе в пневмоинструмент. Разбирать и ремонтировать пневматический инструмент должны специалисты этого профиля.

Как известно, **балансировочные станки** применяют в сборочных цехах для балансировки роторов. Ротор при балансировке вращается от электрического привода на балансиловочных опорах. Опоры станка — подвижные, а ротор закрепляют технологическими приспособлениями. При работе на балансиловочных станках следует выполнять все правила электрической безопасности. Кроме того, быстро вращающийся ротор также представляет повышенную опасность. Поэтому балансиловочные станки должны быть оборудованы защитными кожухами, которые закрывают перед пуском ротора, а открывают лишь после полной его остановки. Категорически запрещается останавливать вращающийся ротор рукой.

Следует помнить, что при вращении неуравновешенного ротора возникают силы и моменты, которые могут быть настолько большими, что ротор сорвется с мест крепления. Поэтому необходимо перепроверять надежность крепления ротора после 1—3 пробных пусков.

При балансировке тяжелых роторов используют грузоподъемные механизмы. Поэтому следует строго соблюдать правила эксплуатации этих механизмов.

В ряде случаев для корректировки масс, т. е. для снятия слоя металла, применяют ручной абразивный инструмент. При этом необходимо соблюдать меры безопасной работы с абразивным инструментом. На инструменте должны быть установлены защитные кожухи, а глаза рабочего должны быть защищены специальными очками.

## 7.5. МЕРЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Пожарная безопасность предусматривает такое состояние объекта производства (цеха, участка), при котором полностью исключается возникновение пожара, а в случае его возникновения, предотвращается его воздействие на людей, и обеспечивается защита материальных ценностей.

Пожар на производстве может возникнуть по разным причинам:

- от случайной искры, попавшей на горючие материалы;
- от короткого замыкания токоведущих проводов;
- от самовозгорания отходов или горючих материалов при неправильном их хранении;
- от иного грубого нарушения правил пожарной безопасности.

Для предупреждения пожара необходимо строго соблюдать правила пожарной безопасности. Машиностроительное производство является пожароопасным по всей территории:

- в механических цехах существует опасность возгорания магниевой стружки и пыли;
- в сборочных цехах участки промывки деталей содержат горючие промывочные жидкости;
- в испытательных цехах имеется топливо и другие горюче-смазочные жидкости;
- скопление обтирочного промасленного материала способно к самовозгоранию в любом помещении.

По этой причине курение разрешается в строго отведенных специальных местах.

Обычно производственные цеха располагаются в неотапливаемых зданиях. Планировка цехов должна предусматривать безопасную эвакуацию людей через эвакуационные выходы, которых должно быть не менее двух. Несущие элементы лестниц и их ширина должны обеспечить эвакуацию людей в случае пожара. В цехах должен быть соответствующий инвентарь и организованы пожарные дружины из работников цеха, которые систематически участвуют в учениях и знают свои обязанности на случай возникновения пожара.

В цехах не разрешается пользование открытыми нагревательными приборами и неисправным электроинструментом. Воспламеняющиеся жидкости необходимо хранить в сосудах из мягкого материала во избежание искрения при их контакте со стальными деталями.

Статическое электричество таит в себе большую угрозу, так как его разряд вызывает большую искру, что может привести к пожару. Поэтому все оборудование заземляют во избежание накопления на нем зарядов статического электричества. Стирка салфеток и спецодежды в бензине категорически запрещена, так как слу-

чайная искра от разряда статического электричества может привести к пожару.

Промасленные салфетки и другую использованную ветошь необходимо складывать в специальную металлическую тару и ежедневно выносить из цеха в конце рабочей смены. В противном случае эти материалы способны к самовоспламенению.

Каждый работник предприятия должен знать месторасположение пожарной сигнализации, а также должен уметь пользоваться подручными средствами пожаротушения. Заметив возгорание, нужно немедленно сообщить об этом в пожарную часть и принять меры по ликвидации пожара имеющимися средствами пожаротушения.

## 7.6. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Международное сообщество в настоящее время уделяет огромное внимание охране окружающей среды, создавая серии международных стандартов в этом направлении.

Для проведения работ по охране окружающей среды с максимальной эффективностью необходимо:

- определить, какой вред окружающей среде может нанести действующее предприятие;
- разработать мероприятия по совершенствованию всего производства в целях снижения вредного воздействия на окружающую среду;
- производить экологическую экспертизу новых технологических разработок.

На машиностроительных предприятиях проводят следующие мероприятия по защите окружающей среды:

- очистку газов, выбрасываемых в атмосферу;
- борьбу с шумом;
- очистку производственных сточных вод;
- защиту от электромагнитных полей.

При этом по каждому мероприятию устанавливают измерительные системы для контроля качества выполняемых работ.

Особое внимание защите окружающей среды уделяется на авиастроительных предприятиях. Испытания авиационных двигателей, работающих на нефтепродуктах, приводят к тому, что с отработавшими газами в окружающую среду попадает много ток-

сичных компонентов. Известны три направления снижения уровня воздействия на окружающую среду вредных воздействий.

1. Оснащение действующего производства очистными сооружениями при сохранении освоенной технологии.

2. Усовершенствование действующих технологических процессов в целях снижения вредного воздействия на окружающую среду.

3. Разработка новых технологических процессов, не оказывающих вредного воздействия на окружающую среду.

Однако основным направлением при решении проблемы охраны окружающей среды на действующем предприятии является оснащение этих производств дополнительными сооружениями и устройствами, снижающими выбросы вредных веществ в атмосферу. При этом используют фильтрование и другие методы очистки.

**Фильтрование** основано на прохождении очищаемых газов или жидкости через фильтрующий материал, который задерживает вредные компоненты, содержащиеся в потоке проходящей через фильтр жидкости или газа. В качестве фильтрующего материала используют различные сетки, ткани, волокнистые материалы, керамику и мембраны, изготовленные по нанотехнологии. Тонкость очистки с использованием фильтров определяется применяемыми материалами.

Кроме механических методов очистки применяют химические методы, основанные на химических реакциях, и термические, основанные на окислении вредных веществ, например сжигание, дожигание или выпаривание.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Какие виды инструктажей проходит вновь прибывший на предприятие работник?
2. Какие опасности существуют при работе на шлифовальном станке?
3. Чем опасна работа на токарных станках?
4. Что следует понимать под электробезопасностью?
5. Каковы будут ваши действия при обнаружении возгорания в производственном помещении?
6. Какими документами оформляется несчастный случай на производстве?

## Приложение 1. ОПЕРАЦИОННЫЕ ПРИПУСКИ И ДОПУСКИ НА НАРУЖНОЕ КРУГЛОЕ ШЛИФОВАНИЕ

Интервалы диаметров, мм	Вариант 1	Вариант 2		Вариант 3		Допуски, мм	
	Окончательное шлифование после термообработки	Шлифование после термообработки		Черновое шлифование до термообработки	Чистовое шлифование после термообработки	Чистовое обтачивание под шлифование без термообработки	Черновое шлифование после термообработки
		черновое	чистовое				
	Припуск на диаметр, мм						
От 3 до 6	0,2	0,15	0,05	—	—	-0,08	-0,025
Св. 6 до 10	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	-0,10	-0,03
Св. 10 до 18	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	-0,12	-0,035
Св. 18 до 30	0,3	0,2	0,1	0,3	0,4	-0,14	-0,045
Св. 30 до 50	0,4	0,3	0,1	0,3	0,4	-0,17	-0,05
Св. 50 до 80	0,5	0,3	0,2	0,3	0,5	-0,20	-0,06
Св. 80 до 120	0,5	0,3	0,2	0,3	0,5	-0,23	-0,07
Св. 120 до 180	0,8	0,5	0,3	0,5	0,8	-0,26	-0,08
Св. 180 до 260	0,8	0,5	0,3	0,5	0,8	-0,30	-0,09
Св. 260 до 360	0,8	0,5	0,3	0,5	0,8	-0,34	-0,10

## Приложение 2. РЕЖИМЫ ТОНКОГО ТОЧЕНИЯ

Обрабатываемый материал	Режущий инструмент из алмаза			Режущий инструмент из твердого сплава		
	Скорость резания, м/мин	Продольная подача, мм/об	Глубина резания, мм	Скорость резания, м/мин	Продольная подача, мм/об	Глубина резания, мм
Силумин	350...500	0,02...0,08	0,06... 0,30	200...400	0,02... 0,08	0,05... 0,45
Баббит	380...600	0,02...0,03	0,18... 0,25	250...600	0,02... 0,10	0,05... 0,35
Бронза	330...500	0,02...0,05	0,10... 0,25	250...500	0,02... 0,10	0,05... 0,25
Чугун серый	—	—	—	100...200	0,03... 0,18	0,10... 0,35
Сталь углеродистая	—	—	—	150...300	0,03... 0,14	0,10... 0,35

## Приложение 3. ТОЧНОСТЬ ОТВЕРСТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ СВЕРЛЕНИЕМ

Интервалы диаметров, мм	Сверление без кондуктора	Сверление по кондуктору
	Допуски на диаметр отверстия, мм	
От 3 до 6	+0,16	+0,08
Св. 6 до 10	+0,20	+0,10
Св. 10 до 18	+0,24	+0,12
Св. 18 до 30	+0,28	+0,14
Св. 30 до 50	+0,34	+0,17
Св. 50 до 80	+0,40	—

## Приложение 4. ОПЕРАЦИОННЫЕ ПРИПУСКИ И ДОПУСКИ НА РАСТАЧИВАНИЕ

Интервалы диаметров, мм	Растачивание	Чистовое растачивание	Черновое растачивание	Чистовое растачивание
	Припуск на диаметр, мм		Допуск на диаметр, мм	
От 3 до 6	—	—	—	—
Св. 6 до 10	—	—	+0,10	—
Св. 10 до 18	0,8	0,5	+0,12	+0,070
Св. 18 до 30	1,2	0,8	+0,14	+0,084
Св. 30 до 50	1,5	1,0	+0,17	+0,10
Св. 50 до 80	2,0	1,0	+0,20	+0,12
Св. 80 до 120	2,0	1,3	+0,20	+0,14
Св. 120 до 180	2,0	1,5	+0,26	+0,16

## Приложение 5. ОПЕРАЦИОННЫЕ ПРИПУСКИ И ДОПУСКИ НА ВНУТРЕННЕЕ ШЛИФОВАНИЕ

Интервалы диаметров, мм	Вариант 1	Вариант 2		Вариант 3		Черновое шлифование после термообработки
	Окончательное шлифование	Шлифование после термообработки		Черновое шлифование до термообработки	Чистовое шлифование после термообработки	
		черновое	чистовое			
Припуск на диаметр, мм						Допуск, мм
От 3 до 6	0,2	—	0,1	0,2	—	—
Св. 6 до 10	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	+0,035
Св. 10 до 18	0,3	0,2	0,1	0,3	0,3	+0,045
Св. 18 до 30	0,3	0,2	0,1	0,3	0,4	+0,05
Св. 30 до 50	0,4	0,3	0,1	0,3	0,4	+0,06
Св. 50 до 80	0,5	0,3	0,2	0,3	0,5	+0,07
Св. 80 до 120	0,5	0,3	0,2	0,3	0,5	+0,08

## Приложение 6. ОПЕРАЦИОННЫЕ ПРИПУСКИ И ДОПУСКИ НА ЗЕНКЕРОВАНИЕ

Интервалы диаметров, мм	Припуск на зенкерование, мм	Допуск на диаметр отверстия, мм
Св. 10 до 18	0,8	+0,12
Св. 18 до 30	1,2	+0,14
Св. 30 до 50	1,5	+0,17

## Приложение 7. ОПЕРАЦИОННЫЕ ПРИПУСКИ И ДОПУСКИ НА РАЗВЕРТЫВАНИЕ

Интервалы диаметров, мм	Припуск на диаметр, мм			Допуск на диаметр, мм
	Развертывание	Черновое развертывание	Чистовое развертывание	Черновое развертывание
От 3 до 6	—	0,15	0,05	+0,025
Св. 6 до 10	0,2	0,2	0,1	+0,030
Св. 10 до 18	0,2	0,2	0,1	+0,035
Св. 18 до 30	0,3	0,2	0,1	+0,045

## Приложение 8. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ПРИПУСКИ НА ТОНКОЕ РАСТАЧИВАНИЕ

Окончательный диаметр обработки, мм	Припуск на диаметр при тонком растачивании, мм								Точность (допуск) обработки на предыдущей операции, мм	
	алюминия		баббита		бронзы и чугуна		стали			
	предварительном	окончательном	предварительном	окончательном	предварительном	окончательном	предварительном	окончательном	Подготовительное растачивание перед тонким растачиванием	Предварительное чистовое растачивание перед окончательным
До 30	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	+0,084	+0,04
Св. 30 до 50	0,3	0,1	0,4	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	+0,10	+0,05
Св. 50 до 80	0,4	0,1	0,5	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	+0,12	+0,06
Св. 80 до 120	0,4	0,1	0,5	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	+0,14	+0,07
Св. 120 до 180	0,5	0,1	0,6	0,1	0,4	0,1	0,3	0,1	+0,15	+0,08

## Приложение 9. ОПЕРАЦИОННЫЕ ПРИПУСКИ НА ФРЕЗЕРОВАНИЕ ПЛОСКОСТЕЙ

Толщина заготовки, мм	Черновое фрезерование после грубого						Чистовое фрезерование после черного					
	Ширина фрезерования до 200 мм			Ширина фрезерования св. 200 до 400 мм			Ширина фрезерования до 200 мм			Ширина фрезерования св. 200 до 400 мм		
	Припуск, мм, на толщину при длине фрезерования, мм											
	до 100	св. 100 до 250	св. 250 до 400	до 100	св. 100 до 250	св. 250 до 400	до 100	св. 100 до 250	св. 250 до 400	до 100	св. 100 до 250	св. 250 до 400
Св. 6 до 30	1,0	1,2	1,5	1,2	1,5	1,7	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Св. 30 до 50	1,0	1,5	1,7	1,5	1,5	2,0	1,0	1,0	1,2	1,0	1,2	1,2
Св. 50	1,5	1,7	2,0	1,7	2,0	2,5	1,0	1,3	1,5	1,3	1,5	1,5



## Список литературы

1. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения : учебник / И.М.Колесов. — М. : Машиностроение, 1997. — 592 с.
2. Новиков В.Ю. Технология станкостроения : учеб. пособие / В.Ю.Новиков, А.Г.Схиртладзе. — М. : Машиностроение, 1990. — 256 с.
3. Программное управление станками и промышленными роботами / [В.Л.Косовский, А.Н.Козырев, В.А.Ковшов и др.]. — М. : Высш. шк., 1986. — 287 с.
4. Проектирование технологии : учебник / [И.М.Баранчукова, А.А.Гусев, Ю.Б.Крамаренко и др.] ; под общ. ред. Ю.М.Соломенцева. — М. : Машиностроение, 1990. — 416 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — Т. 1. — 656 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — Т. 2. — 496 с.
7. Шишмарёв В.Ю. Машиностроительное производство : учебник / В.Ю.Шишмарёв, Т.И.Каспина. — 2-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2006. — 352 с.

Предисловие.....	4
<b>Глава 1. Методы обработки основных поверхностей деталей машин</b> .....	6
1.1. Обработка наружных поверхностей тел вращения (валов) .....	6
1.2. Обработка внутренних поверхностей тел вращения (отверстий) .....	42
1.3. Образование резьбовых поверхностей .....	63
1.4. Обработка плоских поверхностей .....	77
1.5. Обработка сложных поверхностей .....	89
1.6. Обработка зубчатых поверхностей .....	95
1.7. Обработка шлицевых поверхностей .....	124
1.8. Особые методы обработки .....	131
1.9. Балансировка деталей машин .....	148
<b>Глава 2. Технологические процессы изготовления типовых деталей машин</b> .....	152
2.1. Изготовление корпусных деталей .....	152
2.2. Изготовление валов .....	167
2.3. Изготовление зубчатых колес .....	198
<b>Глава 3. Технология сборки машин</b> .....	217
3.1. Общие сведения о качестве машин .....	217
3.2. Основные понятия процесса сборки .....	221
3.3. Виды соединений и точность сборки .....	224
3.4. Сборочные размерные цепи .....	233
3.5. Разработка технологического процесса сборки машины .....	239
3.6. Особенности сборки типовых соединений и сборочных единиц машины .....	250
3.7. Технологический контроль точности сборки .....	296
3.8. Общие сведения об автоматической сборке изделий .....	317
<b>Глава 4. Автоматизированное проектирование технологических процессов</b> .....	327
4.1. Основные положения и организация автоматизированного технологического проектирования .....	327
4.2. Структура и задачи систем автоматизированного проектирования технологических процессов .....	330

<b>Глава 5. Программирование обработки поверхностей деталей на станках с ЧПУ различных групп .....</b>	<b>340</b>
5.1. Общая последовательность работ при программировании обработки деталей на станках с ЧПУ различных групп.....	340
5.2. Процессы обработки отверстий .....	346
5.3. Токарные операции.....	356
5.4. Фрезерные операции .....	384
5.5. Особенности процессов обработки деталей на многоцелевых станках.....	395
<b>Глава 6. Организация работы на станках с ЧПУ .....</b>	<b>401</b>
6.1. Последовательность работ по освоению и промышленной эксплуатации станков с ЧПУ .....	401
6.2. Подготовка технологической документации на операции, выполняемые на станках с ЧПУ .....	403
<b>Глава 7. Охрана труда и окружающей среды в цехах предприятия ....</b>	<b>409</b>
7.1. Организация на предприятии службы охраны труда .....	409
7.2. Техника безопасности при работе на металлорежущих станках.....	411
7.3. Электробезопасность в механических и сборочных цехах .....	415
7.4. Меры безопасности при работе с пневматическим инструментом на балансировочных станках.....	417
7.5. Меры пожарной безопасности .....	418
7.6. Охрана окружающей среды .....	420
<b>Приложения .....</b>	<b>422</b>
Приложение 1. Операционные припуски и допуски на наружное круглое шлифование .....	422
Приложение 2. Режимы тонкого точения .....	423
Приложение 3. Точность отверстий, получаемых сверлением .....	423
Приложение 4. Операционные припуски и допуски на растачивание.....	424
Приложение 5. Операционные припуски и допуски на внутреннее шлифование .....	424
Приложение 6. Операционные припуски и допуски на зенкерование .....	425
Приложение 7. Операционные припуски и допуски на развертывание .....	425
Приложение 8. Рекомендуемые припуски на тонкое растачивание .....	425
Приложение 9. Операционные припуски на фрезерование плоскостей .....	426
Приложение 10. Рекомендуемые припуски на шлифование плоскостей .....	427
<b>Список литературы .....</b>	<b>428</b>

*Учебное издание*

**Новиков Владимир Юрьевич,  
Ильянков Александр Иосифович**

**Технология машиностроения**

**Часть 2**

**Учебник**

4-е издание, стереотипное

Редакторы *Е. Б. Махиянова, С. И. Зубкова, О. В. Попова*

Технический редактор *О. Н. Крайнова*

Компьютерная верстка: *С. Ф. Федорова*

Корректор *С. Ю. Свиридова*

Изд. № 104114245. Подписано в печать 02.09.2014. Формат 60×90/16.

Гарнитура «Балтика». Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 27,0. Тираж 1 000 экз. Заказ № 2263.

ООО «Издательский центр «Академия». [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)

129085, Москва, пр-т Мира, 101в, стр. 1.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-0029.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 16592 от 29.04.2014.

Отпечатано с электронных носителей издательства.

ОАО «Тверской полиграфический комбинат», 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.

Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.

Home page — [www.tverpk.ru](http://www.tverpk.ru) Электронная почта (E-mail) — [sales@tverpk.ru](mailto:sales@tverpk.ru)