

**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 151901 «Технология машиностроения»*

*Регистрационный номер рецензии 439  
от 28 ноября 2010 г. ФГУ «ФИРО»*

2-е издание, переработанное



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2012

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. Твердыгин*

**Новиков В. Ю.**

Н731      Технология машиностроения : в 2 ч. — Ч. 2 : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. Ю. Новиков, А. И. Ильянков. — 2-е изд., перераб. — М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 432 с.

ISBN 978-5-7695-8245-5

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 151901 «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 978-5-7695-8245-5 (ч. 2)  
ISBN 978-5-7695-8244-8

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

## Уважаемый читатель!

Данный учебник предназначен для изучения предмета «Технология машиностроения» и является частью учебно-методического комплекта по специальности «Технология машиностроения».

Учебно-методический комплект по специальности — это основная и дополнительная литература, позволяющая освоить специальность, получить профильные базовые знания. Комплект состоит из модулей, сформированных в соответствии с учебным планом, каждый из которых включает в себя учебник и дополняющие его учебные издания — лабораторный практикум, курсовое проектирование, плакаты, справочники и многое другое. Модуль полностью обеспечивает изучение каждой дисциплины, входящей в учебную программу. Все учебно-методические комплекты разработаны на основе единого подхода к структуре изложения учебного материала.

Важно отметить, что разработанные модули дисциплин, входящие в учебно-методический комплект, имеют самостоятельную ценность и могут быть использованы при выстраивании учебно-методического обеспечения образовательных программ обучения по смежным специальностям.

Учебно-методический комплект разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования.

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. Общее представление 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);
- допускаяемая 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

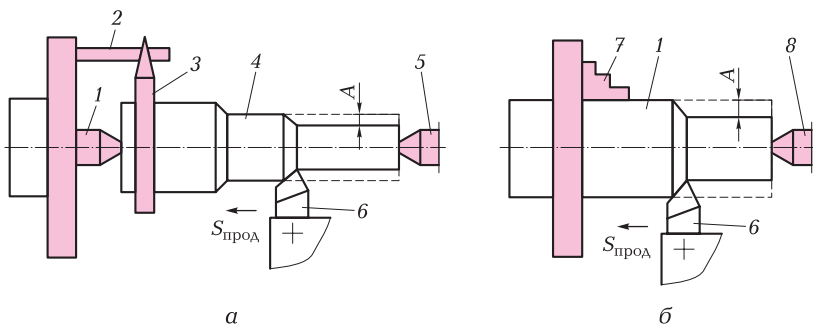


Рис. 1.1. Схемы установки заготовки на токарном станке: а — в центрах; б — в самоцентрирующем патроне

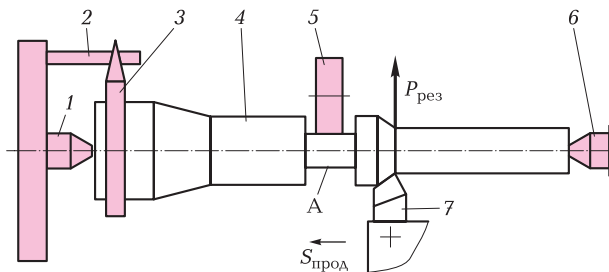


Рис. 1.2. Схема использования люнета при обтачивании

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-

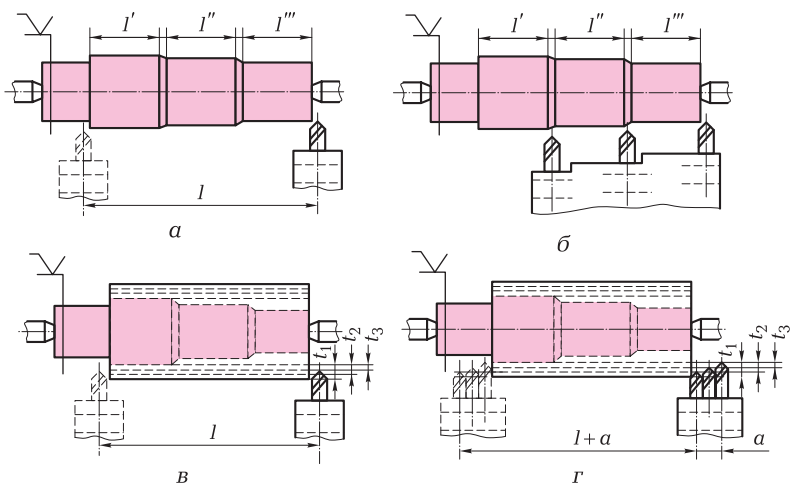


Рис. 1.3. Схемы обработки наружной поверхности ступенчатого вала: а — на универсальном токарном станке; б — на многорезцовом токарном станке; в — за несколько рабочих ходов; г — с применением нескольких резцов



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-

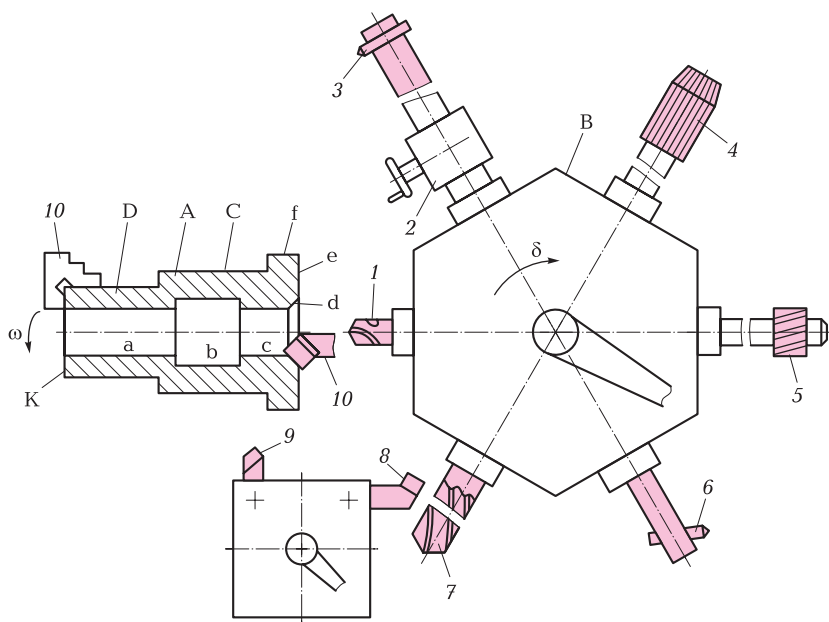


Рис. 1.4 Схема наладки на токарно-револьверном станке

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 6.
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

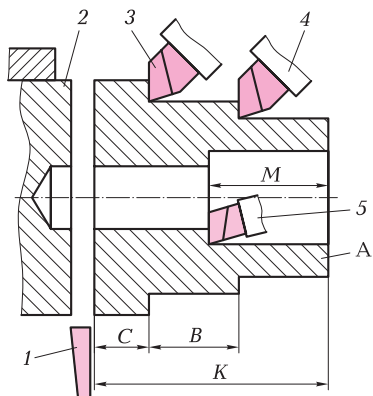


Рис. 1.5. Схема очередности настройки упоров

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.

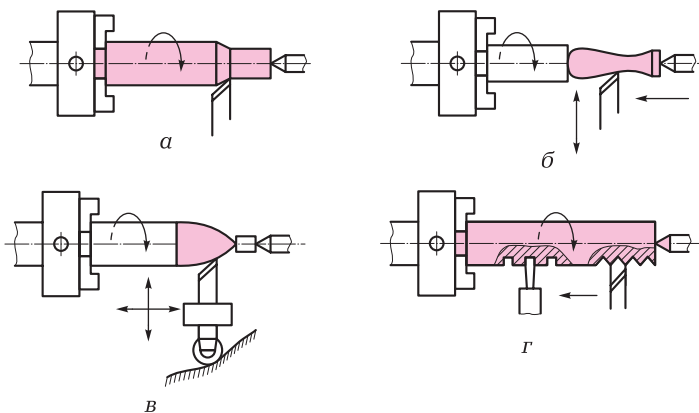


Рис. 1.6. Схемы обработки наружных поверхностей тел вращения на токарных станках:

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. Достижимая 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 многшпиндельные 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.

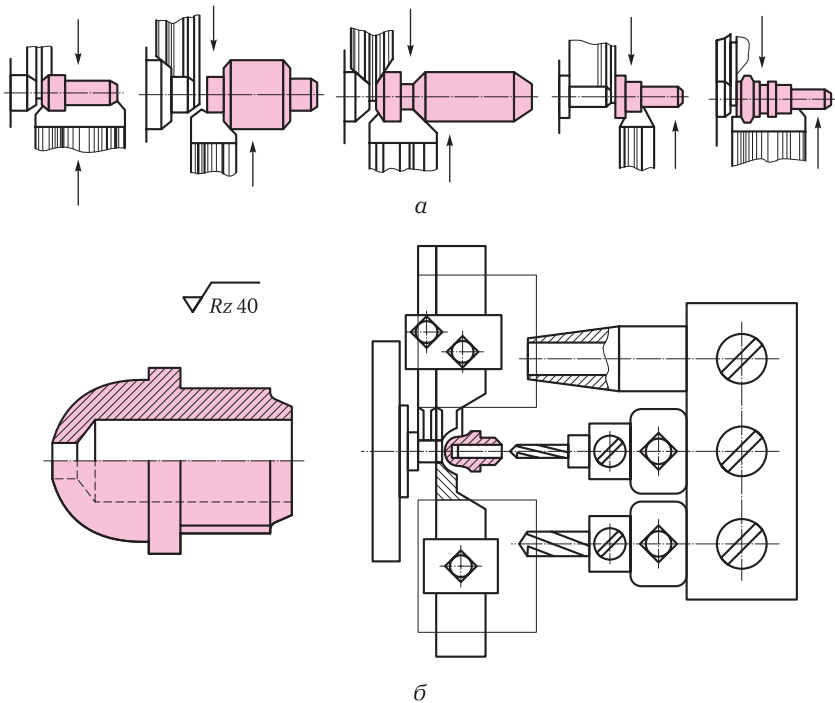


Рис. 1.7. Схемы обтачивания фасонных поверхностей на фасонно-отрезных автоматах:

*а* — обработка типовых деталей; *б* — обработка на станке, оснащённом дополнительным приспособлением для центрирования, сверления и развёртывания

**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.

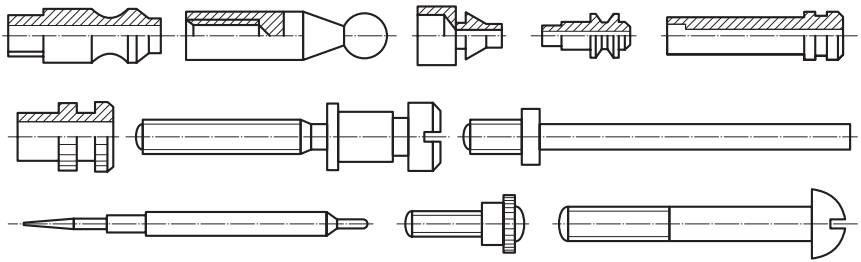


Рис. 1.8. Типовые детали, обрабатываемые на автоматах фасонно-продольного точения

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



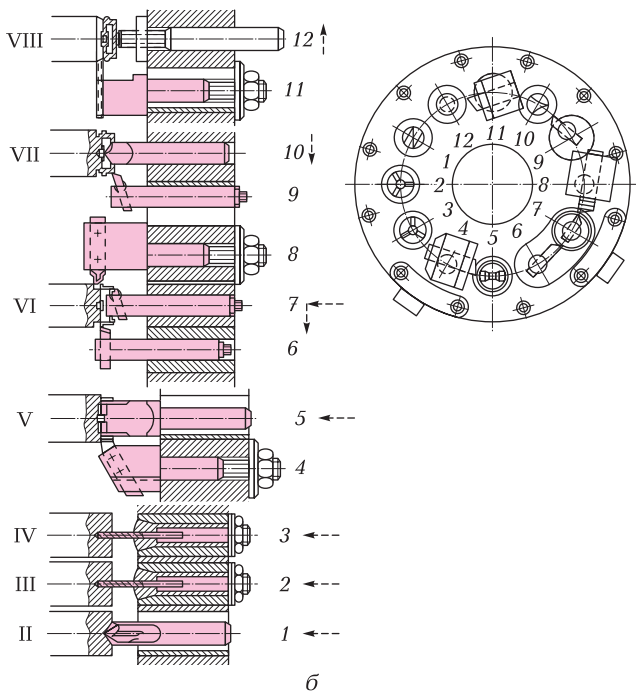
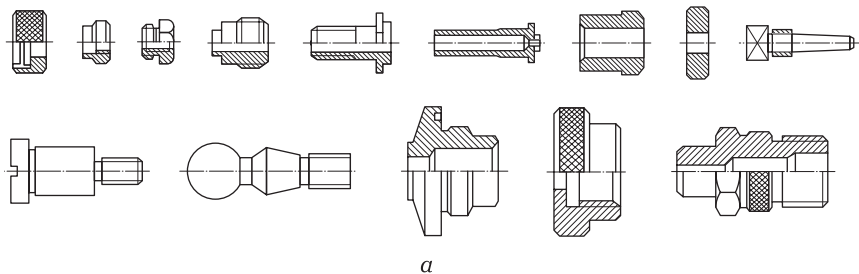


Рис. 1.9. Типовые детали (а) и этапы наладки (б) токарно-револьверного автомата для обработки детали из пруткового материала:  
1—12 — номера гнезд; II—VIII — этапы наладки

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

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

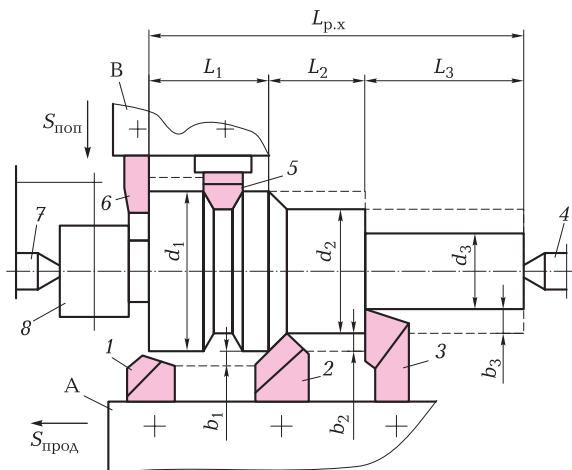


Рис. 1.10. Схема обработки на многорезцовом станке

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

$$L_{p.x} = L_1 + L_2 + L_3.$$

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

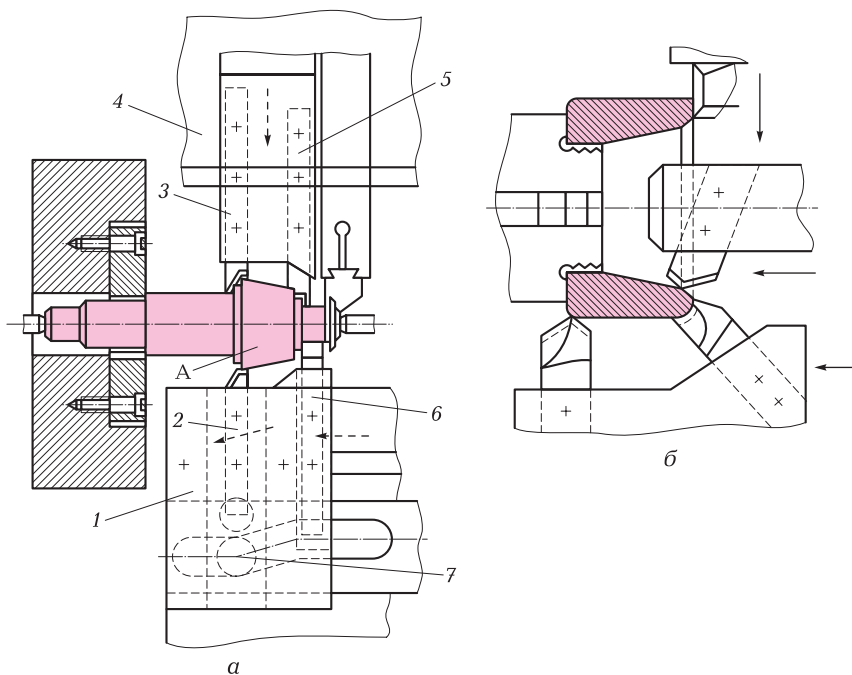


Рис. 1.11. Технологические схемы обработки на центровом (а) и патронном (б) одношпиндельных полуавтоматах

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.

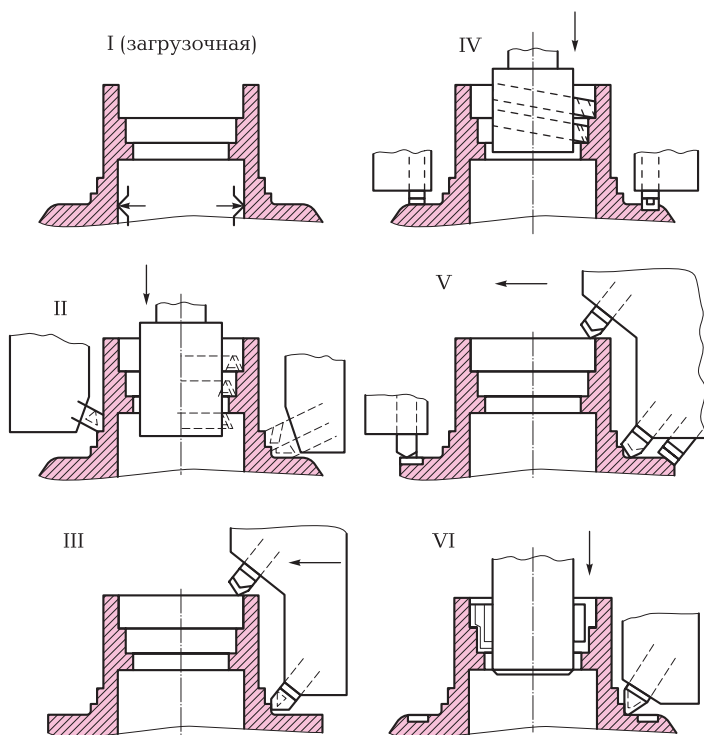


Рис. 1.12. Технологическая схема обработки заготовки на вертикальном шестипозиционном полуавтомате

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

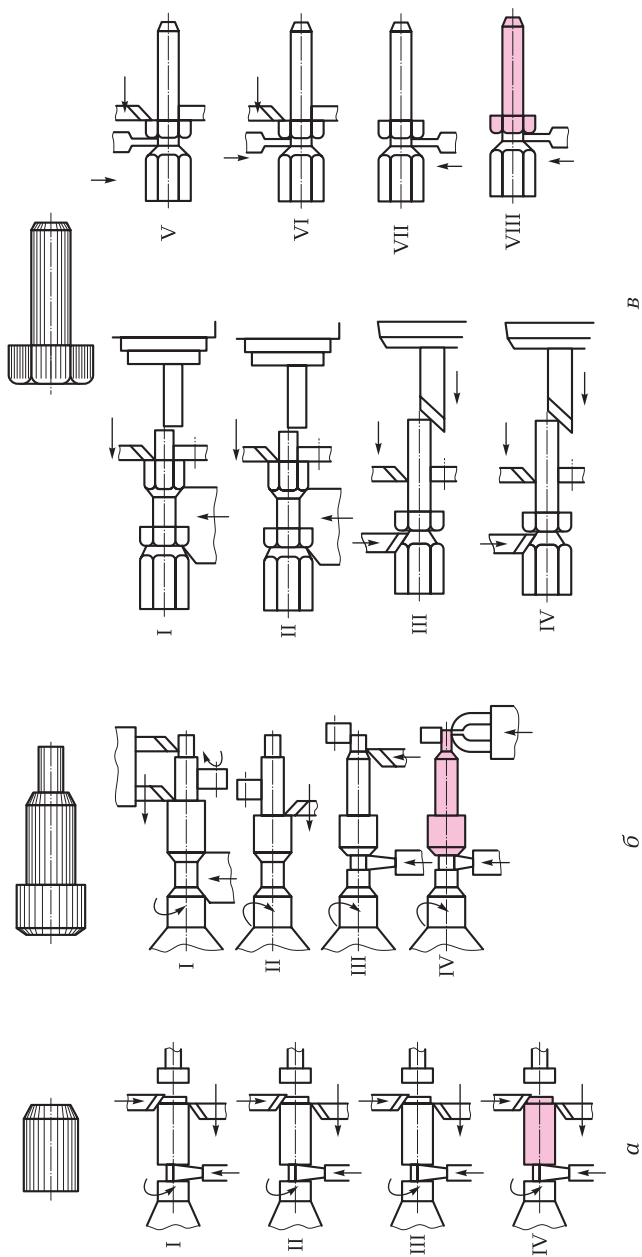


Рис. 1.13. Примеры обработки заготовок из прутка на многошпиндельном автомате параллельным (а), последовательным (б) и параллельно-последовательным (в) методами:  
 I—VIII — номера позиций

группы 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 четырехшпindelного 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.

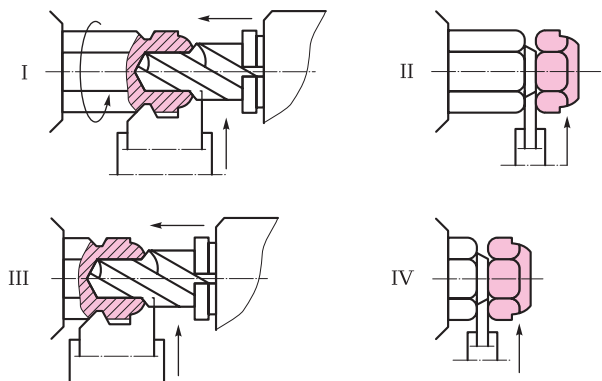


Рис. 1.14. Пример наладки четырехшпindelного автомата для изготовления фасонных гаек

**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.

**Электрокорунг** — это кристаллический оксид алюминия ( $Al_2O_3$ ), получаемый плавкой в электрических печах бокситовой руды. **Белый электрокорунг** 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, глифталевою и металлическую. Наибольшее распространение в машиностроении получила **керамическая связка**, которую изготавливают из огнеупорной глины, полевого шпата и



кварца. Достоинства керамической связки — огне- и водостойкость, бóльшая 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.

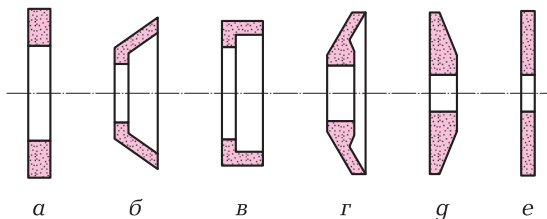


Рис. 1.15. Формы абразивных кругов (а—е)

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 *b* 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  $\omega_{зар}$ . Ширину  $B$  шлифовального круга 5, вращающегося с угловой скоростью  $\omega_{кр}$ , выбирают меньше длины  $L$

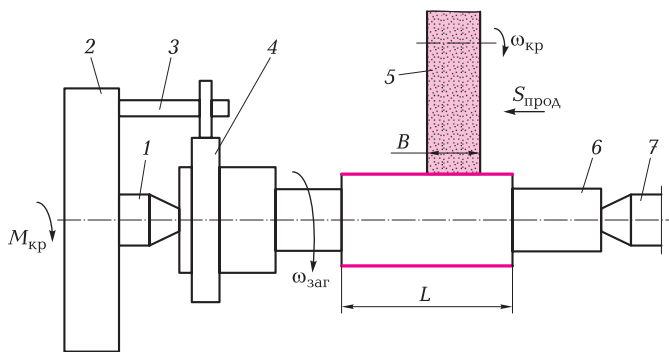


Рис. 1.16. Схема шлифования с продольной подачей

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 ( $S_{\text{прод}} = (0,3...0,8)B$ ).

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  $2$  ( $S_{\text{прод}} = (0,1...0,15)B$ ). 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

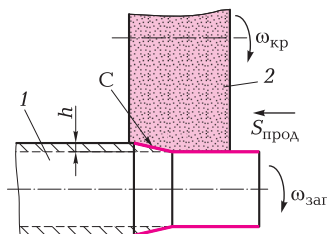


Рис. 1.17. Схема глубинного шлифования

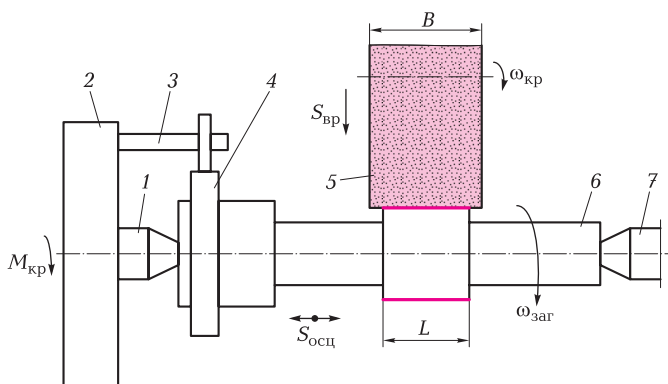


Рис. 1.18. Схема шлифования методом врезания

больше длины  $L$  обрабатываемой поверхности. Заготовка вращается с круговой подачей  $\omega_{\text{заг}}$ , а абразивный круг вращается с угловой скоростью  $\omega_{\text{кр}}$ . Поперечная подача  $S_{\text{вп}}$  (врезание) на один оборот заготовки  $b$  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  $S_{\text{осц}}$  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 concentricности внешней поверхности к внутренней.

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

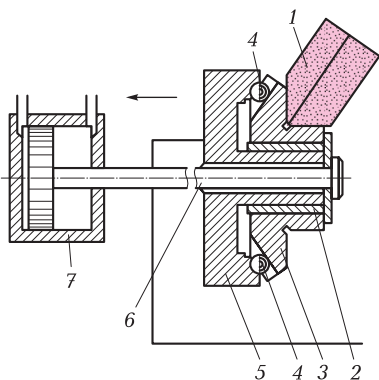


Рис. 1.19. Схема обработки поверхностей круглым наружным шлифовальным кругом с угловым расположением шлифовального круга

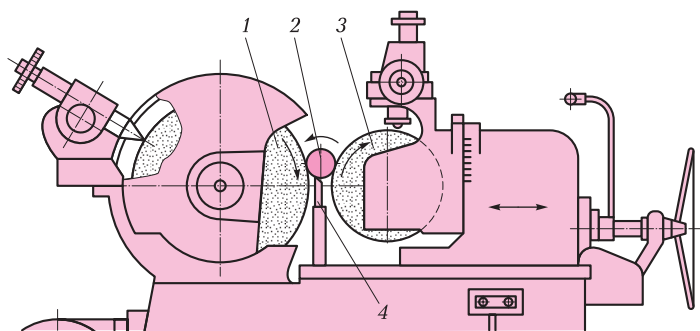


Рис. 1.20. Общий вид бесцентрово-шлифовального станка

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  $\alpha = 1 \dots 7^\circ$ ) 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-

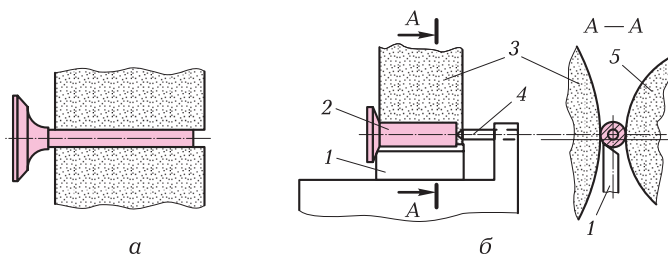


Рис. 1.21. Схемы обработки на бесцентрово-шлифовальном станке гладких цилиндрических деталей с буртиком:

*a* — 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.

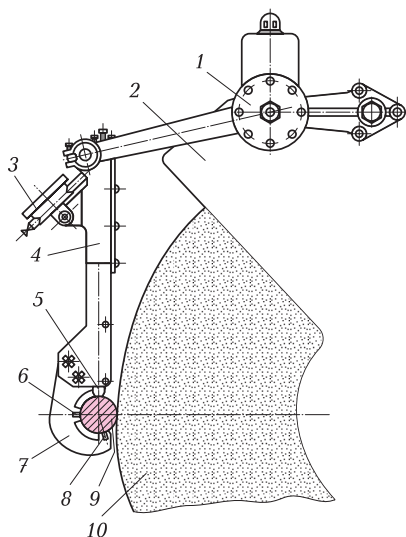


Рис. 1.22. Схема прибора для контроля диаметров валов в процессе шлифования