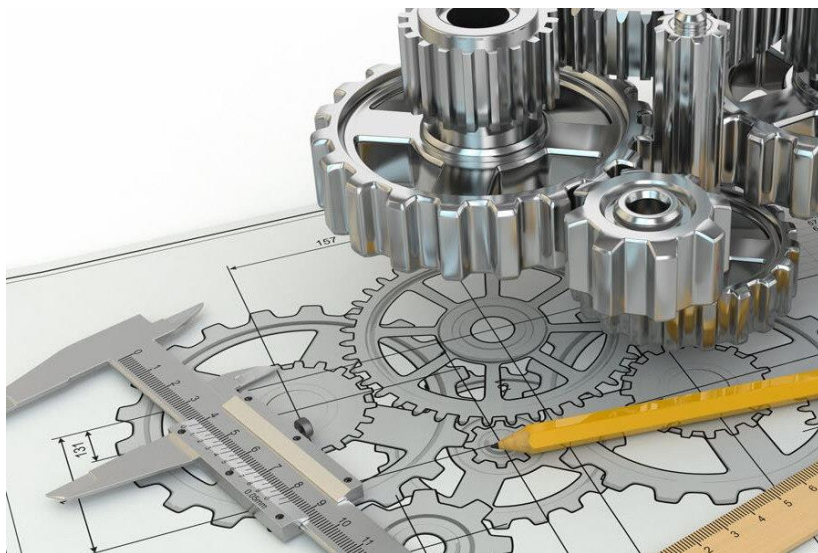


**И. Н. ШУБИН, Т. В. ПАСЬКО**

# **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**В ДВУХ ЧАСТЯХ**

**ЧАСТЬ 1**



**Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2023**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

И. Н. ШУБИН, Т. В. ПАСЬКО

# ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В ДВУХ ЧАСТЯХ

ЧАСТЬ 1

Утверждено Ученым советом университета  
в качестве учебного пособия для бакалавров  
направлений подготовки 15.03.02 «Технологические машины  
и оборудование», 28.03.02 «Наноинженерия»  
очной и заочной форм обучения

*Учебное электронное издание*



---

Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2023

УДК 621  
ББК 34.5  
Ш95

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Компьютерно-интегрированные системы  
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

*В. Г. Мокрозуб*

Главный технолог АО «Тамбовский завод «Комсомолец»  
имени Н. С. Артемова»

*С. В. Порошин*

**Шубин, И. Н.**

Ш95 Основы технологии машиностроения [Электронный ресурс] : учебное  
пособие : в 2-х ч. / И. Н. Шубин, Т. В. Пасько. – Тамбов : Издательский  
центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023.

ISBN 978-5-8265-2664-4

Ч. 1. – 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные  
требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ;  
4,40 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2670-5

Основное содержание первой части учебного пособия, состоящего из двух  
частей, составляют разделы, посвященные технологическим основам обеспечения  
качества изделий в машиностроении, а также проектирования и расчетов техноло-  
гических процессов. За основу приняты типовые технологические процессы, про-  
шедшие апробацию в промышленности и базирующиеся на результатах научных  
исследований и прогрессивном опыте машиностроительных заводов.

Предназначено для бакалавров направлений подготовки 15.03.02 «Технологиче-  
ские машины и оборудование», 28.03.02 «Наноинженерия» очной и заочной форм  
обучения.

УДК 621  
ББК 34.5

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.  
Незаконное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-2664-4 (общ.)  
ISBN 978-5-8265-2670-5 (ч. 1)

© Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический  
университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2023

## ВВЕДЕНИЕ

---

Курс «Основы технологии машиностроения» является важнейшей частью комплекса инженерно-технологических дисциплин и базируется на ранее изученных предметах – «Материаловедение и ТКМ», «Основы проектирования», «Детали машин», «Метрология и стандартизация».

Основы технологии машиностроения – наука о производстве деталей машин и аппаратов – изучает технологические процессы, применяемые на машиностроительных предприятиях при изготовлении изделий требуемого качества, в установленном программой количестве и при наименьшей себестоимости.

Основы технологии машиностроения рассматривает методы разработки и построения рациональных технологических процессов, выбор способа получения заготовки, технологического оборудования, инструмента и приспособлений, назначение режимов резания и установление технически обоснованных норм времени. Основное содержание данного учебного пособия, состоящего из двух частей, представляют разделы, посвященные разработке технологических процессов изготовления типовых деталей, изложены по единому плану в соответствии со стандартами разработки и постановки изделий на производство. За основу приняты типовые технологические процессы, прошедшие апробацию в промышленности и базирующиеся на результатах научных исследований и прогрессивном опыте машиностроительных заводов.

# **1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

---

## **1.1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Совершенствование современного машиностроительного производства тесно связано с развитием технологии как науки. Велика роль технологии в интенсификации производства, повышении его рентабельности, улучшении качества выпускаемой продукции. Развитие и внедрение прогрессивных технологий характеризуется быстрой окупаемостью. Можно выделить следующие направления развития технологии на современном этапе:

- 1) разработка научных основ технологии машиностроения (ТМ);
- 2) разработка теории и методик построения высокопроизводительных операций и процессов обработки и сборки;
- 3) разработка и внедрение методов малоотходной, малоэнергоёмкой и упрочняющей технологии;
- 4) технологическое обеспечение надежности изделий;
- 5) повышение уровня технологичности конструкции изделия;
- 6) автоматизация и механизация механосборочного производства (использование промышленных роботов, роторных и конвейерных линий, станков с ЧПУ и т.д.);
- 7) разработка методов типизации ТП, групповой обработки и сборки;
- 8) совершенствование технологической оснастки, автоматизация сборки;
- 9) применение методов автоматизированного проектирования технологических процессов обработки и сборки;
- 10) разработка САПР ТМ.

## **1.2. КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ (ПРОДУКЦИИ) В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Понятие качества изделия – сложное и многогранное понятие. В самом широком смысле качество продукта – это способность продукта соответствовать или превосходить ожидания потребителя. Интенсивная глобальная конкуренция выдвинула на первый план растущую важность качества. Превосходное качество больше не отличает

конкурентов; вместо этого оно подтверждает конкурентоспособность продукции. Данное понятие можно описать следующими характеристиками:

1) производительность – является важнейшим параметром продукта;

2) свойства изделия – дополнительные характеристики, повышающие привлекательность товара для покупателя, это второстепенные аспекты производительности;

3) надежность – вероятность того, что продукт не выйдет из строя в течение определенного периода времени при использовании;

4) соответствие – точность, с которой продукт соответствует указанным стандартам;

5) долговечность измеряет продолжительность срока службы продукта;

6) удобство обслуживания – скорость, простота и затраты, с которыми продукт может быть снова введен в эксплуатацию в случае его поломки;

7) эстетика относится к тому, как продукт выглядит, ощущается, звучит и т.д., это вопрос личного суждения и отражение индивидуальных предпочтений;

8) воспринимаемое качество – качество, приписываемое покупателем, можно отметить, что восприятие не всегда соответствует действительности.

### **1.3. ТОЧНОСТЬ И СПОСОБЫ ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Точность обработки является важным критерием оценки производительности станков. Факторы, влияющие на точность обработки, в основном включают геометрические ошибки, ошибки деформации силы резания, ошибки сборки компонентов станка и ошибки термической деформации. Поэтому при изготовлении деталей невозможно достичь абсолютно точных номинальных размеров, необходимо при составлении рабочих чертежей назначать допускаемые отклонения от начальных размеров.

Точность детали оценивается следующими показателями:

– точность размеров (допускаемые отклонения действительных размеров от номинальных JT01 – JT17) (рис. 1);

– точность формы поверхности (допускаемые отклонения от геометрической формы – овальность, огранка, некруглость, неплоскостность, нецилиндричность, непрямолинейность и т.д.) (рис. 2);

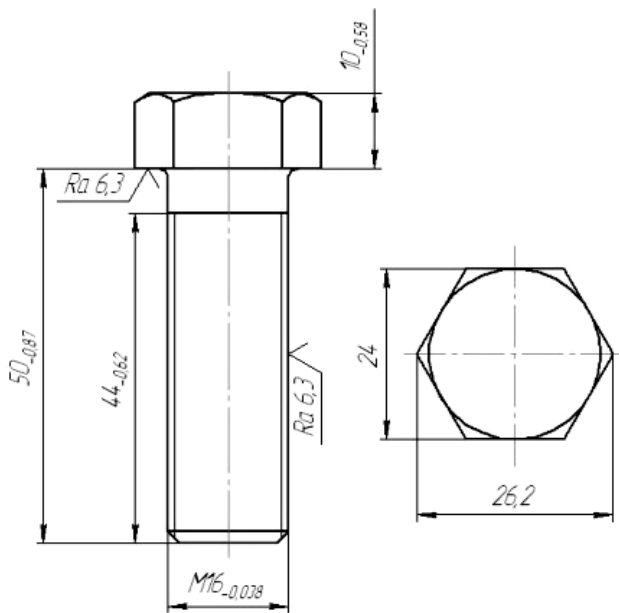


Рис. 1. Отклонения размеров и шероховатость поверхностей

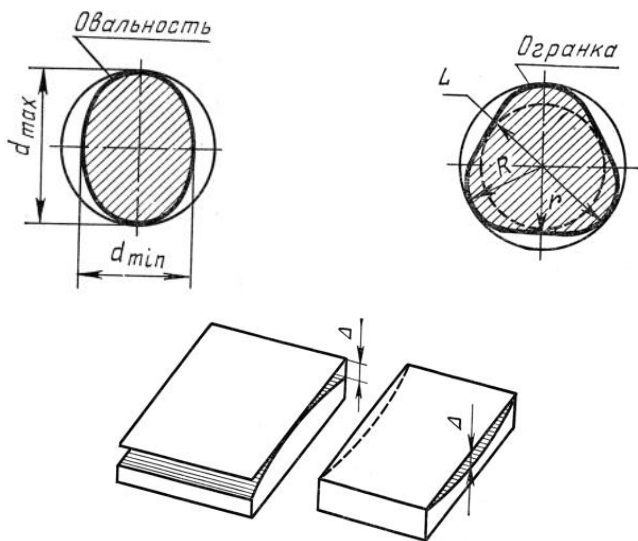
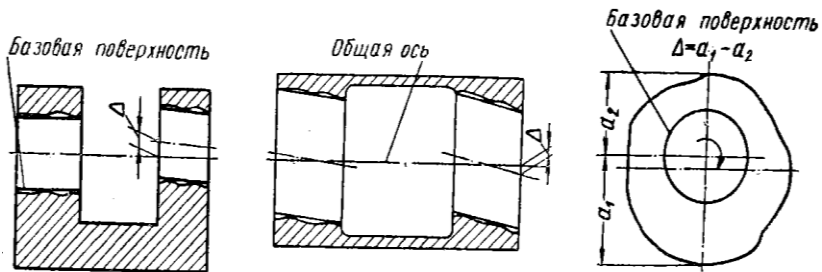


Рис. 2. Отклонения от геометрической формы



**Рис. 3. Несоосность поверхностей**

– точность взаимного расположения поверхностей (допускаемые отклонения поверхностей и осей от их взаимного расположения или расположения относительно базы – несоосность, торцовое или радиальное биение, отклонение от перпендикулярных и параллельных плоскостей или осей и т.д.) (рис. 3);

– шероховатость поверхности (микрогеометрические отклонения).

*Точность обрабатываемой детали* – степень соответствия ее всем требованиям рабочего чертежа, технических условий и стандартов. Чем выше это соответствие, тем выше точность изготовления. Действительные отклонения параметров реальной детали от заданных номинальных их значений – *погрешность обработки*.

Заданная точность обработки может быть достигнута следующими основными методами.

1. *Метод пробных рабочих ходов* заключается в индивидуальной выверке устанавливаемой на станок заготовки, последовательного снятия стружки с короткого участка путем пробных рабочих ходов, сопровождаемых пробными замерами. Окончательная обработка проводится по всей длине заготовки после корректировки положения режущего инструмента по данным пробных замеров.

*Достоинства метода:*

1) на неточном оборудовании можно получить высокую точность;

2) исключается влияние износа режущего инструмента на точность, так как при проведении пробных ходов и замеров корректируется положение инструмента;

3) исключает необходимость пользоваться сложными и дорогостоящими приспособлениями (кондукторами, поворотные и делительные головки и т.д.).



*Недостатки:*

1) зависимость достигаемой точности от толщины снимаемой стружки, т.е. нет возможности внести поправку в размер меньше толщины стружки;

2) высокая квалификация исполнителя;

3) низкая производительность, высокая себестоимость.

Используется в единичном, мелкосерийном производстве. В серийном – «спасение брака».

2. *Метод автоматического получения заданного размера* заключается в том, что партию заготовок обрабатывают на предварительно настроенном станке с установкой заготовок в приспособление без выверки их положения, а режущий инструмент при наладке станка устанавливают на определенный размер, называемый *настроечным*. Метод более производительен, так как обработка ведется за один проход, а затраты времени на предварительную наладку раскладываются на всю партию деталей. Применяется в серийном и массовом производстве.

*Преимущества:*

1) повышение точности и снижение брака;

2) рост производительности;

3) низкая квалификация рабочих.

Применяется также такие методы как:

1) за один проход с установкой размера по лимбу (нужное деление – пробной обработкой одной детали, или по эталону) – мелко-среднесерийное производство;

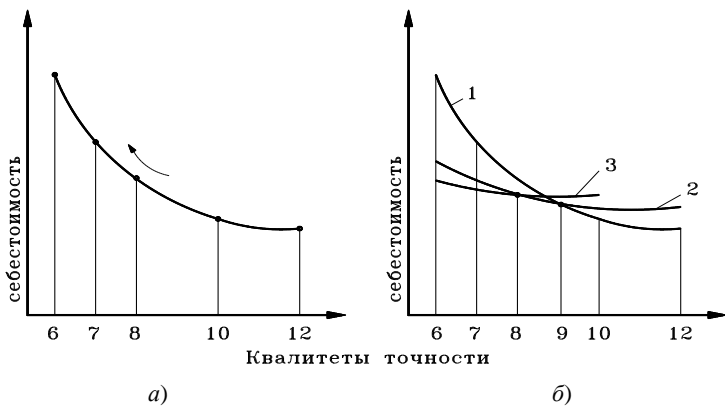
2) с использованием *подналадчика*, с использованием устройств, проводящих измерение на ходу – автоматизированное производство.

## **1.4. ВЛИЯНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ТОЧНОСТИ НА ТРУДОЕМКОСТЬ И СЕБЕСТОИМОСТЬ**

При обработке одной и той же заготовки с различной степенью точности изменяются трудоемкость и себестоимость: при изготовлении деталей с меньшим допуском (большей точностью) они возрастают (рис. 4, а).

Это объясняется тем, что для достижения заданной точности обработки приходится применять больше технологических методов. Например, точение, шлифование, полирование и т.д.

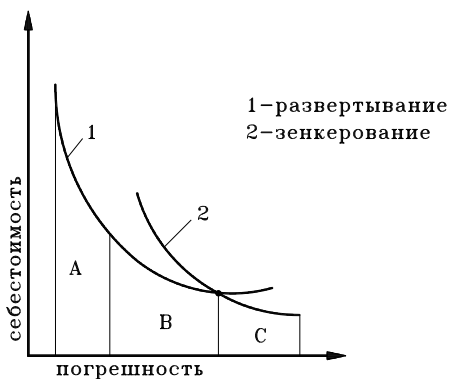
На рисунке 4, б показано влияние отдельных методов обработки на себестоимость. Очевидно, что экономически целесообразно достигнуть  $JT < 8$  – чистовым шлифованием;  $8 < JT < 9$  – предварительным шлифованием;  $JT > 9$  – чистовым точением.



**Рис. 4. Влияние точности обработки на себестоимость изделия:**  
 1 – чистовое точение; 2 – предварительное шлифование;  
 3 – чистовое шлифование

Показатель этой целесообразности – средняя экономическая точность определенного метода обработки, получаемая в нормальных производственных условиях с меньшими затратами, чем при других сопоставимых методах обработки (рис. 5).

Наряду со среднеэкономической точностью, различают также достижимую точность, обеспечение которой связано с большими затратами, так как требует специальных приемов, высокой квалификации рабочего, тщательной подготовки инструмента.



**Рис. 5. Зависимость себестоимости и погрешности от вида обработки:**  
 А – зона достигаемой точности обработки при развертывании;  
 В – зона достигаемой экономической точности обработки при развертывании;  
 С – зона достигаемой экономической точности обработки при зенкервании

## 1.5. ВИДЫ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Все *первичные* (элементарные) погрешности разделяют на:

1. *Систематические постоянные* – которые при обработке партии заготовок постоянны во времени по значению и знаку.

*Пример.* Погрешность размера режущего инструмента (зенкера, развертки, сверла), неточность формы фасонного резца, неперпендикулярность оси шпинделя и плоскости стола вертикально-сверлильного станка и др. Эти погрешности могут быть выявлены путем пробных замеров нескольких деталей.

2. *Систематические функциональные переменные*, которые в процессе обрабатывания закономерно меняются по времени, т.е. в зависимости от числа обрабатываемых изделий.

*Примеры.* Износ режущего инструмента, тепловые деформации ОЗПИ (оборудование, заготовка, приспособление, инструмент) до момента теплового равновесия и др.

Выявляются путем пробных замеров. Установив закон изменения, можно снизить и даже устранить указанные погрешности.

3. *Случайные погрешности*, которые для партии деталей имеют различные значения, предсказать их появление и характеризовать невозможно (делятся на непрерывные и дискретные).

*Примеры.* Погрешности установки детали и инструмента; упругое отжатие СПИД (станок, приспособление, инструмент, деталь), определяемое неравномерностью твердости заготовки, погрешности из-за неравномерности припуска на обработку и т.д. Основная масса случайных погрешностей – *непрерывные*, имеющие значения в пределах определенного интервала. Дискретные – встречаются редко (пример: погрешность регулировки при использовании устройств ступенчатого типа).

Для получения *результатирующей* погрешности необходимо суммировать погрешности по размеру и знаку. При этом делают это различными методами:

- а) систематические постоянные – алгебраически (с учетом их знаков);
- б) систематические переменные – арифметически;
- в) случайные – по правилу квадратного корня.

## 1.6. ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

### 1.6.1. Закон нормального распределения

Указанный метод используется для установления наиболее вероятного значения размеров обрабатываемой заготовки при данных условиях обработки. Метод основан на проведении обработки опытной партии заготовок с замерами требуемого параметра (размера). В полученном ряде размеров  $l_i$  выявляют предельные значения и определяют размах распределения  $\Delta P$ :

$$\Delta P = l_{\max} - l_{\min}.$$

Значения  $\Delta P$  разбивают на равные интервалы и определяют частоту повторений  $\omega$  отклонения размеров в каждом интервале:

$$\omega = \frac{m}{n},$$

где  $m$  – число заготовок, фактический размер которых находится в пределах данного интервала;  $n$  – общее число деталей в партии.

Далее строят график (полигон) распределения размеров (рис. 6).

*Пример:*  $n = 100$  шт.,  $\Delta P = 0,16$  мм, интервал –  $0,02$  мм.

I – размерная группа – 5 дет.  $\omega = 0,05$ ;

II – размерная группа – 13 дет.  $\omega = 13$  и т.д.

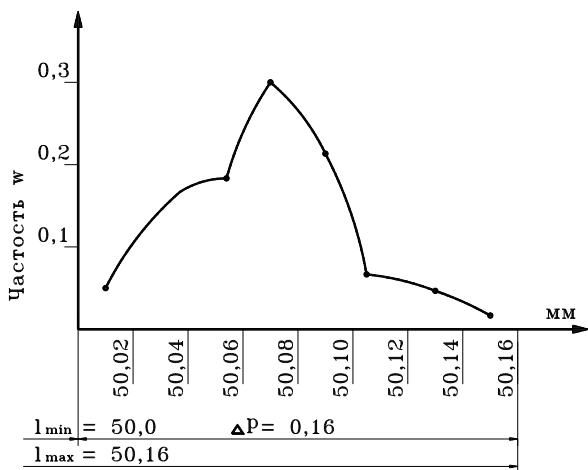


Рис. 6. Построение полигона распределения

Известно, что распределение суммы большого числа взаимно независимых случайных слагаемых величин с малым влиянием каждой на общую сумму при отсутствии доминирующих факторов подчиняется *закону нормального распределения*.

Для повышения плавности ломаной линии увеличивают число деталей ( $n$ ) и уменьшают интервал (например, принимают 0,01 мм).

Установлено, что при обработке заготовок способом автоматического получения размеров точность обработки подчиняется закону нормального распределения, который изображается математической кривой Гаусса (рис. 7) с уравнением

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $\sigma$  – среднеквадратное отклонение аргумента;  $l$  – основание натурального логарифма;  $a$  – центр группирования значений аргумента и в то же время среднearифметическое отклонение аргумента.

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{cp}})^2},$$

где  $n$  – число измерений;  $x_i$  – текущее значение измерения;  $x_{\text{cp}}$  – среднее арифметическое данных измерений.

$$x_{\text{cp}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Число  $n$  необходимо брать 50 и более.

Кривая нормального распределения симметрична. Ордината вершины  $Y_{\text{max}}$  будет при  $x = a$ ,

$$Y_{\text{max}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma}.$$

*Величина  $\sigma$*  характеризует форму кривой распределения и является *мерой точности данного метода* обработки. С увеличением точности обработки  $\sigma$  уменьшается.

На рисунке 8 показаны кривые распределения: после чернового точения ( $\sigma$ ); после чистового точения ( $\sigma_1$ ); после тонкого точения ( $\sigma_2$ ).

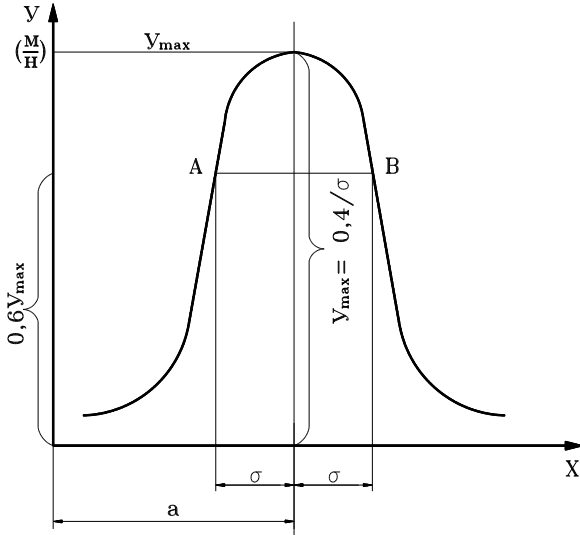


Рис. 7. Построение графика кривой Гаусса

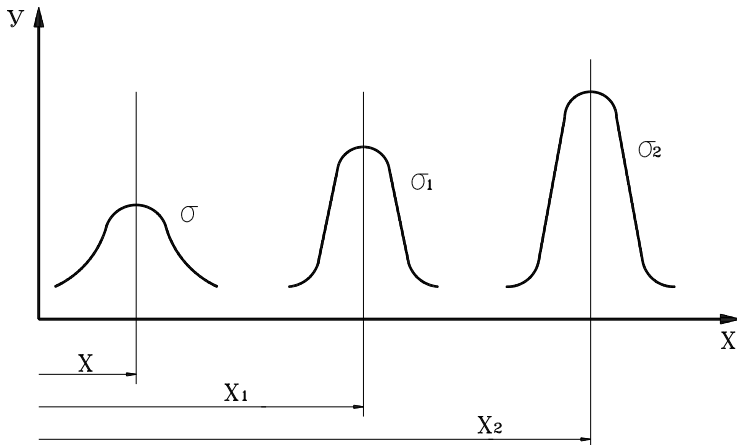


Рис. 8. Зависимость точности механической обработки на среднеквадратичное отклонение

Точка перегиба находится на расстоянии:

$$Y_A = Y_B = \frac{Y_{\max}}{\sqrt{l}} \approx 0,6Y_{\max}.$$

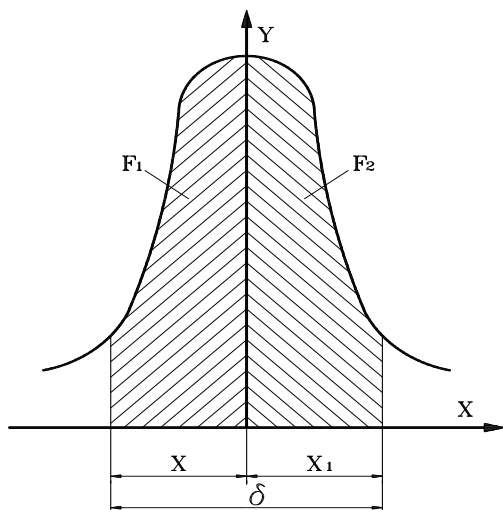
При правильном построении технологического маршрута обработки  $\sigma > \sigma_1 > \sigma_2$ .

Изучение кривых распределения погрешностей позволяет выявить соотношения между числом годных и бракованных изделий. Если на обработку установлен допуск  $\delta$ , который определяется величинами  $x_1$  и  $x_2$  от центра группирования, то заштрихованный участок соответствует числу заготовок, входящих в поле допуска (рис. 9).

Для определения площади (заштрихованной) необходимо проинтегрировать функцию  $y$  в пределах граничных значений  $x_1$  и  $x_2$ .

Установлено, что в интервале  $x = \pm 3\sigma$  площадь, ограниченная этим участком, составляет 0,9973 всей площади, т.е. 99,73% обработанных заготовок будут годными. Процент брака – 0,27. Таким образом, точность любого способа обработки можно установить по величине  $6\sigma$  (правило шести  $\sigma$ ), что достаточно точно для практических расчетов.

Закону Гаусса подчиняются многие непрерывные случайные величины: размеры детали; вес заготовок и деталей машин; твердость и другие характеристики механических свойств; высота микронеровностей на обработанных поверхностях; погрешности измерения и другие величины.



**Рис. 9. Определение соотношения бракованных и годных деталей в партии**

Метод оценки точности на основе кривых распределения универсален, позволяет объективно оценить точность механической обработки и других механических операций, но: не позволяет оценить изменения параметра во времени; нельзя определить переменные систематические погрешности от случайных – как результат, отсутствует возможность активного воздействия на технологический процесс обработки заготовки.

*Пример.* Определить вероятность брака деталей, если среднее квадратичное отклонение метода обработки  $\sigma = 0,03$  мм, а допуск на обработку  $IT = 0,06$  мм. Границы поля допуска расположены на расстояниях  $x_1 = 0,01$  мм и  $x_2 = 0,05$  мм от центра группирования.

Найдем  $Z_1$  и  $Z_2$ :

$$Z_1 = \frac{x_1}{\sigma} = \frac{0,01}{0,03} = 0,33;$$

$$Z_2 = \frac{x_2}{\sigma} = \frac{0,05}{0,03} = 1,67.$$

Пользуясь таблицами для определения значений функции Лапласа, получим:

$$F_1 = 0,5\varphi(Z_1) = 0,1293;$$

$$F_2 = 0,5\varphi(Z_2) = 0,4525.$$

Вероятность брака

$$W = 1 - (F_1 + F_2) = 1 - (0,1293 + 0,4525) = 0,4182.$$

Процент брака  $\approx 42\%$ .

Допуск метода обработки  $\Delta = 6\sigma = 6 \cdot 0,03 = 0,18$ , допуск конструктора равен 0,06, следовательно, получается заведомый брак.

Если  $x_1 = x_2 = 0,06$ , тогда

$$Z_1 = \frac{x_1}{\sigma} = \frac{0,06}{0,03} = 2;$$

$$Z_2 = \frac{x_2}{\sigma} = \frac{0,06}{0,03} = 2.$$

$$F_1 = F_2 = 0,5\varphi(2) = 0,4772;$$

$$W = 1 - (F_1 + F_2) = 1 - (0,4772 + 0,4772) = 0,0456.$$

Процент брака составляет 4,56%.



Таким образом, если допуск  $IT$  на обработку больше  $6\sigma$ , то точность процесса соответствует требованиям. Если допуск  $IT$  на обработку менее  $6\sigma$ , то часть деталей не соответствует требуемым размерам.

Очевидно, что принятый процесс обработки неприемлем. Исследования с помощью математической статистики позволяют определить точность технологического процесса (условие  $IT \geq 6\sigma$ ) и вероятность получения числа деталей с размерами в интервале допуска.

### 1.6.2. Статическое регулирование технологического процесса

Под этим понимается корректировка параметров процесса в ходе производства с помощью выборочного контроля из изготавливаемой продукции. Применяют:

1. Метод медиан и индивидуальных значений (используется при отсутствии автоматических измерительных средств).

2. Метод средних арифметических значений и размеров (используется при автоматических устройствах для контроля).

Методы применимы в случае, если распределение размеров подчиняется законам Гаусса и Максвелла.

*Метод медиан и индивидуальных значений.* Из потока продукции через определенные промежутки времени отбирают выборку в количестве 5 – 10 единиц. Время между двумя отборами устанавливается в зависимости от стабильности ТП (обычно 1–2 часа).

Значения размеров наносят на специальную карту.

*Пример.* Контролируется размер  $38_{-0,035}$ . Карта имеет две сплошные линии –  $T_v$  и  $T_n$  ограничивающие поле допуска и четыре – предварительных:  $P_v$  и  $P_n$  – границы регулирования модели,  $P_{вр}$  и  $P_{пр}$  – границы регулирования крайних значений (рис. 10).

Положением предупредительных границ определяется по формулам на основе теоретических положений статического контроля.

Далее на карту наносятся результаты замеров, причем выделяют третье.

При выборе баз необходимо четко представлять общий план обработки заготовки, который на последующих этапах проектирования детализируется и уточняется.

При  $n = 5$  значения: 37,99; 37,98; 37,975; 37,975  $\bar{x} = 37,98$  – медиана, среднее значение упорядоченного по возрастанию или убыванию ряда чисел.

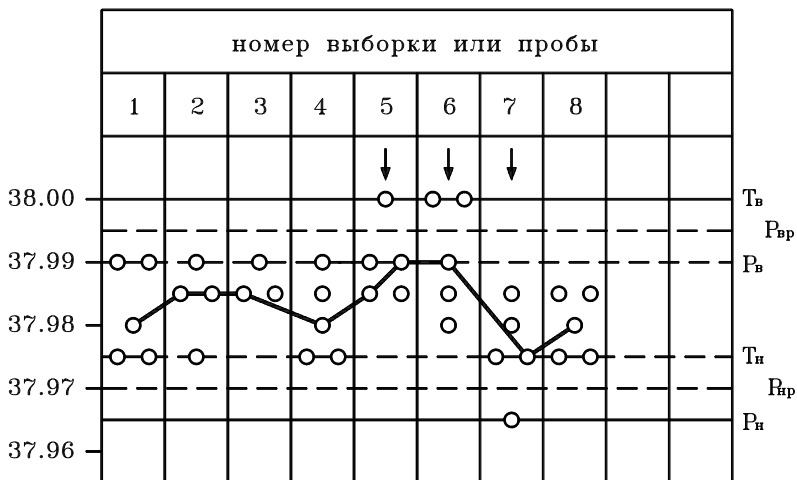


Рис. 10. Построение карты индивидуальных значений

Протекание процесса нормальное, если  $\bar{x}$  не выходит за рамки  $P_v$  и  $P_n$ , а крайнее значение выборок за  $P_{вр}$  и  $P_{нр}$ . Если имеются выходы за границу (выборки 5, 6, 7), на карте делают отметку в виде стрелок и устраняют причину, вызывающую отклонение процесса, продукцию между двумя выборками подвергают сплошному контролю.

При использовании автоматических измерительных средств используют метод, в целом схожий с описанным, но в качестве статических характеристик является среднее арифметическое значение  $\bar{x} = \sum \frac{x_i}{n}$  и размах  $R = x_{i\text{наиб}} - x_{i\text{наим}}$  из  $i$  выборки.

## 1.7. БАЗИРОВАНИЕ

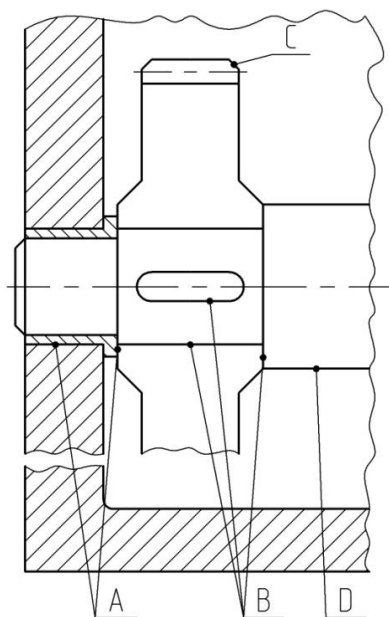
### 1.7.1. Понятие о базах их классификации и назначение

Качество изготовленного изделия во многом зависит от того, насколько правильно оно установлено и закреплено в процессе механической обработки, т.е. произведено ее *базирование*.

При обработке заготовок на станках различают следующие поверхности (рис. 11):

а) *основные поверхности (А)* – с помощью которых определяют положение детали в изделии;

б) *вспомогательные поверхности (В)* – определяющие положение присоединяемых деталей относительно данной);



**Рис. 11. Виды поверхностей изделий машиностроительных производств**

в) *исполнительные поверхности (С)* – поверхности, выполняющие служебное (функциональное) назначение (здесь поверхность зуба колеса);

г) *свободные поверхности (Д)* – не соприкасающиеся с другими деталями и служащие для придания необходимой формы всей конструкции.

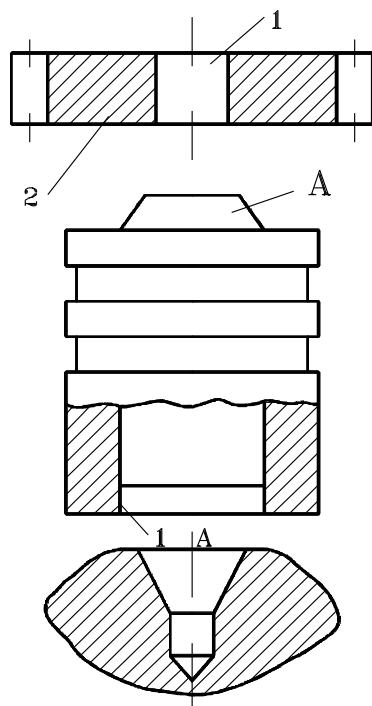
*База* – поверхность (сочетание поверхностей, ось, точка), принадлежащая заготовке (изделию), используемая для базирования.

*Базирование* – придание заготовке (изделию) требуемого положения относительно выбранной системы координат. По назначению базы делятся на:

а) *конструкторские* – определяющие положение детали (сборочные единицы) в изделии, делятся на: *основные* – определяющие положение самой детали в изделии, *вспомогательные* – определяющие положение присоединяемой детали относительно данной;

б) *технологические* – используемые при определении положения заготовки или изделия при изготовлении или ремонте.

Различают *основные* и *вспомогательные* (искусственные) технологические базы (рис. 12).



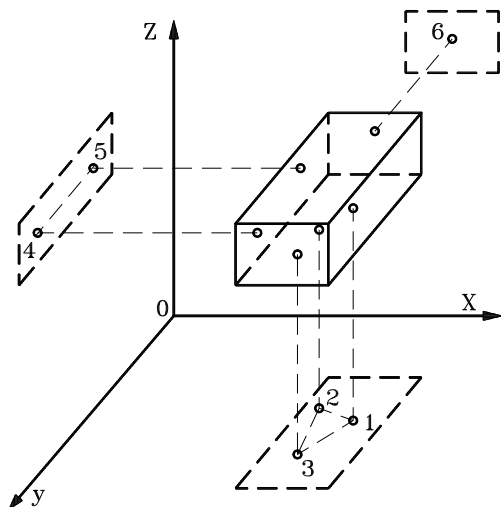
**Рис. 12.** Расположение основных и вспомогательных технологических баз

*Основные* – являющиеся неотъемлемым элементом конструкции, например, поверхность отверстия *1* и торец заготовки *2*, используемые для базирования при нарезании зубьев, являются основными технологическими базами.

*Вспомогательные базы* – поверхности, специально создаваемые из детали из технологических соображений, а для работы детали они не нужны. Например: центровые гнезда валов (*A*), центрирующий поясик *1*; прилив с центральным отверстием (*A*) у поршня. Возможность создания искусственных баз должна быть предусмотрена в конструкции детали (рис. 12).

в) *измерительные* – используемые для определения относительного положения заготовки (или изделия) и средств измерения.

Известно, что требуемое положение твердого тела относительно системы координат  $Ox, Oy, Oz$  может быть задано наложением на него шести двухсторонних связей, лишаящих тела трех перемещений вдоль осей  $Ox, Oy, Oz$ , и трех поворотов вокруг этих осей.



**Рис. 13. Схема полного базирования призматической заготовки (правило шести точек)**

Наложение двусторонних связей достигается соприкосновением базирующих поверхностей тела с базирующими поверхностями других тел, к которым оно присоединяется, и приложением силового замыкания для обеспечения необходимого контакта.

Рассмотрим схему базирования призматической заготовки (несмотря на разнообразие деталей они, как правило, представляют собой набор элементарных поверхностей) (рис. 13).

Основание призмы  $yOx$  будет иметь три опорные точки (двусторонние связи). При этом тело лишается трех степеней свободы (1) перемещение  $0z$ , (2–3) – вращение вокруг  $0x$  и  $0y$ .

Фиксируясь по плоскости  $yOz$  с помощью двух опорных точек (двух связей), тело лишается двух степеней свободы.

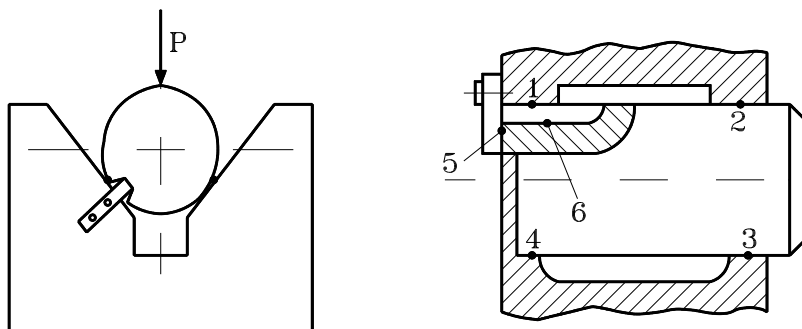
(4) – перемещение по  $0x$ ;

(5) – вращение вокруг оси  $0z$ .

И, наконец, возможности перемещаться вдоль оси  $0y$  (6), тело лишается из-за точечного контакта с плоскостью  $zOx$ .

Базирование заготовок с обязательным лишением их всех степеней свободы – *правило шести точек* (рис. 14). В зависимости от количества лишаемых степеней свободы базы классифицируются на:

1) *установочные* – с наиболее развитой площадью, включающие 3 опорные точки и лишаящие тело трех степеней свободы (перемещение вдоль одной и вращение вокруг двух других осей);



**Рис. 14. Вариант полного базирования цилиндрической заготовки**

2) *направляющие* – поверхности наибольшей длины, включающие две опорные точки, и лишаящие тело двух степеней свободы (перемещение вдоль одной оси и вращение вокруг другой);

3) *опорные* – имеющие одну опорную точку, лишаящую тело 1 степени свободы (перемещение вдоль оси, или вращение вокруг нее).

При базировании цилиндрических заготовок (например, в призме) их положение определяется четырьмя опорными точками, расположенными на цилиндрической поверхности, образующими двойную *направляющую базу*.

Указанные выше схемы базирования – схемы *полного базирования*, т.е. с лишением всех степеней свободы (комплект из трех баз), или только в одном направлении применяют *схемы упрощенного базирования*.

При обработке поверхности, определяемой размерами  $a$  и  $b$ , неточность установки относительной оси  $Y$  не имеет значения, поэтому достаточно двух базирующих поверхностей (I и II), а торец заготовки используют как опорную (но не базирующую!) поверхность, прилегающую к упору (рис. 15).

По конструктивному оформлению базы подразделяются на: скрытые и явные.

К *скрытым* базам относятся воображаемые плоскость, ось или точка, используемые в качестве одной из баз.

К *явным* (конструктивно-оформленным) базам относятся реальные поверхности, разметочные риски, точки пересечения рисок.

На основании вышеизложенного выявляется следующая классификация баз (табл. 1).

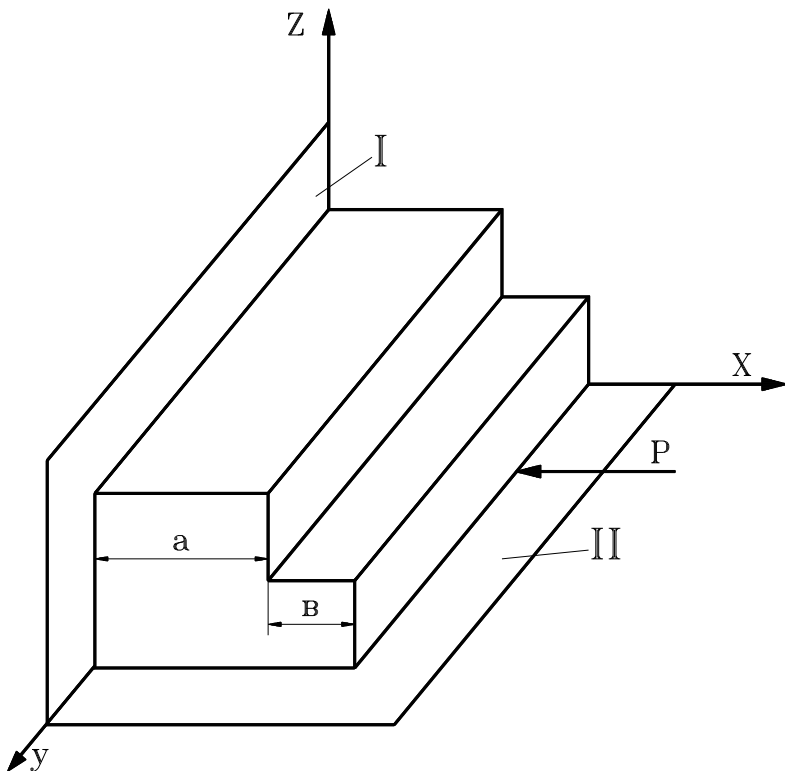


Рис. 15. Вариант упрощенного базирования заготовки (схема неполного базирования)

### 1. Классификация баз

А. По назначению	Б. По лишаемым степеням свободы	В. По конструктивному оформлению
Конструкторские: основная; вспомогательная. Технологические: основная; искусственная; измерительная	Установочная. Направляющая. Опорная. Двойная направляющая. Двойная опорная	Скрытые. Явные

При образовании терминов баз по нескольким классификационным признакам последние должны располагаться в следующей последовательности:  $A \rightarrow B \rightarrow V$ .

Например:

1. Основная ( $A$ ), установочная ( $B$ ), явная ( $V$ ) база.
2. Технологическая ( $A$ ), направляющая ( $B$ ), скрытая ( $V$ ) база и т.д.

### 1.7.2. Правило базирования, выбор баз

Для обеспечения требуемой точности механической обработки необходимо принять меры для уменьшения возникающих погрешностей. С этой целью применяют следующие *принципы выбора баз*:

а) *принцип постоянства баз* заключается в том, что при возможно большем числе операций используется одна и та же база. При этом на последующих операциях исключается влияние погрешностей взаимного расположения технологических баз на точность изготовления детали;

б) *принцип совмещения баз* заключается в том, что в качестве технологических баз используют конструкторские и измерительные базы.

Возможность совмещения технологической, измерительной и конструкторской баз при обработке детали должна учитываться конструктором в процессе проектирования и технологом при разработке ТП.

В технологии установочные (технологические) базы разделяются на: *черновые, промежуточные и окончательные*.

*Черновые* базы используются на первых операциях обработки, когда еще нет обработанных поверхностей на заготовке. Они служат для создания промежуточных установочных баз, а часто сразу окончательных, которые служат для проведения отделочных (финишных) операций. При выборе базовых поверхностей по ходу проведения ТП следует придерживаться следующих рекомендаций:

1. Всемерно использовать принцип совмещения и постоянства баз.
2. Придерживаться правила 6 точек, т.е. обеспечить устойчивость и жесткость установки, необходимую ориентацию ее в приспособлении.
3. Черновую базу используют, как правило, однократно – на первой установке (для заготовок полученных точными методами литья



и штамповки это правило не обязательно). За черновые базы применяют: поверхность с наименьшим припуском на обработку. При выборе черновой поверхности за базовую следует выбирать ту поверхность, которая остается необработанной в готовом изделии.

4. На первых операциях ТП обрабатывают основные базовые поверхности (чистовые базы) или искусственные базовые поверхности.

5. Чистовые установочные базы должны быть базами конструкторскими (это исключает погрешность базирования); должны иметь наибольшую точность формы и размеров, малую шероховатость.

В зависимости от сложности детали имеется несколько *схем базирования*:

1. Заготовку базируют на необработанные поверхности и за одну операцию проводят полную обработку (на автоматах, агрегатных станках и т.п.).

2. Заготовку базируют при большей части операции на обработанные, несменяемые поверхности, подготовленные на первых операциях с базированием на черновые базы. Эта схема используется на более сложных деталях обрабатываемых в несколько установов.

3. То же, что и в пункте 2, но перед последней операцией базовые поверхности обрабатываются окончательно. Используется эта схема при сложных деталях высокой точности.

4. Заготовку базируют на различные обработанные поверхности. Схема нежелательная, используется на деталях с особыми требованиями.

5. Базирование заготовки с повторной (многократной) обработкой последовательно сменяемых баз. Пример: шлифование бруска (предварительные и окончательные) на магнитной плите с последовательным переворачиванием заготовки.

При выборе технологических баз необходимо придерживаться основных принципов, а также:

- при вынужденной схеме баз следует переходить от менее точной и более точной базе (принцип последовательной смены баз).
- следует использовать типовые схемы установки.

## **1.8. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ**

В процесс обработки заготовки возникают отклонения от геометрической формы и размеров, заданных чертежами. Эти отклонения обязаны находиться в пределах допусков, определяющих наибольшие

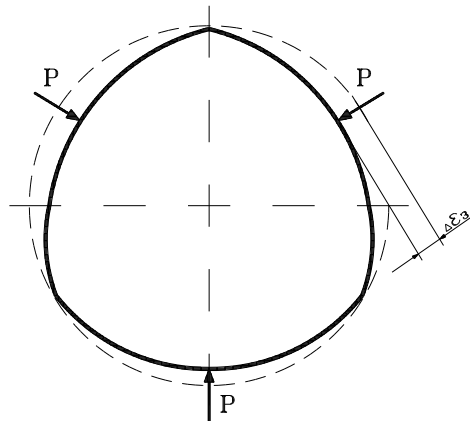
допустимые значения погрешностей. Суммарная (окончательная) погрешность складывается из целого ряда факторов, определяющих значения этих погрешностей. Рассмотрим основные из них.

### 1.8.1. Погрешность установки заготовки

Возникает при установке заготовки непосредственно на станке или в приспособлении и определяется как

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta \varepsilon_6^2 + \Delta \varepsilon_3^2 + \Delta \varepsilon_{пр}^2},$$

где  $\Delta \varepsilon_6$  – погрешность базирования;  $\Delta \varepsilon_3$  – погрешность закрепления;  $\Delta \varepsilon_{пр}$  – погрешность положения заготовки в приспособлении.



**Рис. 16. Погрешность закрепления цилиндрической заготовки в трехкулачковом патроне**

Составляющие  $\Delta \varepsilon_y$  – случайные величины, поэтому суммируются по правилу геометрического сложения.

$\Delta \varepsilon_{пр}$  возникает вследствие неточности изготовления станочного приспособлении, не связано с процессом установки заготовки и поэтому часто учитывается в расчетах отдельно. Значения  $\Delta \varepsilon_{пр}$  определяют по справочникам.

*Погрешность базирования  $\Delta \varepsilon_6$  возникает в результате базирования заготовки по технологическим базам, не связанным с измерительными базами. Численные значения определяют при помощи геометрических расчетов для конкретной схемы установки детали (приводится в справочной литературе).*

*Погрешность закрепления  $\Delta\varepsilon_3$*  возникает в процессе закрепления заготовки в связи с колебаниями величины контактных деформаций стыка «заготовка–опора–приспособление» (рис. 16). Зависит от условий контакта; материала и твердости базовой поверхности заготовки (коэффициент  $C$ ); силы, действующей на опору ( $Q$ ); направления наибольшего смещения ( $\alpha$ ).

$$\varepsilon_3 = CQ^n \cos \alpha ,$$

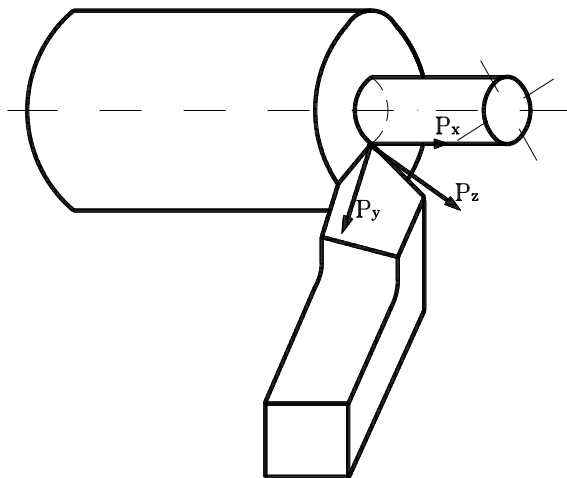
где  $\varepsilon_3$  – смещение из-за контактного деформируемого стыка;  $n$  – эмпирический коэффициент.

Значения  $\Delta\varepsilon_3$  справочные данные.

### 1.8.2. Погрешность, вызванная нежесткостью технологической системы

Обрабатываемая заготовка, установленная на станке с приспособлениями и режущим инструментом, представляет собой замкнутую упругую систему (рис. 17).

На точность обработки влияют преимущественно те деформации, которые изменяют расстояние между режущей кромкой инструмента и обрабатываемой поверхностью, т.е. направленные нормально (перпендикулярно) к обрабатываемой поверхности (составляющая  $P_y$ ).



**Рис. 17. Составляющие силы резания при точении:**  
 $P_x$  – нормальная;  $P_y$  – радиальная;  $P_z$  – тангенциальная

*Жесткостью технологической системы* ОЗПИ (оборудование, заготовка, приспособление, инструмент) называется отношение радиальной составляющей силы резания  $P_y$  к смещению режущей кромки резца относительно обрабатываемой заготовки, отсчитываемое в направлении действия этой системы.

$$J = \frac{P_y}{\Delta y},$$

где  $J$  – жесткость, Н/мм;  $P_y$  – радиальная составляющая силы резания, Н;  $\Delta y$  – смещение, мм.

Упругие свойства составляющего элемента технологической системы характеризуются *податливостью*, т.е. величиной обратной жесткости (отношение перемещения к силе).

$$\omega = \frac{J}{P_y}.$$

*Жесткость* технологической системы – способность противостоять действию силы, вызывающий деформацию.

Податливость технологической системы – способность деформироваться под действием силы резания.

Жесткость станков (нормальной точности)  $j = 20\,000 \dots 40\,000$  Н/мм, но есть станки с  $j$  до  $100\,000$  Н/мм.

Методы исследования жесткости:

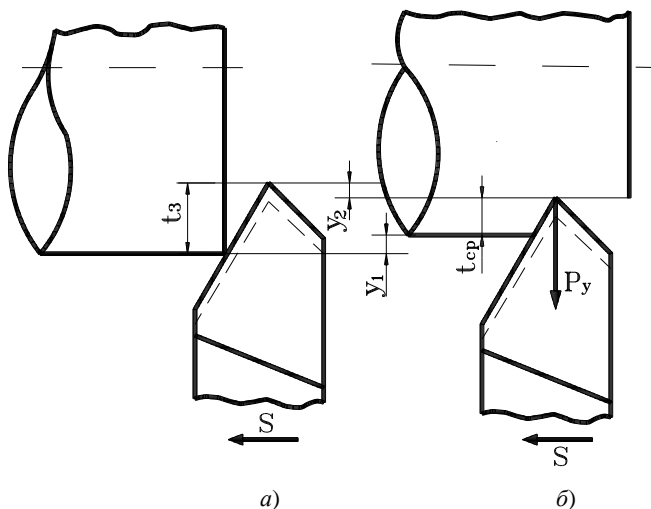
- а) статистический (нагружение узлов неработающего станка);
- б) производственный (динамический).

В результате отжатий элементов ОЗПИ (рис. 18) изменяются технологические параметры режима резания и, в частности, заданная глубина резания  $t_3$ , смещение заготовки  $y_1$ , смещение инструмента  $y_2$ , составляющая силы резания по нормали  $P_y$ .

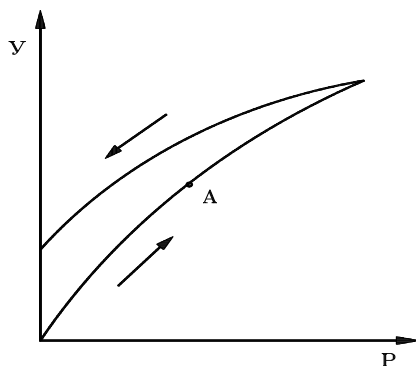
Фактическая глубина резания  $t_\Phi$ :

$$t_\Phi = t_3 - (y_1 + y_2),$$

где  $t_3$  – заданная глубина резания;  $y_1 = P_y \cdot \omega_1$ ;  $y_2 = P_y \omega_2$ ,  $\omega_1$  – податливость элемента технологической системы, включающей заготовку, станочное приспособление и узел станка, на котором закрепляется станочное приспособление,  $\omega_2$  – податливость элемента технологической системы, включающего инструмент, приспособление для крепления инструмента и узел станка, на котором это приспособление закреплено,  $P_y$  – радиальная составляющая силы резания.



**Рис. 18. Схема для расчета режимов резания:**  
*a* – позиция до начала резания; *б* – в процессе резания



**Рис. 19. Диаграмма «Нагрузка–перемещение»**

Сумма смещений  $y = y_1 + y_2$  – есть погрешность размера и определяется как

$$y = t_3 + t_\phi = P_y (\omega_1 + \omega_2) = P_y \omega_c,$$

где  $\omega_c$  – податливость технологической системы.

Жесткость элементов технологической системы статическим методом находится экспериментально. Для этого проводят статическое нагружение от нуля до некоторой наибольше величины. Для каждого

значения измеряется отжатие по нормали к обрабатываемой поверхности. Далее ведут ступенчатое разгружение при тех же значениях и фиксируют *остаточное* отжатие (рис. 19).

По данным при нагружении и разгрузке строят зависимости  $y = f(P_y)$ . Истинную жесткость для каждого текущего момента можно найти по отношению приращения силы в данной точке кривой к приращению перемещения. В упрощенных технологических расчетах берется средняя жесткость (абсцисса точки А как среднее значение силы).

Повышение жесткости достигают:

- 1) улучшением конструкции станков и приспособлений;
- 2) затяжкой стыков;
- 3) подгонкой сопряженных поверхностей;
- 4) уменьшением высоты вылета элементов технологической системы;
- 5) увеличением опорных поверхностей;
- 6) использованием дополнительных опор и другие приемы.

Все перечисленное увеличивает жесткость, что в свою очередь повышает точность и производительность обработки. На практике важно не только увеличивать жесткость отдельных элементов системы, но и выравнивать ее по всем направлениям и в различных сечениях технологической системы. Необходимо учитывать не статический, а динамический характер силы резания, так как она изменяется скачкообразно (по амплитуде колебаний), и точка ее приложения в процессе обработки меняется. В технологических расчетах упругих отжатий значение силы резания умножают на динамический коэффициент. Его принимают при предварительной обработке  $K = 1,2 \dots 1,4$ ; при чистой  $K = 1,0 \dots 1,2$ , причем меньшие значения соответствуют безвибрационной механической обработке.

### 1.8.3. Погрешность за счет износа режущего инструмента

В процессе эксплуатации режущий инструмент подвергается износу, что в результате приводит к изменению размеров обрабатываемых деталей. Величину данного износа можно считать прямо пропорциональной времени обработки или величине пройденного инструментом пути. Производственный опыт по исследованию данной величины показал, что этот процесс не подчиняется линейному закону. В результате были установлены следующие этапы износа режущего инструмента (рис. 20):

– первый этап – непродолжительный по времени – отличается повышенным износом;

- второй этап (наиболее продолжительный) характерен нормальным износом;
- третьему этапу свойственен быстрый износ и последующее разрушение инструмента.

Первый период характеризуется начальным износом (рис. 20)  $U_n$  [мкм]. Второй – *относительным* (удельным) износом  $U_0 = \text{tg}\beta = \frac{U_2}{l_2}$ .

Зная  $U_n$  и  $U_0$  можно определить *размерный износ* на длине пути резания:

$$\Delta U = U_n + \frac{U_0 L}{1000},$$

где  $L$  – длина пути, м.

Для различных методов обработки эта формула видоизменяется. Например, при протягивании деталей:

$$\Delta U = U_n + \frac{U_0 L n}{10^5},$$

где  $L$  – длина протягивания;  $n$  – количество деталей в партии;

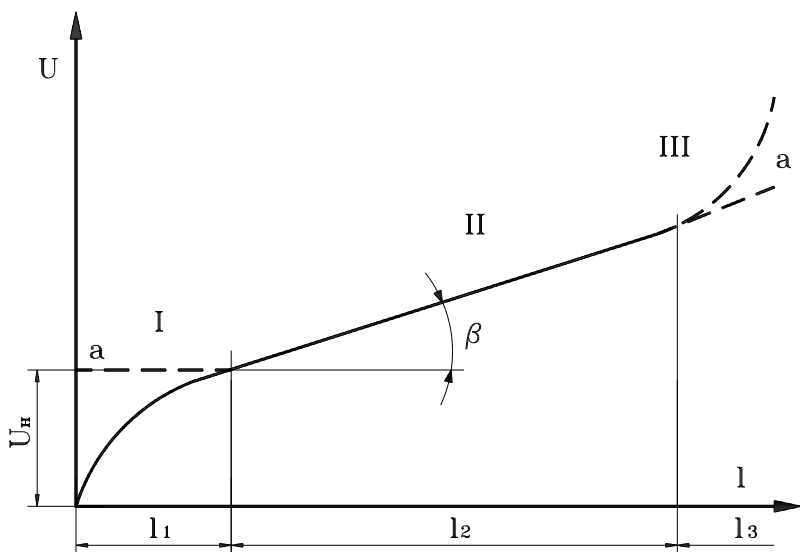


Рис. 20. Кривая износа режущего инструмента

– при строгании:

$$\Delta U = U_n + U_0 \frac{lB}{10^6 \cdot S},$$

где  $l$  и  $B$  – длина и ширина обрабатываемой плоскости;  $S$  – подача на один двойной ход;

– при продольном точении:

$$\Delta U = U_n + U_0 \frac{\pi dl}{10^6 \cdot S},$$

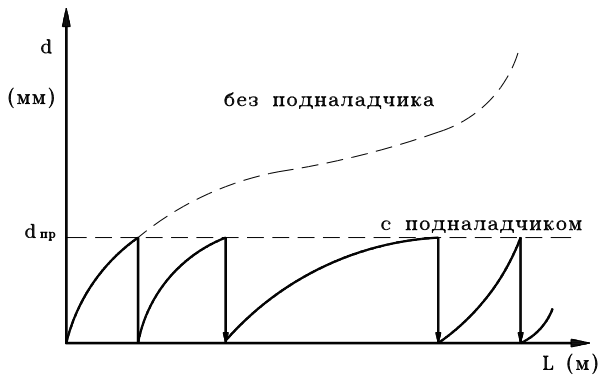
где  $d$ ,  $l$  – диаметр и длина обрабатываемой поверхности;  $S$  – подача на оборот.

Для уменьшения влияния размерного износа на точность (рис. 21) применяется подналадка станка (наиболее эффективен – автоматический подналадчик).

*Пример.*

Значения износа при чистовом точении:

		$U_n$ , мкм	$U_{отн}$ , мкм/км
Сталь углеродистая	T15K6	2...8	2...10
Сталь углеродистая	Цм332	1...3	0,5...1
Сталь углеродистая	Эльбор	1...3	0,003
Цветные сплавы	Алмаз	1...3	0,0005...0,001



**Рис. 21. Схема настройки оборудования при использовании автоматической подналадки на размер:**  
 $d_{пр}$  – предельный размер



*Пример.* Цилиндрическая ступень вала обтачивается на токарном станке. Способ установки – в центрах; настройка – динамическая по пробным деталям; измерение деталей – с помощью микрометра; регулирование размеров – по лимбу станка.

Диаметр обрабатываемой поверхности  $\varnothing 90h11$  ( $\varnothing 90_{-0,22}$  мм). Расчетная длина обработки с учетом пути врезания и перебега режущего инструмента  $L = 250$  мм. Количество деталей в настроечной партии, обрабатываемой в период между подналадками станка, 80 шт. Конструкционный материал детали – Серый чугун СЧ15. Жесткость станка  $\gamma = 1200$  кгс/мм (10 Н/мм). Режущая часть резца изготовлена из твердого спеченного сплава ВК6. Продольная подача инструмента  $S_{\text{прод}} = 0025$  мм/об. Радиальная сила  $P_y = 10$  кгс (10Н). Измерительный инструмент – микрометр 2-го класса точности. Цена деления лимба станка 0,01 мм. Количество пробных деталей  $m = 5$ .

Рассчитаем производственную погрешность аналитическим методом.

Величина суммарной погрешности обработки по диаметральным размерам в массовом производстве определяется по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\text{и}} + \sqrt{\Delta_{\text{сл}}^2 + \Delta_{\text{н}}^2 + \varepsilon_y^2},$$

где  $\Delta_{\text{и}}$  – погрешность, обусловленная износом режущего инструмента, мкм;  $\Delta_{\text{сл}}$  – мгновенное поле рассеяния погрешностей обработки, мкм;  $\Delta_{\text{н}}$  – погрешность настройки станка, мкм;  $\varepsilon_y$  – погрешность установки заготовки, мкм.

Погрешность, обусловленная износом режущего инструмента, при односторонней обработке

$$\Delta_{\text{и}} = \frac{U_o l}{1000},$$

где  $U_o$  – относительный износ инструмента, мкм/мм;  $l$  – путь резания, м.

Величина относительного размерного износа определяется по справочникам. При чистовой обработке серого чугуна СЧ15 резцом из сплава ВК6 относительный размерный износ составляет  $U_o = 14$  мкм/мм.

Путь резания при точении

$$l = \frac{\pi d L n}{1000 S_{\text{пр}}},$$

где  $d$  – диаметр обрабатываемой поверхности, мм;  $L$  – расчетная длина обработки с учетом пути врезания и перебега режущего инструмента, мм;  $n$  – количество деталей в настроечной партии, обрабатываемой в период между подналадками станка;  $S_{\text{пр}}$  – продольная подача инструмента, мм/об.

$$l = \frac{\pi \cdot 90 \cdot 250 \cdot 80}{1000 \cdot 0,25} = 22\,620 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{и}} = \frac{14 \cdot 22,62}{1000} = 0,317 \text{ мкм.}$$

Мгновенное поле рассеяния погрешностей обработки определяется по справочникам, при обработке на токарном станке с силой  $P_{\text{y}} = 10$  кгс (10 Н) поверхности диаметром 90 мм при жесткости системы  $\gamma = 1200$  кгс/мм (10 Н/мм) мгновенная погрешность обработки  $\Delta_{\text{сл}} = 20$  мкм.

Погрешность настройки токарного станка:

$$\Delta_{\text{н}} = \sqrt{\Delta_{\text{см}}^2 + \Delta_{\text{рег}}^2 + \Delta_{\text{изм}}^2},$$

где  $\Delta_{\text{см}}$  – смещение центра группирования размеров пробных деталей относительно середины поля рассеяния размеров, мкм;  $\Delta_{\text{рег}}$  – погрешность регулирования положения режущего инструмента, зависящая от применяемого способа регулирования, мкм;  $\Delta_{\text{изм}}$  – погрешность измерения, мкм.

Смещение центра группирования размеров пробных деталей относительно середины поля рассеяния размеров:

$$\Delta_{\text{см}} = \frac{\Delta_{\text{сл}}}{\sqrt{m}},$$

где  $m$  – количество пробных деталей.

$$\Delta_{\text{см}} = \frac{20}{\sqrt{5}} = 8,94 \text{ мкм.}$$

Погрешность регулирования положения режущего инструмента по лимбу станка на диаметр  $\Delta_{\text{рег}} = 10 \dots 20$  мкм при цене деления лимба станка 0,01 мм. Принимаем  $\Delta_{\text{рег}} = 15$  мкм.

Погрешность измерения равна предельной погрешности используемого измерительного инструмента. При измерении микрометром 2-го класса точности для размера 90 мм погрешность измерения равна 35 мкм

$$\Delta_{\text{н}} = \sqrt{8,94^2 + 15^2 + 35^2} = 39,1 \text{ мкм.}$$

Погрешность установки в центрах  $\epsilon_y = 0$ .

Суммарная погрешность обработки:

$$\Delta_{\Sigma} = 0,317 + \sqrt{20^2 + 39,1^2 + 0} = 44,24 \text{ мкм.}$$

Сопоставим заданную точность обработки с суммарной погрешностью обработки:

$$220 \text{ мкм} > 44,24 \text{ мкм.}$$

Полученное значение меньше, чем допуск на размер (0,22 мм). Поэтому можно сделать вывод о том, что на рассмотренном технологическом переходе может быть обеспечена требуемая точность обработки.

#### 1.8.4. Погрешность за счет настройки станка

Величина погрешности, возникающая из-за необходимости периодической смены затупившегося инструмента, т.е. настройки и поднастройки. Зависит от методов настройки, которых на практике используется два:

1. Установка режущего инструмента последовательным приближением к заданному размеру при обработке на станке пробных деталей.

2. Установка режущего инструмента по шаблону (эталоны).

В расчетах принимают эту погрешность равной  $2\sigma$  или  $0,1\delta$ , где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение;  $\delta$  – допуск на размер.

### 1.8.5. Погрешность за счет тепловых деформаций технологической системы

Учет *тепловых деформаций* важен. Нагреву и охлаждению подвержена все система, т.е. станок–инструмент–деталь. Тепловое состояние  $V$  делят на стационарное и нестационарное. Считают, если станок предварительно разогреют и обрабатывается небольшая заготовка, то тепловое состояние системы стационарно. Нестационарное появляется при запуске станка после длительной остановки. Влияние тепловых деформаций на точность растет, когда поглощение тепла заготовкой увеличивается, например, при обработке внутренней поверхности тонкостенной втулки. Общие тепловые деформации складываются из:

- а) тепловых деформаций станка);
- б) заготовок);
- в) инструмента:

– нагрев деталей станков происходит от потерь на трение в механизмах, электроустановках, гидросистемах. Тепло может передаваться от внешней среды. Например: перепад температур в корпусе передней бабки может составлять 50 °С);

– при резании происходит передача тепла заготовке, основная часть тепла уходит со стружкой, так при токарной обработке с большой скоростью резания со стружкой уходит свыше 90% тепла. При принудительном охлаждении заготовка практически не нагревается);

– резец в целом также при активном охлаждении не перегревается, в то время как в некоторых случаях режущая кромка нагревается до 850 °С.

Для снижения влияния этого фактора на точность обработки используются следующие методы и подходы: запрет на проведение чистовой обработки сразу после черновой; предварительный прогрев станков; использование охлаждающих жидкостей (СОЖ); термостатирование цехов или отдельных участков с оборудованием.

### 1.8.6. Погрешности, вызванные остаточными напряжениями в материале заготовок

Различают следующие основные погрешности:

*Остаточные напряжения* – напряжения, существующие в заготовке или готовой детали при отсутствии внешних нагрузок. Остаточные напряжения полностью уравниваются и внешне не проявляются, но при нарушении равновесия внешним воздействием происходит деформация заготовки в целях восстановления стабильности внутренних напряжений. Эти напряжения делятся на две группы:

*Конструктивные* – возникают в деталях в процессе их эксплуатации в результате взаимодействия конструктивных элементов изделия.

*Технологические* – возникают на стадии изготовления детали в результате:

- а) неоднородного (неравномерного) нагрева или охлаждения,
- б) фазовых, структурных превращений в металле,
- в) диффузионных процессов в металле,
- г) пластических деформаций (наклеп).

Технологические остаточные напряжения в зависимости от способа изготовления делятся на:

- а) литейные;
- б) сварочные;
- в) термические;
- г) ковочные;
- д) от наклепа;
- е) от холодной правки и т.д.

Для снижения влияния этих погрешностей проводят ряд мероприятий, например, термообработку деталей и т.д.

### 1.8.7. Погрешность от геометрических неточностей станка

Следующая причина возникновения погрешностей механической обработки – *геометрические неточности* станка. Узлы станка вместе представляют собой единую технологическую систему. Одни узлы связаны с режущим инструментом, другие с обрабатываемой заготовкой. Погрешности взаимного положения узлов станка оказывают влияние на форму и расположение поверхностей обработки, но не влияют на размер детали. Их причинами могут являться некачественная сборки станка и низкая точность его изготовления, неточность установки и ошибки при креплении на фундаменте. Типовым примером подобных погрешностей может являться биение переднего центра – «двухосность детали» (рис. 22).

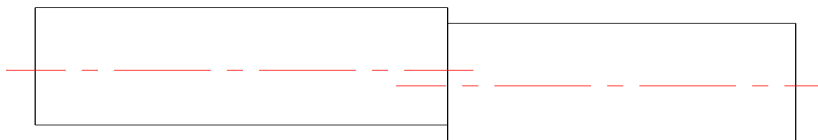



Рис. 22. Пример погрешности детали при обработке за два установка (двухосность детали)

Величина рассматриваемых погрешностей всегда связана с точностью станков, которые по точности делятся на 5 классов:

- |  |   |                        |
|--|---|------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1) нормальной</li> <li>2) высокой</li> <li>3) особо высокой</li> <li>4) сверхточной</li> <li>5) прецизионные</li> </ol> |  | точность увеличивается |
|--|---|------------------------|

### 1.8.8. Расчет суммарной погрешности обработки

*Посторонние* погрешности складываются алгебраически  
 $\rightarrow \sum \Delta_{\text{пост}}$

Погрешности случайные  $\Delta_{\text{сл}}$  и функциональные  $\Delta f$  складываются по правилу квадратного корня:

$$\Delta_{\text{сл}}(f) = K \sqrt{\Delta_{\text{сл}}^2 + \Delta f^2},$$

где  $K$  – коэффициент относительного рассеивания;  $K = 1,2$  – нормальный закон распределения;  $K = 1,22$  – закон Симпсона;  $K = 1,14$  – закон Максвелла.

Суммарная погрешность определяется:

$$\Delta_{\Sigma} = \sum \Delta_{\text{пост}} + K \sqrt{\Delta_{\text{сл}}^2 + \Delta f^2}.$$

## 1.9. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ И ЗАГОТОВОК

### 1.9.1. Основные характеристики качества поверхностного слоя

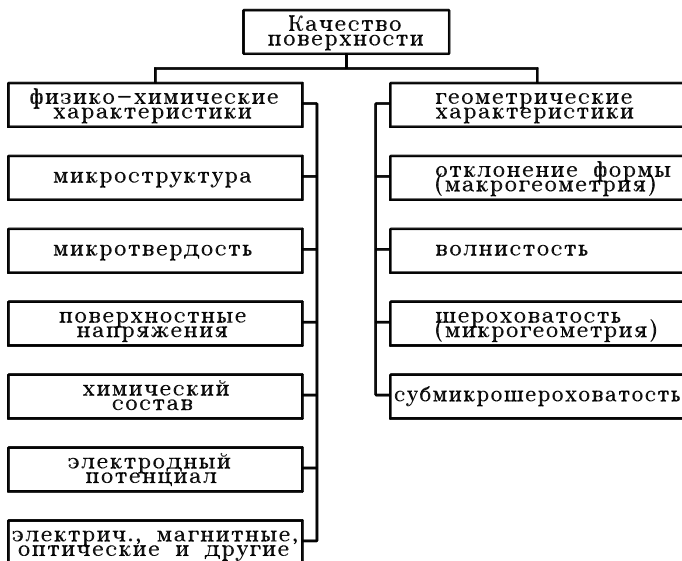
*Качество поверхности* – совокупность физико-химических свойств, геометрических показателей поверхностного слоя как результат технологического воздействия на данную поверхность.

Поверхностный слой – поверхностный объем материала, существенно отличающийся от материала сердцевины детали. Глубина этого слоя различна в зависимости от условий обработки, определяющих технологию изготовления изделия.

*Пример:* несколько мкм – калибр, несколько сотен мкм – вал.

В соответствии с современными представлениями качество поверхностного слоя – комплексное понятие, определяемое двумя группами характеристик.

СМШ имеет особую природу, зависит от внутренних несовершенств деформируемого материала. Параметры не нормированы и не учитываются.



Волнистость занимает промежуточное место между погрешностями формы и шероховатостью (рис. 23). Критерий их разграничения – отношение шага  $S$  к высоте шероховатостей  $R$ .

Допуски формы и расположения поверхностей устанавливается ГОСТ. Для каждого вида допусков формы и расположения установлено 16 степеней точности.

Волнистость в настоящее время не нормирована. Согласно рекомендациям, волнистость определяется:

- а) высотой волнистости ( $W_2$ );
- б) средним шагом волнистости  $S_w$ .

$$\frac{S}{R} > 1000, \quad \frac{S}{R} = 50 \dots 1000, \quad \frac{S}{R} < 50,$$

отклонение формы    волнистость    шероховатость

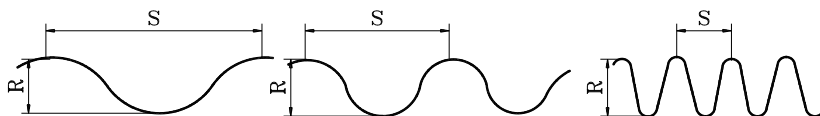


Рис. 23. Параметры отклонений расположения поверхности

### 1.9.2. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей

Качество поверхности оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства изделия: износостойкость, коррозионную стойкость, усталостную прочность, стабильность посадок, герметичность и т.д.

При *отклонении формы* поверхности наблюдается неравномерный износ отдельных участков детали (бочкообразной – средние участки, седлообразной – крайние).

*Волнистость* (наряду с макронеровностями) определяет размеры участков, в которых находятся зоны фактического контакта, т.е. определяют контурную площадь касания. Наличие волн уменьшает опорную площадь в 5 – 10 раз (рис. 24).

Высота волнистости  $W_z$  важнее, чем  $S_w$ , так как она больше сказывается на величине опорной площади.

Влияние шероховатости на износ деталей связано со сроком эксплуатации (временем работы).

Экспериментально установлено, что наименьший износ достигается не при минимальной шероховатости, а при ее оптимальном значении (рис. 25).

При  $R > R_{\text{опт}}$  изнашивание увеличивается за счет возрастания механического зацепления, скалывания и среза неровностей.

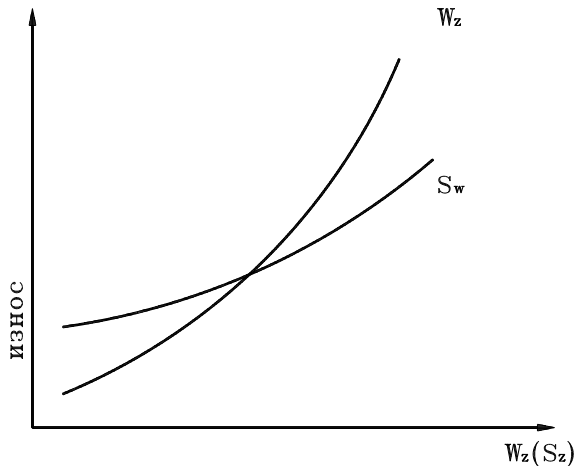
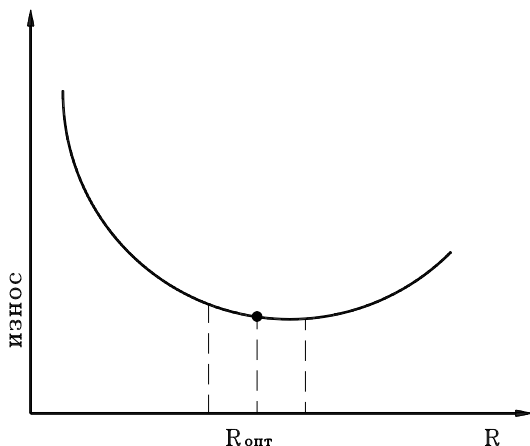


Рис. 24. Влияние параметров волнистости поверхности на износ режущего инструмента





**Рис. 25. Определение зависимости износа режущего инструмента от шероховатости**

При  $R < R_{\text{опт}}$  резко увеличивается изнашивание за счет молекулярного сцепления и заедания поверхностей из-за выдавливания смазочного материала и плохой смачиваемости зеркальной поверхности.

*Пример.*

1. Пришабренные, виброобкатанные поверхности лучше работают, чем притертые, так как они имеют «карманы» для хранения смазки.

2. Работа подшипников скольжения.

Шероховатость оказывает также влияние на:

1) стабильность *неподвижный посадок* (запрессовка). С увеличением  $R$  снижается фактический контакт и прочность сцепления сопрягаемых деталей;

2) прочность детали при циклических нагрузках;

3) на коррозионную стойкость, так как на шероховатой поверхности легче разрушается первичная защитная пленка под влиянием внутренних напряжений.

### **1.9.3. Факторы, влияющие на качество поверхности.**

#### **Зависимость шероховатости от условий обработки**

Качество поверхностного слоя заготовок и обработанных деталей зависит от ряда факторов. Разнообразно влияние факторов, связанных с процессом получения заготовок. Изготовление заготовки из проката отвечает шероховатости прокатных валков.

На шероховатость заготовок при обработке резанием также влияет ряд факторов.

Прежде всего, шероховатость зависит от метода обработки. Каждому методу отвечает определенный диапазон высоты микронеровностей, форма штрихов от инструмента, схема их расположения, определяемые кинематикой движения режущего инструмента относительно заготовки.

Влияние режимов резания значительно. Наибольшее оказывает скорость резания, с увеличением которой до  $\approx 25$  м/мин высота неровностей достигает «тах» значения. При всех прочих неизменных условиях дальнейшее увеличение скорости уменьшает шероховатость. На шероховатость влияют пластические явления, захват и отрыв слоев металла (для стали) и хрупкого вырыва частиц (серый чугун). Подача на шероховатость влияет при различных методах неодинаково.

Глубина резания заметно не влияет на шероховатость, если жесткость системы велика. Форма режущей кромки инструмента также влияет на шероховатость.

При шлифовании шероховатость снижается с увеличением окружной скорости вращения заготовки и размера зерен абразива (рис. 26).

На шероховатость поверхности влияют механические свойства, химический состав и структура материала. Например: из низкоуглеродистых сталей трудно получить поверхности с высоким уровнем обработки, т.е. с низкой шероховатостью.

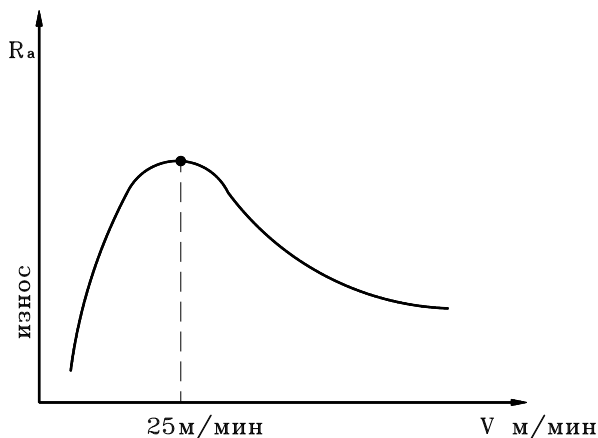


Рис. 26. Зависимость параметров шероховатости от скорости обработки

## 1.10. ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТОДАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

### 1.10.1. Управление качеством поверхности технологическими методами

Целенаправленное формирование поверхности изделия с заданными свойствами в процессе изготовления – важнейшая задача современного машиностроения.

Многие характеристики качества поверхности зависят от технологического метода и условий обработки деталей. Это напрямую сказывается на эксплуатационных свойствах изделия, которые определяются:

- 1) методами и режимами, используемыми в отдельных операциях механической и термической обработки;
- 2) видом и состоянием режущего инструмента;
- 3) условиями его охлаждения;
- 4) размерами операционных припусков;
- 5) последовательностью и содержанием операций технологического процесса и т.д.

### 1.10.2. Классификация технологических методов повышения качества поверхности

1. *Методы упрочняющей обработки поверхности предназначены для:* повышения физико-механических свойств, твердости поверхностного слоя и предела выносливости детали в целом.

В результате обработки в поверхностном слое возникают деформационное упрочнение и остаточные напряжения (сжатия или растяжения).

1. *Дробеструйное деформационное упрочнение* – для деталей сложной формы. Повышается в 10 – 12 раз срок службы рессор, пружин.

2. *Чеканка* – для упрочнения частей ступенчатых валов, сварных швов, зубчатых колес и др.

3. *Обкатывание (раскатывание)* роликами и шариками. Дорнование и калибровка отверстия.

4. *Обработка стальными щетками* – упрочняется слой на глубину 0,04...0,06 мм. Высотные параметры  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $R_{max}$  снижаются в 2 – 4 раза.

5. *Гидроабразивная обработка* – недостаток – малая глубина наклепа.

6. *Выглаживание алмазным инструментом* – увеличивается в 2 – 4 раза опорная поверхность при той же шероховатости, что и у шлифования, полирования, суперфиниширования (инструмент – алмаз, сапфир, корунд).

7. *Электромеханическая обработка (ЭМО)*, анодно-механическая и др.

8. *Упрочнение взрывом* (пустотелые валы, сварные соединения, лопатки турбин и др.).

9. *Поверхностная закалка* – для среднеуглеродистых и легированных сталей и чугунов  $S = 1,5 \dots 2$  мм. Нагрев – ТВЧ.

10. *Химико-термическая обработка* (цементация, азотирование, цианирование, нитроцементация, борирование и т.д.); т.е. насыщение поверхности различными химическими элементами одновременно с термическим воздействием на него.

11. *Наплавка и напыление металлов* – на поверхности появляются растягивающие напряжения, что несколько снижает предел выносливости.

12. *Методы повышения коррозионной стойкости поверхностей деталей.*

13 *Легирование материалов* – добавление в сплавы специальных элементов (хром, алюминий, никель и т.д.).

II. *Нанесение на поверхность покрытий:*

1) металлических (цинковое, хромовое, никелевое, кадмиевое);

2) неметаллических (неорганических) анодирование, оксидирование, воронение;

3) неметаллических (органических) – лакировочные, пластмассовые, резиновые, битумные;

г) смазка.

III. *Специальные методы:*

1) вибрационное обкатывание – микрорельеф создается за счет вдавливания инструмента, при этом рисунок микрорельефа становится рассматриваемым;

2) применение инструментов из алмаза или эльбора позволяет создавать поверхности с оптимальной микрогеометрией, увеличивая контактную жесткость;

3) электрохимические и электрофизические методы.

*Электроэрозионная обработка* основана на создании электроцепи, в которую входит обрабатываемая заготовка (как анод) и режу-

щий инструмент – электрод (как катод). При сближении происходит искровой разряд, разрушающий в большей мере анод. Ток накапливается в магазине емкостей (конденсаторах). Деталь помещается в ванну с керосином или маслом. В этой среде происходит более быстрое разрушение анода, а также лучшее распыление частиц расплавленного металла. Форма углубления в аноде зависит от формы поперечного сечения катода (обычно латунного), которому придается автоматическая подача для поддержания постоянного расстояния между заготовкой и электродом. Этим методом производят в основном отверстия в металлах любой твердости, обеспечивая достижение шероховатости  $Ra\ 2,5 \dots 1,25$  мкм. Способ малопродуктивный.

*Электроимпульсная обработка* сходна с предыдущим способом, но производительность ее больше  $\approx$  в 10 раз. Это достигается за счет увеличения продолжительности импульса и уменьшения промежутка между ними, т.е. образуется как бы прерывистая дуга. В электроцепь вводят машинные генераторы вместо конденсаторов. Анодом служит инструмент, катодом – обрабатываемая заготовка.

*Электрохимическая обработка* применяется как вид электрополирования. Заготовка в качестве анода помещается в электролитическую ванну, через которую пропускают постоянный ток. В первую очередь растворению подвергаются выступы микронеровностей. В результате поверхность сглаживается, т.е. полируется. Конечная шероховатость зависит от предшествующей обработки, улучшая ее в 1,5–2 раза до  $Ra \approx 0,32$  мкм.

*Электрохимическая обработка* проводится при резании поверхности. Поверхность перед режущей кромкой нагревают электротоком, улучшая условия резания.

*Комбинированная или анодно-механическая обработка* применяется для резания металлов и при заточке инструмента. Заготовка служит анодом в цепи постоянного тока, а инструмент – катодом. К месту обработки подают электролит (жидкое стекло, разбавленное водой).

*Абразивно-жидкостное полирование* основано на воздействии струи жидкости, выбрасываемой из сопла под давлением  $400\ \text{кН/м}^2$  сжатым воздухом. В жидкости во взвешенном состоянии находятся абразивные зерна. Обработку ведут несколько минут, достигая шероховатости  $Ra \approx 0,64 \dots 32$  мкм. Способ применим для полирования сложных поверхностей.

*Ультразвуковая обработка* используется в основном для образования отверстий любой формы в материалах любой твердости, независимо от электропроводности. Инструмент в виде стержня с формой

сечения необходимого профиля слегка прижимается к обрабатываемой поверхности. Ему сообщаются колебания высокой частоты в осевом направлении. В зону обработки вводится жидкость со взвешенными частицами абразива. Способ применяется главным образом для обработки неметаллических материалов: стекла, кварца (даже алмаза).

### **1.10.3. Методы повышения качества поверхностного слоя деталей**

К ним относятся различные методы упрочнения и отделочной обработки, которые направлены на обеспечение заданного качества поверхностного слоя, характеризуемого определенными физико-механическими параметрами и микрогеометрией.

Известно, что состояние поверхностного слоя валов и других деталей оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства машин. Специальной обработкой можно придать поверхностным слоям деталей машин особые физико-механические свойства. Для этой цели в машиностроении применяют ряд методов. Все эти методы могут быть классифицированы следующим образом:

- методы поверхностной термической обработки (обычная закалка, закалка токами высокой частоты (ТВЧ));
- химико-термические методы (цементация, азотирование, плакирование);
- диффузионная металлизация (диффузионное алитирование, хромирование, силицирование и др.);
- покрытие поверхностей твердыми сплавами и металлами (покрытие литыми и порошкообразными сплавами);
- металлизация поверхностей (распылением расплавленным металлом);
- поверхностно-пластическое деформирование.

*Закалка поверхностная* – нагревание электротокком или газовым пламенем поверхности изделия. Сердцевина изделия после охлаждения остается незакаленной. Закалкой получается твердая износостойчивая поверхность при сохранении прочной и вязкой сердцевины. Кроме того, поверхностная закалка может осуществляться с помощью лазерного луча.

*Цементация* – насыщение поверхностного слоя стали углеродом при нагревании ее в твердом, газообразном или жидком карбюризаторе, выдержка и последующее охлаждение – способствует достижению высокой твердости поверхностного слоя детали при сохранении пластичной сердцевины.

*Азотирование* – насыщение поверхностного слоя стали азотом при нагревании в газообразном аммиаке – повышает твердость, износостойчивость и антикоррозийные свойства.

*Цианирование* – одновременное насыщение поверхностного слоя стали углеродом и азотом – улучшает параметры износостойкости и твердости.

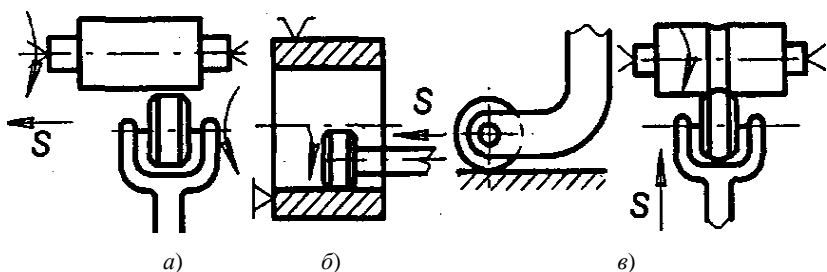
*Покрытие поверхностей* твердыми сплавами и металлами, а также металлизацию (напыление) применяют для повышения износостойкости поверхностей.

*Поверхностно-пластическое деформирование (ППД)* – один из наиболее простых и эффективных технологических путей повышения работоспособности и надежности изделий. В результате ППД повышаются твердость и прочность поверхностного слоя, формируются благоприятные остаточные напряжения, уменьшается параметр шероховатости  $Ra$  и т.д.

Примеры обкатывания и раскатывания поверхностей роликами приведены на рис. 27. Обычно этими способами обрабатывают достаточно жесткие детали из стали, чугуна и цветных сплавов. На рисунке 27, *а* показана схема обработки цилиндрических наружных и внутренних поверхностей.

До обкатывания и раскатывания заготовки обрабатывают точением, шлифованием и другими способами, обеспечивающими точность по 7 – 9-му качеству.

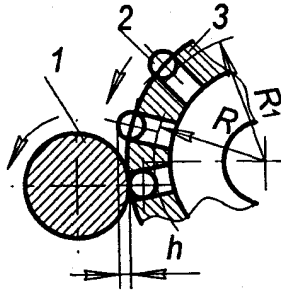
Наряду с изложенными выше способами, широко применяют центробежное (инерционное) упрочнение. При этом используется центробежная сила шариков (роликов), свободно сидящих в радиальных отверстиях быстровращающегося диска. Схема центробежной обработки поверхности шариками показана на рис. 28.



**Рис. 27. Схемы обработки поверхностей детали обкаткой (без снятия слоя материала):**

*а* – наружных и внутренних поверхностей тел вращения;

*б* – плоских поверхностей; *в* – фасонных поверхностей



**Рис. 28. Пример применения центробежной обкатки заготовки**

Шарики 2 при вращении диска 3 смещаются в радиальном направлении, нанося многочисленные удары по заготовке 1 и пластически деформируя поверхность. Для получения поверхностей с минимальным параметром шероховатости и упрочненным слоем небольшой глубины применяют алмазное выглаживание. Процесс аналогичен обкатыванию, но инструментом служит кристалл алмаза, находящийся в специальной державке.



## 2. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ И РАСЧЕТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

---

### 2.1. ПОНЯТИЕ ОБ ИЗДЕЛИИ, ПРОИЗВОДСТВЕННОМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССАХ

Изделие – предмет производства, подлежащий изготовлению на предприятии.

Изделия делятся на две группы:

а) неспецифицированные – не имеющие составных частей (детали);

б) специфицированные – состоящие из двух и более составных частей (сборочные единицы, комплексы, комплекты).

*Деталь* – изделие, изготовленное из однородного материала без применения сборочных операций.

*Сборочная единица* – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой (свинчивание, сварка, клепка, пайка, склеивание и т.д.).

*Комплекс* – два или более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций (бурильная установка, цех-автомат и т.д.).

*Комплект* – набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (комплект инструмента, комплекты запасных частей и т.д.).

*Производственный процесс* – совокупность взаимосвязанных действий, в результате которых исходные материалы и полуфабрикаты превращаются в готовые изделия, соответствующие своему служебному назначению. Он охватывает: подготовку средств производства; обслуживание рабочих мест, все стадии изготовления изделия; сборку; внутризаводскую транспортировку, технический контроль; складские операции; упаковку и др.

*Технологический процесс* – часть производственного процесса, непосредственно связанная с последовательным изменением состояния объекта. Различают технологические процессы выполнения заготовок, термической обработки, механической обработки, сборки. Технологический процесс выполняется на рабочем месте.

*Рабочее место* – участок производственной площади, оборудованный в соответствии с выполняемой на нем работой. Технологический процесс расчленяется на операции.

*Операция* – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте, одним или группой исполнителей непрерывно (до перехода к следующей заготовке).

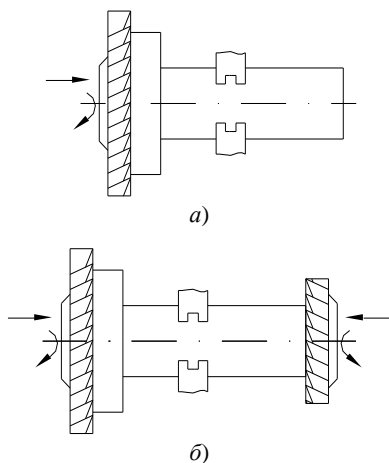
*Пример:* сверление плюс растачивание на одном токарно-винторезном станке разными инструментами – одна операция. Растачивание на токарно-винторезном, а сверление – на сверлильном – две операции. Технологическая операция содержит следующие элементы:

*Установ* – часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы (рис. 29).

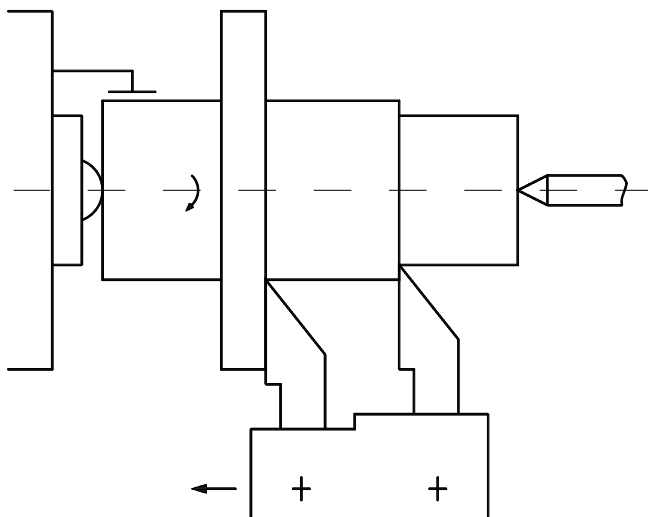
При обработке заготовка может изменять положение относительно узлов станка при помощи поворотных устройств (делительных головок и т.д.), т.е. занимать различные позиции.

*Позиция* – фиксированное положение, занимаемое закрепленной заготовкой или собираемым узлом относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции.

*Пример.* При обработке на револьверном станке каждое новое положение револьверной головки с инструментом считается позицией.



**Рис. 29.** Варианты фрезерования торцов заготовки за два (а) и один (б) установка



**Рис. 30. Пример обработки поверхностей ступенчатого вала за один переход**

*Технологический переход* – законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке, и постоянством режима работы.

*Пример.* Последовательное точение резцом сначала одной ступени вала, а потом другой будет состоять из двух переходов, а если выполнять обточку этих ступеней одновременно двумя резцами, то это будет обтачивание за один переход (рис. 30). Черновая и чистовая обработка также проводится в два перехода, так как меняются режимы резания (подачи, скорость шпинделя, глубина резания).

*Вспомогательный переход* – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей.

*Например:* установка и снятие заготовки, замена инструмента, его установка, контрольный промер и т.д.

Переход состоит из рабочих и вспомогательных ходов.

*Рабочий ход* – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно

заготовки и сопровождаемая изменением размеров, шероховатости или свойств заготовки.

*Вспомогательный ход* – законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки не сопровождаемая изменением формы, размеров, шероховатости или свойств заготовки, но необходимая для выполнения рабочего хода. Например, перемещение суппорта токарного станка в исходное положение после выполнения обточки (тоже для строгального станка).

## 2.2. НОРМА ВРЕМЕНИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СЕБЕСТОИМОСТЬ ИЗДЕЛИЯ

Трудоемкость и себестоимость выполнения технологических операций являются критериями эффективности технологического процесса. Трудоемкость определяется на основе технологических норм.

*Норма времени* – время необходимое для выполнения операции в определенных организационно-технологических условиях, наиболее рациональных для данного производства.

*Технически обоснованная норма времени* – время, необходимое для выполнения операции в определенных организационно-технических условиях наиболее рациональных для данного производства.

*Техническая норма выработки* – величина, обратная норме времени, выражающая количество изделий, выпускаемых в единицу времени.

Имеется *три метода* установления норм:

- 1) на основе изучения затрат рабочего времени *наблюдением*;
- 2) по нормативам (на отдельные элементы операции);
- 3) сравнением и расчетом по *типовым* нормам.

1 и 2 – используется при серийном и массовом производстве, 3 – в мелкосерийном и единичном производстве.

*Штучное время*  $t_{ш}$  – норма времени на выполнение операций по обработке *одной* детали или сборочной единицы

$$t_{ш} = t_0 + t_b + t_T + t_{орг} + t_{п},$$

где  $t_0$  – основное (технологическое) время;  $t_b$  – вспомогательное время;  $t_T$  – время технического обслуживания рабочего места;  $t_{орг}$  – время организационного обслуживания рабочего места;  $t_{п}$  – время перерывов.

$t_0$  – затрачивается на непосредственно изменение размеров, формы и т.д. детали или присоединение при сборке.

$$t_0 = \frac{l_p i}{S_M},$$

где  $l_p$  – расчетная длина, мм (длина хода в направлении подачи) (рис. 31);  $i$  – число рабочих ходов инструмента;  $S_M$  – минутная подача инструмента мм/мин.

а) при ручном подводе (рис. 32)

$$l'_p = l + l_{вр} + l_{сх},$$

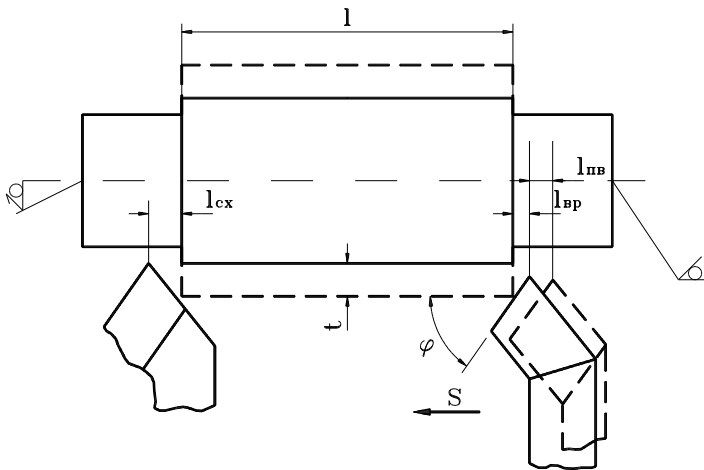
где  $l$  – длина обработки;  $l_{вр}$  – путь врезания;  $l_{сх}$  – путь схода;

б) при автоматическом цикле обработки

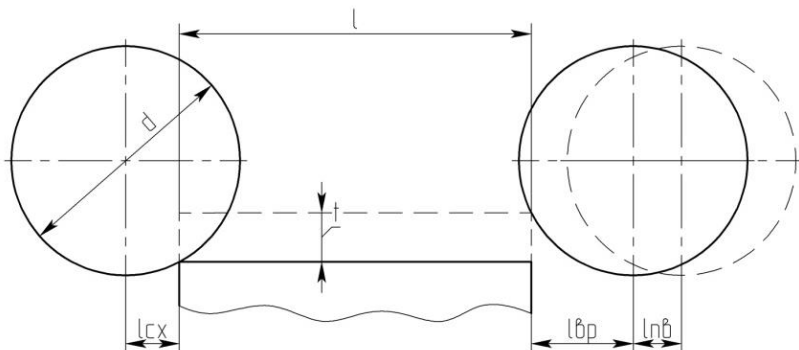
$$l_p = l'_p + l_{пв},$$

где  $l_{пв}$  – путь подвода инструмента, для предупреждения удара в начале резания.

Значения  $l_{вр}$ ,  $l_{сх}$ ,  $l_{пв}$  определяют по справочным данным ( $l_{сх}$  и  $l_{пв} \approx 1$ мм),  $l_{вр}$  определяется из геометрических соображений.



**Рис. 31. Пример определения расчетной длины обрабатываемой поверхности детали при точении**



**Рис. 32. Пример определения расчетной длины обрабатываемой поверхности детали при фрезеровании**

*Пример:*

1) при продольном сечении

$$l_{\text{вп}} = t \operatorname{ctg} \varphi ;$$

2) при фрезеровании паза  $l_{\text{вп}} = \sqrt{t(d-t)}$ ,

где  $t$  – глубина резания;  $d$  – диаметр резьбы;  $t_{\text{в}}$  – затрачивается на действие, сопровождающее выполнение основной работы (закрепление, снятие заготовки или собираемого узла, пуск и остановка станка, переключение режимов обработки и т.д.),  $t_{\text{в}} < 5\% t_0$ .

Сумма основного и вспомогательного времени – *оперативное* время:

$$t_{\text{оп}} = t_0 + t_{\text{в}},$$

где  $t_{\text{т}}$  – время технического обслуживания, затрачивается на смену инструмента, его правку, регулировку и подналадку станка и другие действия, связанные с уходом за рабочим местом при выполнении заданной работы;

$t_{\text{орг}}$  – время организационного обслуживания включает: затраты на уход за рабочим местом в течение смены (смазка и чистка механизмов, раскладка и уборка инструмента, уборка рабочего места);

$t_{\text{т}}$  и  $t_{\text{орг}}$  – определяют по нормативам  $\approx (4 \dots 8\%) t_{\text{оп}}$ ;

$t_{\text{п}}$  – время перерывов (на отдых, личные надобности)  $t_{\text{п}} \approx 2,5\% t_{\text{оп}}$ .

При изготовлении изделий партиями (серийное производство) учитывают также подготовительно-заключительное время  $t_{п.з}$ .

В него входят: получение задания, ознакомление с работой, наладка оборудования, сдача работы, установка и снятие специальных приспособлений. Задание (в частности, наладки) не зависит от размера партии.

В единичном производстве  $t_{п.з}$  учитывается при расчете штучного времени, а в *массовом* – не учитывается вообще.

Штучное и подготовительно-заключительное время образуют норму *штучно-калькуляционного времени*  $t_{ш.к}$ :

$$t_{ш.к} = t_{п.з} / n + t_{ш} ,$$

где  $n$  – число деталей в партии.

На основе норм времени определяют расценки операций, количество оборудования, осуществляют планирование производственного процесса.

*Технологическая себестоимость* операции механической обработки  $C_0$  является основным критерием для установления наиболее экономичного технологического процесса обработки изделия, определяется как

$$C_0 = \frac{C_{п.з} \cdot T_{ш.к(шт)}}{60K_B} ,$$

где  $T_{ш.т(шт)}$  – штучно-калькуляционное или штучное время на операцию (мин);  $K_B$  – коэффициент выполнения норм (обычно  $K_B = 1,3$ );  $C_{п.з}$  – часовые приведенные затраты (руб./ч)

$$C_{п.з} = C_3 + C_{ч.з} + E_n (K_c + K_3) ,$$

где  $C_3$  – основные и дополнительные затраты с начислениями, руб./ч;  $C_{ч.з}$  – часовые затраты на эксплуатацию рабочего места, руб./ч;  $E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности (в машиностроении  $E_n = 0,15$ );  $K_c, K_3$  – удельные часовые капитальные вложения, соответственно в станок и здание, руб./ч.

*Полная себестоимость* изготовления изделия включает в себя также: стоимость материала заготовки, затраты на ее подготовку к механической обработке, накладные расходы, объем партии и т.д.

### 2.3. ТИПЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ. СУЩНОСТЬ ПОТОЧНЫХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

*Тип производства* – организационно-технологическая характеристика производственного процесса. В зависимости от объема производственной программы и характера изготавливаемой продукции различают три основных типа производства: единичное, серийное, массовое. Следует отметить, что для пищевого машиностроения свойственна малая серийность при большой номенклатуре выпускаемых изделий, при сравнительно малом числе предприятий. Это вызывает загруженность каждого завода большой номенклатурой различного оборудования, не имеющего общих конструктивных и технологических признаков.

Тип производства характеризуется коэффициентом закрепления операции  $K_{з.о}$ :

$$K_{з.о} = \frac{O}{P},$$

где  $O$  – число различных операций;  $P$  – число рабочих мест.

Значения  $K_{з.о}$  принимаются для планового периода, равного одному месяцу. Например:

Тип производства	Массовое	Крупно-серийное	Средне-серийное	Мелко-серийное	Единичное
$K_{з.о}$	1,0	< 10	10...20	20...40	> 40

Единичное производство – характеризуется:

- 1) широкой номенклатурой изделий;
- 2) малым объемом выпускаемых изделий;
- 3) применением универсального оборудования (с разбивкой на участки – токарный, фрезерный и т.д.);
- 4) высокой квалификацией рабочих;
- 5) высокой себестоимостью продукции.

В серийном производстве детали заготавливают партиями, а изделия сериями, повторяющимися через определенные промежутки времени.

Серийное производство характеризуется:

- 1) ограниченной номенклатурой изделий;
- 2) применением как универсального, так и специального оборудования, приспособлений, инструмента;



3) широким использованием УНП (универсальные наладочные приспособления) УСП (универсальные сборные приспособления), станков с ЧПУ;

4) оборудование располагают как по типам станков, так и в последовательном ТП.

Массовое производство характеризуется:

1) узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий;

2) на каждом рабочем месте выполняется одна неизменно-повторяющаяся операция;

3) оборудование располагается в последовательности выполнения операций;

4) широкое применение специализированного оборудования, средств комплексной механизации и автоматизации;

5) соблюдение принципов полной взаимозаменяемости.

Высшей формой массового производства является поточно-массовое, при этом время каждой операции равно или кратко времени всего потока (такта). Среднее значение такта выпуска (темпа) – промежуток, времени, через который с поточной линии выпускается единица продукции (мин/шт.),

$$t = \frac{60FKm}{N},$$

где  $F$  – календарный фонд времени (час) (при одной смене – 20 – 70 ч);  $K$  – коэффициент потерь времени на ремонт оборудования ( $K = 0,98...0,96$ );  $m$  – число рабочих смен;  $N$  – годовая программа выпуска.

## **2.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

### **2.4.1. Основные принципы построения технологического процесса**

При разработке технологических процессов в основу положены два принципа: технологический и экономический. Технологический принцип предполагает обеспечение выполнения всех требований рабочего чертежа и технических условий на обработку конкретного изделия. По экономическому принципу изготовление изделия проводится с минимальными затратами труда и издержками производства.

Таким образом, технологический процесс изготовления должен выполняться с полным использованием технических возможностей средств производства при наименьших затратах времени, минимальной себестоимости.

Из нескольких возможных вариантов технологического процесса изготовления изделия, равноправных с точки зрения технического принципа, выбирают наиболее эффективный, производительный и рентабельный вариант (рис. 33).

Многообразие элементов, факторов, обуславливающих проектирование технологического процесса, затрудняет возможность создания общих правил построения. Однако, обобщая опыт промышленности, выделены некоторые положения, которые необходимо учитывать при проектировании технологических процессов.

1. Процесс должен обеспечивать выполнение требований к изделию при минимальных затратах и наибольшей производительности.

2. Первыми при механической обработке следует выполнять те операции, на которых удаляется наибольший припуск в связи с тем, что в этом случае перераспределяются напряжения, возникающие при изготовлении заготовок и происходит деформация в начале технологического процесса, которая на последующих операциях исправляется, т.е. достигается необходимая форма и точность. Так же при снятии значительного припуска может быть выявлены дефекты металла заготовки и такую заготовку не пускают на дальнейшую обработку.

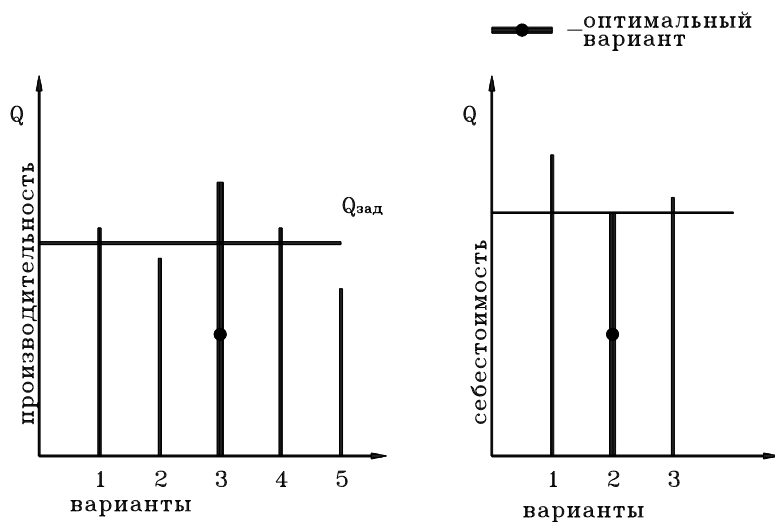


Рис. 33. Пример определения оптимального варианта обработки заготовки

3. При механической обработке операции, при выполнении которых значительно уменьшается жесткость детали, следует проводить после тех, в которых жесткость уменьшается незначительно.

4. Рекомендуется выполнять черновую и чистовую обработку в различных операциях и на различных станках, так как в одной операции может быть затруднено достижение заданной точности.

Кроме названных положений, соблюдение которых желательно, существуют другие правила. Например, принцип размещения термообработки в технологическом процессе, принцип предпочтительной операции и др.

#### **2.4.2. Исходные данные для проектирования процессов**

Исходными данными при разработке технологических процессов для новых заводов являются: рабочий чертеж (определяющий материал, конструктивные формы и размеры детали), технологические условия на изготовление (характеризуют точность, структуру, термообработку, балансировку и пр.), программа выпуска, срок выполнения.

Для действующих или реконструируемых заводов необходимы сведения о наличном оборудовании, площадях и других местных производственных условиях. При заданном виде исходной заготовки возможности технолога ограничиваются при проектировании. При разработке технологических процессов пользуются справочными и нормативными материалами: каталоги и паспорта оборудования и приспособлений; ГОСТы и нормативы на режущий инструмент и измерительные приборы, нормативы на точность, шероховатости, расчеты припусков, режимы резания и техническое нормирование времени; тарифно-квалификационные справочники и другие вспомогательные материалы.

#### **2.4.3. Анализ чертежа, технических условий и служебного назначения детали**

Подробное изучение рабочего чертежа, технических условий на изготовление и условий работы детали в изделии – все это предшествует проектированию технологического процесса. Проверяется достаточность проекций, разрезов, правильность простановки размеров, изучаются требования на точность и шероховатость поверхностей, и другие требования.

*Пример.* Деталь корпус (рис. 34) имеет форму многоступенчатого тела вращения. Общая длина детали – 33 мм. Вес – 0,07 кг.

Корпус имеет отверстие с одной стороны, в котором нарезана резьба М22-7Н, и отверстие с другой стороны – диаметром 14Н10 мм. Внешняя поверхность состоит из трех ступеней: левая – цилиндрическая поверхность, диаметром 27 мм, центральная – шестигранник с боковым размером 27 мм, правая – цилиндрическая поверхность, на которой нарезана резьба М20-7Н. Корпус изготовлен из стали 35 ГОСТ 1051–73.

Деталь используется как элемент запорной арматуры.

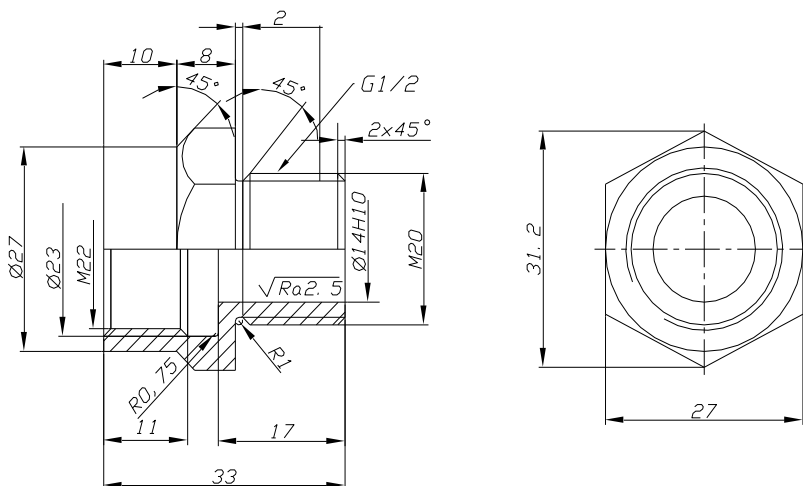


Рис. 34. Корпус

#### 2.4.4. Рекомендации системы технологической подготовки производства

Проектирование технологических процессов отличается трудоемкостью и характеризуется многовариантностью решений. Проектирование выполняют в нескольких стадий. Вначале составляют предварительные наброски технологического процесса, далее их уточняют и конкретизируют на основе детальных технологических расчетов. Приемлемое решение принимают после разработки и сравнения, нескольких технологических вариантов.

В условиях массового производства технологический процесс разрабатывают подробно для всех оригинальных деталей изделия. На нормализованные и стандартные детали используют типовые процессы. В единичном производстве ограничиваются сокращенной разработкой, так как подробная разработка экономически не оправдана. Исключения составляют сложные и дорогие детали (например, в тяжелом машиностроении). В условиях серийного производства составляют групповые технологические процессы. На оригинальные детали разрабатывают индивидуальные процессы.

Процесс проектирования состоит из комплекса взаимосвязанных этапов, которые рекомендуется выполнять в определенной последовательности:

- 1) определение типа производства и методов работы;
- 2) выбор метода получения заготовки и установление предъявляемых к ней требований; выбор установленных баз;
- 3) выбор маршрута обработки отдельных поверхностей;
- 4) составление маршрута обработки детали в целом;
- 5) предварительная наметка операций;
- 6) расчет межоперационных припусков;
- 7) установление технологических допусков и предельных размеров заготовки по технологическим переходам;
- 8) уточнение содержания операций;
- 9) выбор оборудования, инструментов и приспособлений;
- 10) установление режимов резания;
- 11) выявление настроечных размеров;
- 12) уточнение схем установки, закрепления заготовки для разработки технического задания на конструирование приспособления;
- 13) установление норм времени и квалификации рабочих;
- 14) оформление технологической документации.

## **2.5. ЭТАПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ**

### **2.5.1. Выбор маршрута обработки поверхностей детали**

На начальной стадии разработки ТП составляют перечень технологических переходов, которые могут быть применены для достижения заданной чертежом точности и шероховатости. Учитывая, что

каждому методу обработки соответствует определенное качество поверхности ( $R$ ,  $JT$ ), метод окончательной обработки (последнего перехода) подсказывается рабочим чертежом.

Вид (конфигурация) и точность заготовки облегчают определение первого технологического перехода.

*Пример:*

1. В исходной заготовке есть отлитое отверстие – поэтому переход сверления отсутствует, и обработка выполняется растачиванием или зенкерованием.

2. Заготовка для гладкого вала – калиброванный прокат. Обтачивание не требуется – сразу шлифование.

Зная содержание первого и последнего переходов, устанавливают промежуточные, при этом исходят из того, что каждому методу окончательной обработки предшествуют несколько предварительных (менее точных). Пример: чистовому развертыванию отверстия предшествует предварительное, а предварительному развертыванию – чистовое зенкерование или сверление.

Число вариантов маршрута обработки может быть довольно большим. Выбор варианта проводится приближенно, оценивая трудоемкость по нормативным вариантам. Более точно маршрут обработки определяют при сравнении суммарной себестоимости обработки всего изделия (детали). Значительную помощь при этой работе может оказать ЭВМ.

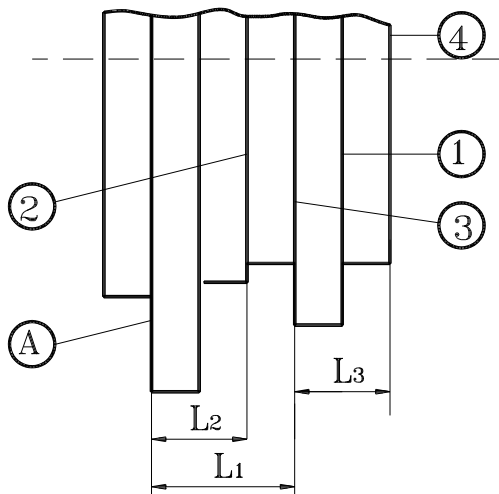
*Пример:*

Заготовка – чугунная отливка с отверстием. Надо получить H8.

- |   |   |
|---|---|
| 4 – черновое зенкерование начальная     | } |
| 5 – черновое растачивание обработка     |   |
| 6 – чистовое зенкерование промежуточная | } |
| 7 – чистовое растачивание обработка     |   |
| 1 – развертывание                       | } |
| 2 – тонкое растачивание окончательная   |   |
| 3 – протягивание обработка              |   |

Всего возможно 10 вариантов маршрута (рис. 35).





**Рис. 36. Пример определения последовательности обработки поверхностей детали**

4. В первую очередь необходимо обработать ту поверхность, относительно которой на чертеже координированы другие поверхности детали. Например: сначала обрабатывают поверхность А, затем поверхность 3, а потом – остальные (рис. 36).

5. Вспомогательные операции и второстепенные (сверление местных отверстий, снятие фасок, прорезка канавок и т.п.) выполняют на стадии чистовой обработки.

6. Обработку зубьев колес, нарезание шлицев, обработку пазов и т.п. выделяют как самостоятельные операции.

7. Необходимо учесть возможность объединения операций, выполняемых на одном станке.

8. Исходя из условий конкретного производства, при составлении маршрута учитывают: наличие специализированных цехов, соответствие такту выпуска (массовое производство). Для тяжелых заготовок предусматривают минимум перестановок.

9. Всемерно применять принципы типизации ТП.

В маршруте обработки указывают также операции контроля, для своевременного предупреждения появления брака. Различают сплошные и выборочные контрольные операции. Методы контроля: пассивный и активный.



*Пример.* Винт ходовой представляет собой цилиндрическую деталь и имеет следующие габаритные размеры: наружный диаметр  $\varnothing 60$  мм, длина 500 мм. На наружной поверхности детали предусмотрено два резьбовых участка: трапецеидальная резьба  $Tr\ 50 \times 8$  мм, метрическая резьба  $M30 \times 1,5$  мм, участок со шлицами.

Рассмотрим два метода получения заготовки (рис. 37) для данной детали. При первом точении детали производятся из круглого проката обычной точности по ГОСТ 2590–88 (круг  $\varnothing 65$ ), при втором – из штамповки.

Определим габаритные размеры и массу каждой заготовки.

1) круглый прокат обычной точности (с учетом отхода материала на отрезку): диаметр  $\varnothing 65^{+0,5}_{-1,1}$ ; длина  $504^{+1,4}_{-1,4}$  мм. Вес составляет 13,17 кг;

2) штампованная заготовка в открытом штампе на молоте. По справочнику находим допуски на обрабатываемые поверхности: диаметр  $\varnothing 65^{+2,1}_{-1,1}$ ; длина  $510^{+2}_{-1}$  мм. Вес составляет 8,94 кг.

Как видно, вес двух видов заготовок примерно одинаков. Рассчитаем себестоимость изготовления заготовок.

Себестоимость изготовления заготовки из круглого проката обычной точности состоит из действующей оптовой цены за единицу веса материала, накладных транспортных расходов, заработной платы непосредственных исполнителей работ, общецеховых расходов, амортизационных и прочих отчислений.

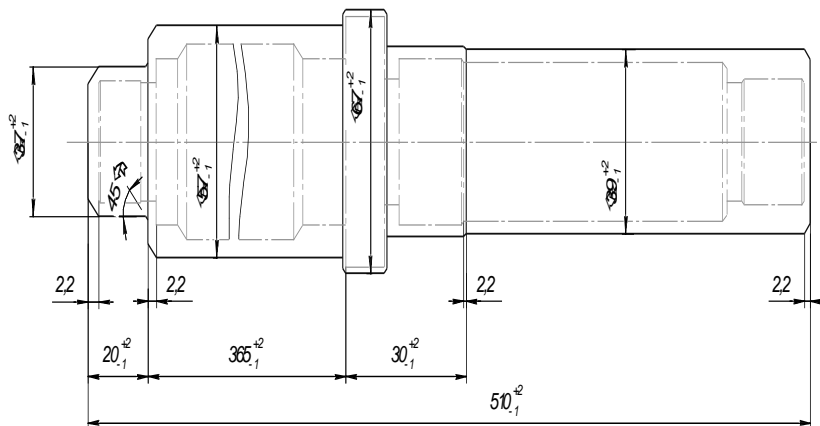


Рис. 37. Заготовка винта ходового

Ориентировочная стоимость заготовки (круглый прокат):

$$S_{\text{заг}} = \frac{QC_i}{1000} - (Q - q) \frac{S_{\text{отх}}}{1000},$$

где  $C_i$  – стоимость 1 т заготовок, принятых за базу;  $C_i = 15\,000$  д.е.;  $S_{\text{отх}}$  – стоимость 1 тонны стружек,  $S_{\text{отх}} = 2500$  д.е.;  $q$  – масса готовой детали, кг.

$$S_{\text{заг1}} = \frac{13,17 \cdot 15\,000}{1000} - (13,17 - 5,67) \cdot \frac{2500}{1000} = 178,8 \text{ д.е.}$$

Себестоимость изготовления заготовки методом штамповки, помимо указанных расходов, включает дополнительные, связанные с повышенной энергоемкостью производства, обрубки и зачистки полученных заготовок и т.д.

Ориентировочная стоимость заготовки (штампованная заготовка):

$$S_{\text{заг}} = \frac{C_i}{1000} Q K_T K_C K_B K_M K_{\Pi} - (Q - q) \frac{S_{\text{отх}}}{1000},$$

где  $C_i$  – базовая стоимость 1 т штамповок, руб.;  $C_6 = 37\,300$  д.е.;  $K_T$  – коэффициент, зависящий от класса точности заготовки;  $K_C$  – коэффициент, зависящий от группы сложности заготовки;  $K_B$  – коэффициент, зависящий от массы заготовки;  $K_{\Pi}$  – коэффициент, зависящий от объема выпуска деталей;  $K_M$  – коэффициент, зависящий от марки материала заготовки.

Деталь относится ко II группе сложности. По справочникам:

$$K_T = 1; K_C = 0,84; K_B = 0,73; K_M = 1; K_{\Pi} = 1.$$

$$S_{\text{заг2}} = \frac{37\,300}{1000} \cdot 8,94 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 0,73 \cdot 1 \cdot 1 - (8,94 - 5,67) \cdot \frac{2500}{1000} = 196,3 \text{ д.е.}$$

Припуски на механическую обработку берем из ГОСТ 7505–74.

### 2.5.3. Проектирование технологических операций

При разработке структуры операций механической обработки стремятся к наиболее экономическим вариантам.

С этой целью стремятся к перекрытию элементов основного  $t_0$  и вспомогательного  $t_b$  времени, тем самым уменьшая  $t_{\text{шт}}$ , и, как след-

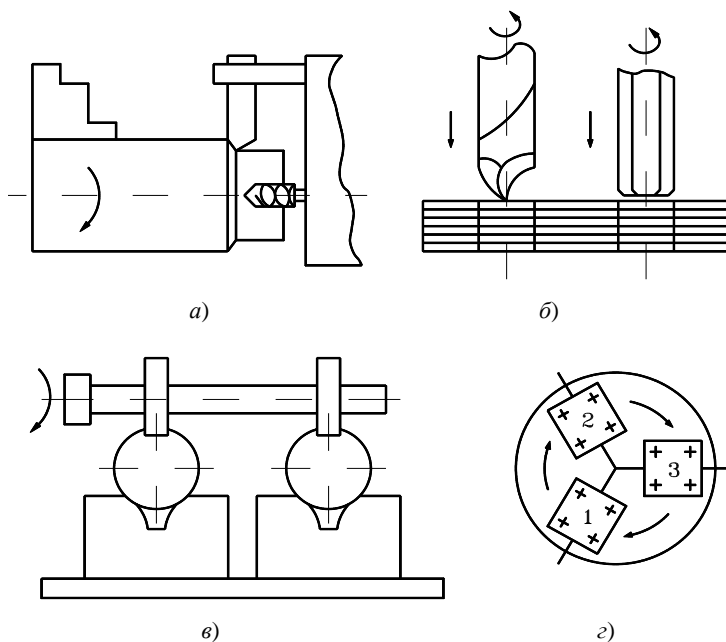
стве, повышая производительность процесса. Имеются следующие схемы построения операций, отличающиеся:

а) числом одновременно устанавливаемых заготовок: одноместные и многоместные;

б) числом участвующих в обработке инструментов: одноинструментальные и многоинструментальные;

в) порядком использования инструментов – последовательная, параллельная и параллельно-последовательная.

Путем сочетания указанных схем достигают различных схем обработки (рис. 38).



**Рис. 38** Пример обработки различных поверхностей деталей:

*а* – одноместная, параллельная, многоинструментальная (сверление + точение); *б* – многоместная, многоинструментальная, последовательная (сверление + зенкерование, одновременно в 4-х заготовках); *в* – многоместная, многоинструментальная, параллельная (фрезерование пазов одновременно в 2-х деталях); *г* – многоместная, многоинструментальная, параллельно-последовательная (на токарно-многоспindleльном полуавтомате с круглым поворотным столом); 1 – загрузка и съем; 2 – одновременное сверление 4-х отверстий; 3 – одновременное зенкерование 4-х отверстий

Выбор схемы построения операций в значительной степени зависит от программы выпуска, например: при единичном – одностая, одноинструментальная, последовательная; при серийном, массовом – многостая, многинструментальная, параллельная или параллельно-последовательная.

Оценку эффективности построения операции проводят по коэффициенту совмещения оперативного времени

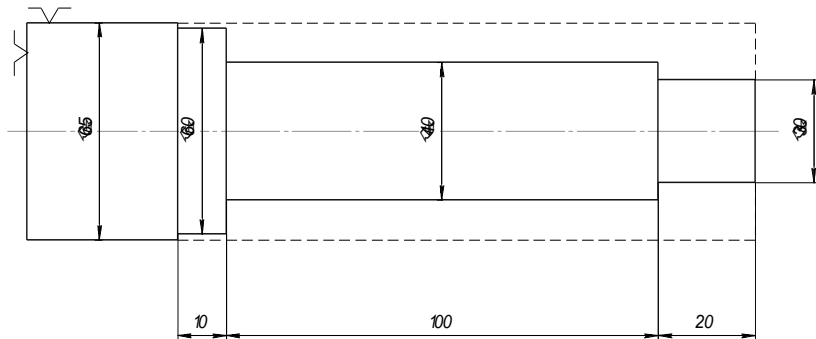
$$K_o = \frac{t_o + t_b}{\sum_{i=1}^n t_{oi} + \sum_{i=1}^n t_{bi}},$$

где  $(t_o + t_b)$  – основное и вспомогательное время;  $\left( \sum_{i=1}^n t_{oi} + \sum_{i=1}^n t_{bi} \right)$  – сумма всех элементов основного и вспомогательного времени операции.

*Пример.* Сравним стоимость механической обработки детали из круглого проката обычной точности по ГОСТ 2590–88 (круг  $\varnothing 65$ ) и из штампованной заготовки.

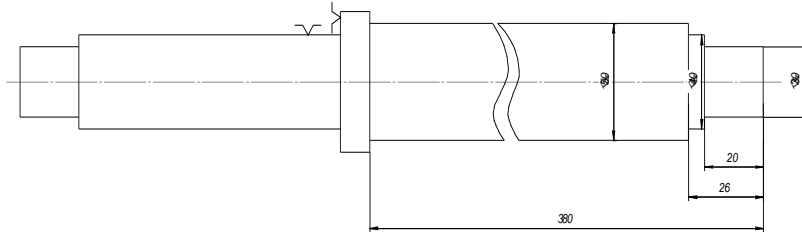
1. Прокат: выбираем токарно-револьверный станок.

Установ А.



1. Точить  $\varnothing 60$  на длину 130 (2 прохода).
2. Точить  $\varnothing 40$  на длину 120 (4 прохода).
3. Точить  $\varnothing 30$  на длину 20 (6 проходов).

Установ Б.



1. Точить  $\varnothing 50$  на длину 380 (2 прохода).
2. Точить  $\varnothing 40$  на длину 26 (2 прохода).
3. Точить  $\varnothing 30$  на длину 20 (2 прохода).

Часовые приведенные затраты

$$C_{\text{п.з.}} = \frac{C_3}{M} + C_{\text{ч.з.}} + E_{\text{н}}(K_{\text{с}} + K_3),$$

где  $E_{\text{н}} = 0,2$  – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений;  $M = 1$  – коэффициент многостаночности;  $C_{\text{ч.з.}}$  – часовые затраты по эксплуатации рабочего места,

$$C_{\text{ч.з.}} = C_{\text{ч.з.}}^{\text{баз}} K_{\text{м}},$$

где  $C_{\text{ч.з.}}^{\text{баз}} = 36,3$  д.е.;  $K_{\text{м}}$  – коэффициент, показывающий, во сколько раз затраты, связанные с работой данного станка больше, чем аналогичные расходы у базового станка.

$$K_{\text{м}} = \left( \frac{4,43}{1000} + 0,97R + 0,55M_y \right) \cdot \frac{1}{20},$$

$$K_{\text{с}} = \frac{\text{Ц} \cdot 100}{3200},$$

$$K_3 = \frac{F \cdot 75 \cdot 100}{3200},$$

где  $\text{Ц}$  – балансовая стоимость станка,  $\text{Ц} = 335\,000$  д.е.;  $R$  – суммарная ремонтная стоимость механической и электрической частей станка,  $R = 28$  д.е.;  $M_y$  – установленная мощность двигателя станка,  $M_y = 3$  кВт;  $F$  – производственная площадь, занимаемая станком с учетом проходов,  $\text{м}^2$ .

$$F = f \cdot K_f = 3,91 \cdot 3,5 = 13,69 \text{ м}^2;$$

$$K_M = \left( \frac{4,43}{1000} + 0,97 \cdot 28 + 0,55 \cdot 2 \right) \cdot \frac{1}{20} = 1,41;$$

$$C_{\text{ч.з.}} = 36,3 \cdot 1,41 = 51,3 \text{ д.е.}$$

Основная, дополнительная заработная плата и начисления на соцстрах оператору и наладчику за физический час работы обслуживаемых машин

$$C_3 = C_{\text{тф}} \cdot 1,53k,$$

где  $C_{\text{тф}}$  – часовая тарифная ставка станочника соответствующего разряда,  $C_{\text{тф}} = 47,9$  д.е.;  $k$  – коэффициент, учитывающий зарплату наладчика,  $k = 1$ .  $C_3 = 47,9 \cdot 1,53 \cdot 1 = 73,29$  д.е./ч.

Скорректированная величина часовых затрат при  $\eta_3 < 60\%$ .

$$C_{\text{ч.з.}}^k = C_{\text{ч.з.}} \cdot \frac{\varphi}{1,14},$$

$$\eta_3 = \frac{T_{\text{шт}}}{t_{\text{в}} m_{\text{п}}},$$

где  $m_{\text{п}}$  – принятое число станков на операции;  $t_{\text{в}}$  – такт выпуска,  $t_{\text{в}} = 4670$  ч;  $T_{\text{шт}}$  – штучно-калькуляционное время.

$$T_{\text{шт}} = \varphi_k T_0,$$

где  $T_0$  – основное технологическое время;  $\varphi_k = 1,98$ .  $T_0 = 0,00017dl$ .

Для черновой обработки за один проход

$$T_{01} = 2 \cdot 0,00017 \cdot 60 \cdot 130 = 2,66 \text{ мин};$$

$$T_{02} = 4 \cdot 0,00017 \cdot 40 \cdot 120 = 3,26 \text{ мин};$$

$$T_{03} = 6 \cdot 0,00017 \cdot 30 \cdot 20 = 0,61 \text{ мин};$$

$$T_{04} = 2 \cdot 0,00017 \cdot 50 \cdot 380 = 6,46 \text{ мин};$$

$$T_{05} = 2 \cdot 0,00017 \cdot 40 \cdot 26 = 0,35 \text{ мин};$$

$$T_{06} = 2 \cdot 0,00017 \cdot 30 \cdot 20 = 0,2 \text{ мин};$$

$$T_0 = 2,66 + 3,26 + 0,61 + 6,46 + 0,35 + 0,2 = 13,54 \text{ мин};$$

$$T_{шт} = 1,98 \cdot 13,54 = 26,81 \text{ мин};$$

$$\eta_3 = \frac{26,81}{46,70 \cdot 2} = 0,29 < 0,6 .$$

$$C_{ч.з.}^k = C_{ч.з.} \cdot \frac{\varphi}{1,14};$$

$$\varphi = 1 + \frac{\alpha(1 - \eta_0)}{\eta_0},$$

где  $\alpha = 0,4$  – удельный вес условно-постоянных затрат в часовых затратах на рабочем месте

$$\varphi = 1 + \frac{0,4 \cdot (1 - 0,29)}{0,29} = 1,98;$$

$$C_{ч.з.}^k = 36,3 \cdot \frac{1,98}{1,14} = 63,05 \text{ д.е.}$$

Капитальные вложения в станок и задание для серийного производства

$$K_c = \frac{3350 \cdot 100}{3200} = 104,7 \text{ д.е./ч};$$

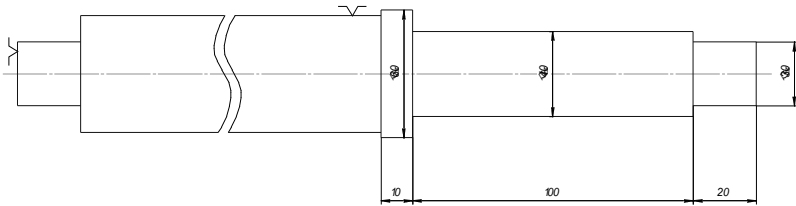
$$K_3 = \frac{13,69 \cdot 75 \cdot 100}{3200} = 32,08 \text{ д.е./ч};$$

$$C_{п.з.} = \frac{73,29}{1} + 63,05 + 0,2 \cdot (104,7 + 32,08) = 163,7 \text{ д.е./ч};$$

$$C_{01} = \frac{C_{п.з.} \cdot T_{шт}}{60} = \frac{163,7 \cdot 26,81}{60} = 73,15 \text{ д.е.}$$

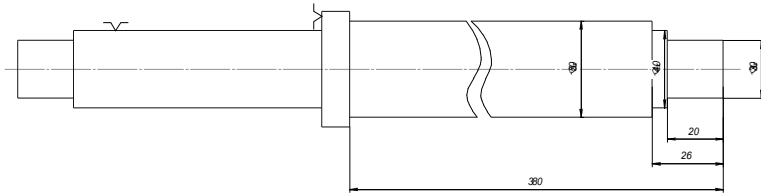
## 2. Штамповка.

### Установ А.



1. Точить  $\varnothing 60$  на длину 130 (1 проход).
2. Точить  $\varnothing 40$  на длину 120 (1 проход).
3. Точить  $\varnothing 30$  на длину 20 (2 прохода).

### Установ Б.



1. Точить  $\varnothing 50$  на длину 380 (1 проход).
2. Точить  $\varnothing 40$  на длину 26 (1 проход).
3. Точить  $\varnothing 30$  на длину 20 (1 проход).

Часовые приведенные затраты

$$C_{п.з.} = \frac{C_3}{M} + C_{ч.з.} + E_n (K_c + K_3).$$

$E_n = 0,2$ ;  $M = 1$ ;  $K_c = 104,7$  д.е./ч;  $K_3 = 32,08$  д.е./ч;  $C_3 = 73,29$  д.е./ч.

Основное технологическое время:

$$T_o = 0,00017dl.$$

$$T_{o1} = 0,00017 \cdot 60 \cdot 130 = 1,33 \text{ мин};$$

$$T_{o2} = 0,00017 \cdot 40 \cdot 120 = 0,82 \text{ мин};$$

$$T_{o3} = 0,00017 \cdot 30 \cdot 20 = 0,2 \text{ мин};$$

$$T_{o4} = 0,00017 \cdot 50 \cdot 380 = 3,23 \text{ мин};$$



$$T_{o5} = 0,00017 \cdot 40 \cdot 26 = 0,18 \text{ мин};$$

$$T_{o6} = 0,00017 \cdot 30 \cdot 20 = 0,1 \text{ мин};$$

$$T_o = 1,33 + 0,82 + 0,2 + 3,23 + 0,18 + 0,1 = 5,86 \text{ мин};$$

$$T_{шт} = 1,98 \cdot 5,86 = 11,6 \text{ мин};$$

$$\eta_3 = \frac{11,6}{46,70 \cdot 1} = 0,25 < 0,6.$$

$$C_{ч.з.}^k = C_{ч.з.} \cdot \frac{\varphi}{1,14};$$

$$\varphi = 1 + \frac{\alpha(1 - \eta_0)}{\eta_0},$$

где  $\alpha = 0,4$  – удельный вес условно-постоянных затрат в часовых затратах на рабочем месте

$$\varphi = 1 + \frac{0,4(1 - 0,25)}{0,25} = 2,2;$$

$$C_{ч.з.}^k = 36,3 \cdot \frac{2,2}{1,14} = 70,05 \text{ д.е.}$$

Капитальные вложения в станок и задание для серийного производства

$$C_{п.з.} = \frac{73,29}{1} + 70,05 + 0,2 \cdot (104,7 + 32,08) = 169,69 \text{ д.е./ч.};$$

$$C_{o2} = \frac{C_{п.з.} \cdot T_{шт}}{60} = \frac{169,69 \cdot 11,6}{60} = 32,81 \text{ д.е.}$$

Технологическая себестоимость  $C'_o$  :

– прокат  $C'_{o1} = C_{o1} + S_{заг1} = 73,15 + 178,8 = 251,95 \text{ д.е.};$

– штамповка  $C'_{o2} = C_{o2} + S_{заг2} = 32,81 + 196,3 = 229,11 \text{ д.е.}$

Приведенная годовая экономия

$$J = (C'_{o1} - C'_{o2}) \cdot N = (251,95 - 229,11) \cdot 10\,000 = 228\,400 \text{ д.е.}$$

#### 2.5.4. Определение припусков на обработку

Исходная заготовка отличается от детали тем, что на всех обрабатываемых поверхностях предусмотрены припуски – слои материала, подлежащие удалению с поверхности заготовки в процессе обработки для получения заданной точности и шероховатости. Материал, оставленный в выемках, пазах и отверстиях отливок и поковок, образует напуск, также удаляемый при обработке. Напуском является также слой материала проката, превышающий размеры заготовки с учетом припуска на обработку. Напуск удаляют, как правило, в два прохода (60...70% – первый; 40...30% – второй).

Припуски разделяют на общие – удаляемые в течение всего процесса обработки и межоперационные (промежуточные), удаляемые при выполнении отдельных операций. Межоперационный припуск определяется разностью размеров заготовки, полученных на смежных предшествующем и выполняемом переходах.

*Общий припуск* равен сумме межоперационных припусков по всем технологическим операциям.

Припуски могут быть симметричными (для тел вращения) и асимметричными (призматические детали).

Различают номинальный, минимальный и максимальный припуск.

*Минимальный припуск*, т.е. наименьший слой металла, снимаемый при обработке, есть разность между наименьшим размером заготовки и наименьшим размером после выполнения данного перехода. Максимальный припуск равен номинальному припуску минус допуск на выполнение данного перехода.

*Номинальный припуск* – разность между номинальными размерами поверхности после предшествовавшего и после данного перехода.

*Максимальный припуск* – разность между наименьшим размером поверхности после выполнения предшествовавшего перехода и наименьшим ее размером после выполнения данного перехода.

Существуют нормативные данные, суммируя которые, можно получить величину «*min*» припуска. Имеются также ГОСТы на значения общих припусков на обработку отливок и поковок. При оценке величины общего припуска учитываются факторы:

- 1) размер и конструктивные формы;
- 2) материал и способ получения заготовки;
- 3) величина дефектного слоя;
- 4) погрешность установки;
- 5) степень деформации.

Минимальный припуск – минимальная необходимая толщина слоя материала для выполнения данной операции. Он является исходной величиной при расчете припусков.

Припуски на обработку определяются двумя методами:

1) опытно-статистический – при котором, значения общих и промежуточных припусков определяют по справочным таблицам, составленным на основе обобщения производственного опыта. Недостаток метода – нет учета конкретных условий построения ТП. Полученные припуски, как правило, завышены, так как ориентируются на полное отсутствие брака;

2) расчетно-аналитический метод (проф. Кован В. М.), согласно которому промежуточный припуск должен быть таким, чтобы при его снятии устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующем переходе, а также погрешности установки на данном переходе.

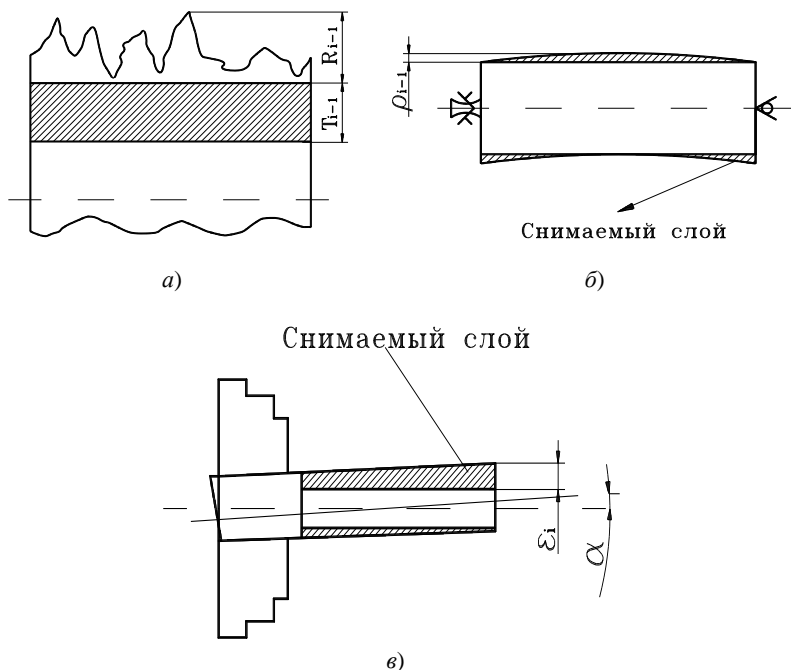
Основа метода – определение  $Z_{\min}$ .

### **2.5.5. Факторы, определяющие минимальный припуск**

Величину минимального промежуточного припуска определяют следующие факторы:

1. *Высота неровностей  $Rz_{i-1}$* , полученная на смежном предшествующем переходе. Зависит от условий этого перехода (режим резания, метод резания и т.д.) (рис. 39, а).

2. *Состояние и глубина  $T_{i-1}$*  поверхностного (дефектного) слоя – полученные также на смежном предшествующем переходе, подлежащие частичному (после поверхностной закалки) или чаще полному удалению. У отливок состоит из перлитной корки с включением формовочного песка и т.д. У стальных поковок – это обезуглероженный слой (рис. 39, а).



**Рис. 39. Факторы, определяющие величину операционного припуска**

3. *Пространственное отклонение*  $\rho_{i-1}$  расположения обрабатываемой поверхности относительно базовой. Например, несоосность наружной (базовой) поверхности и растачиваемого отверстия; перпендикулярность торцевой плоскости оси базовой цилиндрической поверхности; нецилиндричность обрабатываемой поверхности относительно базовой оси (рис. 39, б).

4. *Погрешность установки*  $\epsilon_i$ , возникающая на выполняемом переходе, за счет нестабильности положения обрабатываемой поверхности вследствие ее смещения. Это смещение возникает при закреплении заготовки из-за неточностей установочных элементов приспособления и других причин (рис. 39, в).

Общая величина минимального припуска определяется суммированием указанных выше величин  $Rz_{i-1}$ ,  $T_{i-1}$ ,  $\rho_{i-1}$ ,  $\epsilon_i$ . Учитывая, что  $\rho_{i-1}$ ,  $\epsilon_i$  векторные величины, в случае цилиндрических заготовок их суммирование проводят по правилу квадратного корня.

Таким образом, получены следующие зависимости для определения  $Z_{\min}$ :

а) обработка плоских поверхностей

$$Z_{i\min} = (Rz_{i-1} + T_{i-1}) + (\rho_{i-1} + \varepsilon_i);$$

б) обработка тел вращения

$$2Z_{i\min} = 2[(Rz_{i-1} + T_{i-1}) + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}].$$

На базе указанных зависимостей могут быть получены формулы для конкретных случаев. При развертывании плавающей разверткой и протачиванием

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1}).$$

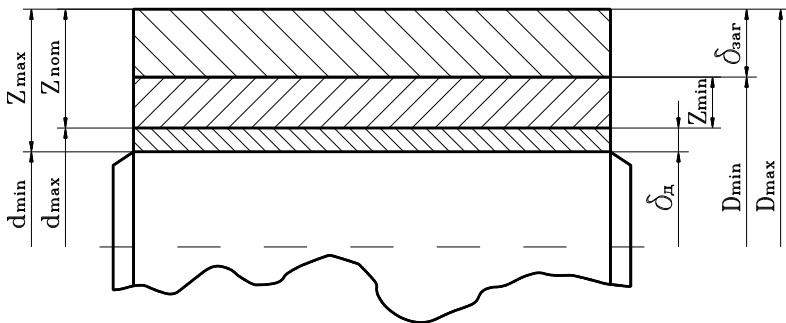
При суперфинише и полировании  $2Z_{i\min} = 2Rz_{i-1}$ .

Следует отметить, что при обработке цилиндрической заготовки в центрах  $\varepsilon_i$  не учитывается.

### 2.5.6. Определение промежуточных и исходных размеров заготовки

Для определения размеров заготовки, значений операционных припусков воспользуемся методом графического построения (рис. 40).

Для однопроходной обработки вала: построение схемы операционных допусков и припусков начинают прибавлением  $Z_{\min}$  к максимальному размеру детали  $d_{\max}$ . Получаем минимальный размер заготовки  $D_{\min}$ , прибавляя к которому значение технологического допуска на заготовку  $\delta_d$  получаем максимальный размер заготовки  $D_{\max}$ .



**Рис. 40. Пример расположения полей припусков и допусков при индивидуальной настройке станка на размер**

Таким образом:

$$Z_{\min} = D_{\min} - d_{\max},$$

$$Z_{\max} = D_{\max} - d_{\min},$$

$$Z_{\text{ном}} = D_{\max} - d_{\max},$$

$$Z_{\max} = Z_{\text{ном}} + \delta_{\text{д}}.$$

Для многопроходной обработки процедура определения составляющих общего технологического припуска аналогична. Следует отметить, что рассмотренная схема построения полей припусков и допусков справедлива при индивидуальной настройке станка на изготавливаемую деталь.

При обработке на предварительно настроенных на размер станках в результате упругих отжатий элементов СПИД возникают явления копирования, т.е. при обработке заготовки с наименьшим предельным размером  $D_{\min}$  выдерживаемый размер получается наименьшим  $d_{\min}$ .

При обработке заготовки с наибольшим предельным размером  $D_{\max}$ , выдерживаемый размер получается наибольшим  $d_{\max}$ .

В этом случае:

$$Z_{\min} = D_{\min} - d_{\min},$$

$$Z_{\max} = D_{\max} - d_{\max},$$

Так как

$$D_{\max} = D_{\min} + \delta_{\text{заг}},$$

а

$$d_{\max} = d_{\min} + \delta_{\text{д}},$$

тогда

$$Z_{\max} = D_{\min} + \delta_{\text{заг}} - \delta_{\text{д}} - d_{\min},$$

$$Z_{\max} = Z_{\min} + \delta_{\text{заг}} - \delta_{\text{д}}.$$

Схема расположения полей припусков и допусков и в таком случае будет выглядеть следующим образом (рис. 41).

При выполнении контрольной или курсовой работы определение составляющих общего припуска приводят для одной самой точной поверхности.

*Пример:* определить припуски, предельные и промежуточные размеры заготовки при обработке шайки вала  $50_{-0,05} R_a = 0,63$  на предварительно настроенном станке. Заготовка – штамповка. Материал – сталь 10.

Маршрут обработки.

1. Предварительное точение.
2. Чистовое точение.
3. Предварительное шлифование.
4. Чистовое шлифование.

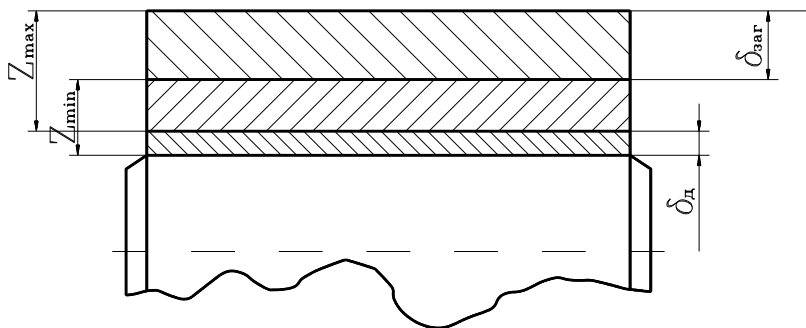


Рис. 41. Пример расположения припусков и допусков при предварительной настройке станка на размер

Карта расчета припусков.

1. Составляем карту расчета припусков.
2. Заносим в гр. 1 маршрут обработки: 1 строка – заготовительная операция и т.д.
3. Гр. 2 – 5 – по справочным данным.
4. Гр. 6 получаем минимальный расчетный припуск путем суммирования и удвоения гр. 2 – 5 ( $Z_{\min i}$ ).

5. Расчетный наименьший размер заготовки гр. 7 получаем путем последовательного прибавления к минимальному размеру готовой детали (49,95) соответствующих величин расчетных минимальных припусков  $Z_{\min i}$ .

6. Гр. 8 – допуски на промежуточные размеры определяем по табличным данным.

7. Гр. 10 – заполняется по данным гр. 7 с округлением в большую сторону.

8. Гр. 9 – заполняется суммированием значений графы 10 и графы 8.

9. Гр. 12 – по данным гр. 6 с округлением.

10. Гр. 11 – заполняется анализом карты или по формуле

$$Z_{\max} = Z_{\min} + \delta_{\text{заг}} - \delta_{\text{д}} = 90 + 100 - 50 = 140 \text{ мкм (чистовое точение).}$$

11. Общий номинальный припуск:

$$Z_{0 \text{ ном}} = Z_{0 \text{ мин}} + H_{\text{з}} - H_{\text{д}} = 3550 + 1000 - 50 = 4500 \text{ мкм.}$$

где  $H_{\text{з}}$  – нижнее предельное отклонение заготовки;  $H_{\text{д}}$  – нижнее предельное отклонение детали.

*Проверка:*

$$Z_{0 \text{ max}} - Z_{0 \text{ min}} = \delta_{\text{заг}} - \delta_{\text{д}};$$

$$5500 - 3550 = 2000 - 50;$$

$$1950 = 1950.$$

Схема расположения промежуточных припусков и допусков на промежуточные и исходные размеры заготовки при обработке шейки вала приведена на рис. 42.



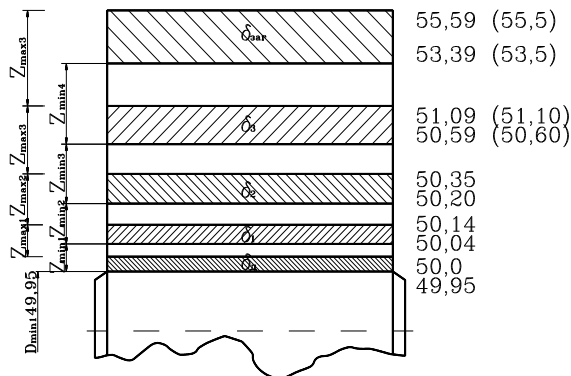
Маршрут обработки	Элементы min припуска, мкм				Расчетный минимал. припуск, $Z_i^{\min}$ мкм	Расчетный минимал. припуск заготовки	Допуск на промежуточ. размеры	Размеры заготовки по переходам		Предельные значения припусков	
	$Rz_{i-1}$	$T_{i-1}$	$\rho_{i-1}$	$\varepsilon_i$				наибольшие	наименьшие	$Z_{maxi}$	$Z_{mini}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Штамповка	–	–	–	–	–	–	2000	55,50*	53,50*	–	–
Точение:											
предварительное	200	300	700	200	2800	53,39	500	51,10*	50,60*	4400	2900
чистовое	50	55	75	15	390	50,59	150	50,35	50,20	750	400
Шлифование:											
предварительное	25	35	15	5	160	50,20	100	50,14	50,04	210	160
чистовое	15	25	5	–	90	50,04	50	50,00	49,95	140	90

\* – скорректированное значение

По наибольшему припуску  $Z_{0\max}$  определяют максимальную силу резания. По среднему значению припуска  $Z_{0\text{cp}} = (Z_{0\max} + Z_{0\min})/2$  определяют стойкость режущего инструмента. По номинальному значению припуска  $Z_{0\text{ном}}$  определяют размеры заготовки, по которым изготавливают технологическую оснастку (штампы, пресс-формы и т.д.). По минимальному значению припуска определяют непосредственные размеры заготовок для деталей.

При использовании проката

$$D_{\text{заг min}} = d_{\text{дет min}} + 2Z_{0\text{min}}$$



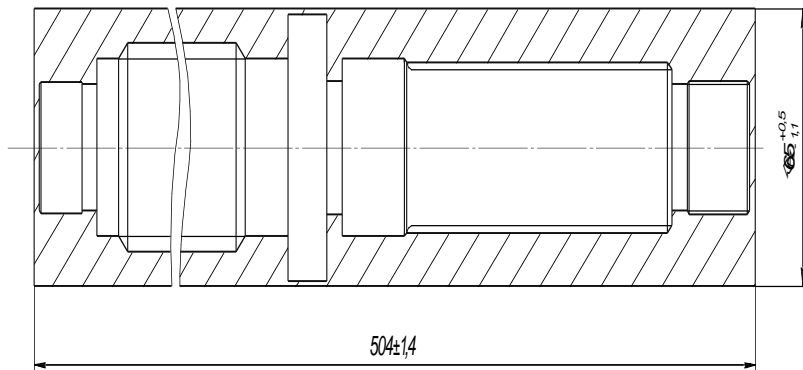
**Рис. 42. Пример графической схемы расположения полей припусков и допусков по расчетным данным**

Полученный размер округляют в бóльшую сторону до ближайшего по сортаменту  $D'_{заг\ min}$ . Тогда действительный общий припуск на обработку будет

$$2Z'_{0\ min} = D'_{заг\ min} - d'_{дет\ min}.$$

Размеры для заготовок других видов получают с учетом технологических условий их изготовления (штамповочные уклоны, радиусы литых заготовок и др.).

*Пример.* Рассчитать припуски и межоперационные размеров заготовки (рис. 43).



**Рис. 43. Заготовка винта ходового**

Заготовка – круглый прокат обычной точности ГОСТ 2590–71.

Масса детали – 5,67 кг.

Масса заготовки – 13,17 кг.

По справочникам находим значения  $Rz$ ,  $T$ . Для заготовки –  $Rz_0 = 125$  мкм;  $T_0 = 150$  мкм; после механической обработки –  $Rz_0 = 30$  мкм;  $T_0 = 30$  мкм.

Суммарное пространственное отклонение заготовки

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2}.$$

Кривизна  $\rho_{\text{кор}}$

$$\rho_{\text{кор}} = \rho_1 l,$$

где  $\rho_1$  – кривизна сортового проката на 1 мм,  $\rho_1 = 0,6$  мкм/мм (после термической обработки).

$$\rho_{\text{кор}} = 0,6 \cdot 500 = 300 \text{ мкм.}$$

Смещение оси заготовки в результате центрования

$$\rho_{\text{см}} = 0,25\sqrt{T^2 + 1},$$

где  $T$  – допуск на диаметральный размер базы заготовки,  $T = 150$  мкм.

$$\rho_{\text{см}} = 0,25\sqrt{0,15^2 + 1} = 0,25 \text{ мм} = 250 \text{ мкм.}$$

$$\rho_3 = \sqrt{300^2 + 250^2} = 390 \text{ мкм.}$$

Остаточное пространственное отклонение (после однократного обтачивания)

$$\rho_1 = 0,05 \cdot \rho_3 = 0,05 \cdot 390 = 20 \text{ мкм.}$$

Погрешность установки  $\varepsilon_1 = 250$  мкм.

Расчетный припуск:

$$2Z_{\text{min}} = 2\left(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}\right);$$

$$2Z_{\text{min}} = 2\left(125 + 150 + \sqrt{300^2 + 250^2}\right) = 1330 \text{ мкм.}$$

Расчет припусков на  $\varnothing 60_{-0,74}$

Технологические переходы обработки $\varnothing 60h14$	Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск $2Z_{\min}$ , мкм	Расчетный размер $d_p$ , мм	Допуск, мкм	Предельный размер, мм		Предельные припуски, мкм	
	Rz	T	$\rho$	$\varepsilon$				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}^{\text{пр}}$	$2Z_{\max}^{\text{пр}}$
Заготовка, прокат, установка в центрах	125	150	390	–	–	61,79	1200	61,79	62,99	–	–
Точение однократное	30	30	20	250	1330	59,26	740	59,26	60	2,53	2,99

Определяем расчетные размеры:

$$d_{\min_0} = d_{\min_1} + 2Z_{\min};$$

$$d_{\min_0} = 59,26 + 1,33 = 60,59 \text{ мм.}$$

$$d_{\max_0} = d_{\min_0} + \delta_3;$$

$$d_{\max_0} = 60,59 + 1,2 = 61,79 \text{ мм.}$$

Рассчитываем минимальный припуск:

$$2Z_{\min_1}^{\text{пр}} = d_{\min_0} - d_{\min_1},$$

$$2Z_{\min_1}^{\text{пр}} = 61,79 - 59,26 = 2,53 \text{ мм.}$$

Рассчитываем максимальный припуск:

$$2Z_{\max}^{\text{пр}} = d_{\max_0} - d_{\max_1},$$

$$2Z_{\max_1}^{\text{пр}} = 62,99 - 60 = 2,99 \text{ мм.}$$

Проводим проверку правильности выполненных расчетов:

$$2Z_{\max}^{\text{пр}} - 2Z_{\min}^{\text{пр}} = 2,99 - 2,53 = 0,46 \text{ мм};$$

$$\delta_3 - \delta_d = 1,2 - 0,74 = 0,46 \text{ мм};$$

$$0,46 = 0,46.$$

Полученные данные записываем в таблицу.

Схема графического расположения припусков и допусков на обработку  $\varnothing 60_{-0,74}$  (рис. 44).

По ГОСТ 2590–71 выбираем наибольший ближайший диаметр заготовки  $D = 65$  мм. Допуски берем из таблицы  $65_{-1,1}^{+0,5}$  мм.

Проводим расчет припусков и операционных размеров на длину заготовки. Значения  $Rz$  и  $T$  берем из справочника.

$$Rz_0 = 150 \text{ мкм}; T_0 = 250 \text{ мкм.}$$

$$Rz_{1,2} = 30 \text{ мкм}; T_{1,2} = 30 \text{ мкм.}$$

Пространственные отклонения

$$\rho = \rho_1 l,$$

где  $\rho_1$  – кривизна сортового проката на 1 мм,  $\rho_1 = 0,6$  мкм/мм (после термической обработки).

$$\rho = 0,6 \cdot 500 = 300 \text{ мкм.}$$

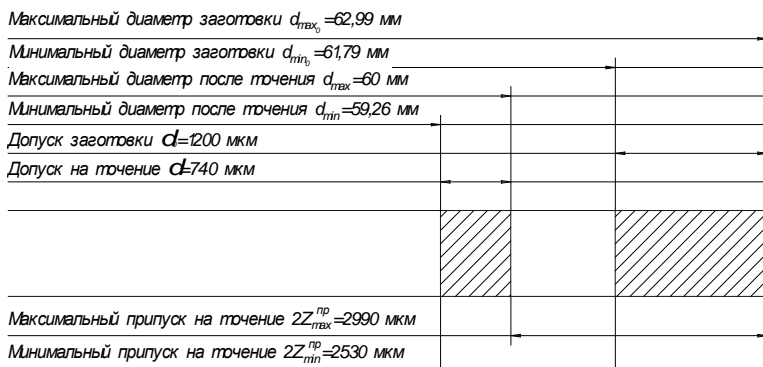


Рис. 44. Схема графического расположения припусков и допусков на обработку  $\varnothing 60_{-0,74}$

Погрешность установки по справочнику  $\varepsilon_1 = 100$  мкм,  $\varepsilon_2 = 80$  мкм.  
Подрезание 1-го торца.

Рассчитываем минимальный операционный припуск:

$$Z_{\min_1} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i ;$$

$$Z_{\min_1} = 30 + 30 + 30 + 80 = 170 \text{ мкм.}$$

Определяем расчетные размеры:

$$L_{\min_1} = L_{\min_2} + Z_{\min_1} = 498,6 + 0,17 = 498,77 \text{ мм;}$$

$$L_{\max_1} = L_{\min_1} + \delta_2 = 498,77 + 2,8 = 501,57 \text{ мм.}$$

Рассчитываем минимальный припуск:

$$Z_{\min_1}^{\text{пр}} = L_{\min_1} - L_{\min_2} ;$$

$$Z_{\min_1}^{\text{пр}} = 498,77 - 498,6 = 0,17 \text{ мм.}$$

Рассчитываем максимальный припуск:

$$Z_{\max_1}^{\text{пр}} = L_{\max_1} - L_{\max_2} ;$$

$$Z_{\max_1}^{\text{пр}} = 501,57 - 501,4 = 0,17 \text{ мм.}$$

Подрезание 2-го торца.

Рассчитываем минимальный операционный припуск:

$$Z_{\min_0} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i ;$$

$$Z_{\min_0} = 150 + 250 + 300 + 100 = 800 \text{ мкм.}$$

Определяем расчетные размеры:

$$L_{\min_0} = L_{\min_1} + Z_{\min_0} = 498,77 + 0,8 = 499,57 \text{ мм;}$$

$$L_{\max_0} = L_{\min_0} + \delta_1 = 499,57 + 2,8 = 502,37 \text{ мм.}$$

Рассчитываем минимальный припуск:

$$Z_{\min_0}^{\text{пр}} = L_{\min_0} - L_{\min_1} ;$$

$$Z_{\min_0}^{\text{пр}} = 499,57 - 498,77 = 0,8 \text{ мм.}$$

Расчет припусков на  $500^{+1,4}_{-1,4}$

Технологические переходы обработки $905 \pm 1,3$	Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск $Z_{\min}$ , мкм	Расчетный размер $L_p$ , мм	Допуск, мкм	Предельный размер, мм		Предельные припуски, мкм	
	$Rz$	$T$	$\rho$	$\varepsilon$				$L_{\min}$	$L_{\max}$	$Z_{\min}^{\text{пр}}$	$Z_{\max}^{\text{пр}}$
Заготовка, прокат, установка в центрах	150	250	300	–	–	499,57	2800	499,57	502,37	–	–
Подрезание 1-го торца однократно	30	30	30	100	800	498,77	2800	498,77	501,57	800	800
Подрезание 2-го торца однократно	30	30	30	80	170	498,6	2800	498,6	501,4	170	170

Рассчитываем максимальный припуск:

$$Z_{\max 0}^{\text{пр}} = L_{\max 0} - L_{\max 1};$$

$$Z_{\max 0}^{\text{пр}} = 502,37 - 501,57 = 0,8 \text{ мм.}$$

Проводим проверку правильности выполненных расчетов:

$$\begin{aligned}\sum Z_{\max} - \sum Z_{\min} &= \delta_3 - \delta_d, \\ (0,17 + 0,8) - (0,17 + 0,8) &= 2,6 - 2,6, \\ 0 &= 0.\end{aligned}$$

Полученные данные записываем в таблицу. Берем длину заготовки  $504 \pm 1,4$  мм.

### **2.5.7. Выбор оборудования, приспособлений, инструментов**

Металлорежущие станки с технологических позиций классифицируют:

1) Станки общего назначения, т.е. с наибольшими технологическими возможностями (горизонтально и вертикально фрезерные, токарно-винторезные, вертикально-радиально сверлильные).

2) Станки повышенной производительности. У этой группы возможности ограничены по технологическому принципу (продольно-фрезерные, токарные полуавтоматы, безцентрошлифовальные и т.д.).

3) Станки определенного назначения, т.е. станки на определенную технологическую операцию (станки для нарезания цилиндрических или конических зубчатых колес и т.д.).

4) Специализированные – любой из первых трех групп, но приспособленный на одну технологическую операцию в массовом производстве (изменен угол наклона шпинделя и т.д.).

5) Агрегатные станки, многошпиндельные (сверление, фрезерование, растачивание отверстий в корпусах и т.д.).

6) Специальные – конструируются по особому заказу в единичном экземпляре, для определенной технологической операции на определенной заготовке.

При выборе оборудования следует учитывать следующие факторы:

1) соответствие рабочей зоны станка габаритам детали, например: диаметр заготовки над станиной; расстояний между центрами; диаметр заготовки над суппортом и т.д. – для токарно-винторезных станков, расстояние от торца шпинделя до стола – для сверлильных станков и т.д.;

2) возможность достижения требуемой точности и шероховатости;

3) соответствие мощности, жесткости и кинематических данных наилучшим режимам выполнения операции;



4) обеспечение требуемой производительности в соответствии с заданной программой;

5) соответствие техники безопасности и промышленной санитарии;

6) соответствие оборудования заданной программе по критерию себестоимости.

Окончательный выбор оборудования из ряда приемлемых осуществляется по данным экономических расчетов.

Выбор приспособлений зависит в основном от программы выпуска:

– единичное, мелкосерийное – универсальные приспособления (тиски, кулачковые патроны, делительные головки и т.д.);

– серийное – универсальные, перенастраиваемые;

– массовое – специальные приспособления.

Выбор режущего инструмента ориентируется на стандартный инструмент, с учетом метода обработки, материала детали, размера и конфигурации, качества поверхности, программы выпуска.

Выбор измерительных средств определяется в первую очередь соответствием требуемой точности изготавливаемой детали:

– единичное, мелкосерийное – универсальные инструменты (микрометры, штангенциркули, нутромеры, индикаторы и т.д.);

– серийное, массовое – калибры, шаблоны, автоматические измерительные средства.

### 2.5.8. Расчет режима резания

От правильного выбора режимов резания зависит качество поверхности, точность, производительность обработки.

Параметры режимов резания рассчитывают в следующем порядке:

I. Назначают глубину резания  $t$ . Глубина резания  $t$  – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностью, измеренное в перпендикулярном направлении к последней. Измеряется в мм. Глубину  $t$  выбирают из того, как выгоднее работать с возможно меньшим числом проходов:

а) при черновом точении  $t$  определяется величиной операционного пропуска  $z_{0i}$ , который снимают за один проход;

б) при чистовом точении  $t$  определяется заданной точностью и шероховатостью.

Рекомендация:

1. до  $Ra > 2,5$  мкм  $t = 0,5 \div 2$  мм;

2. при  $Ra < 2,5$  мкм  $t = 0,1 \div 0,4$  мм.

II. Назначают подачу  $S$ . Подача  $S$  – величина перемещения инструмента относительно обрабатываемой детали или этой детали относительно инструмента в направлении движения подачи за определенный промежуток времени (за один оборот детали или инструмента, за один рабочий ход инструмента и т.д.).

Измеряется в мм/мин, мм/об, мм/зуб. Подача может быть продольной – вдоль оси обрабатываемой детали, поперечной – поперек этой оси, наклоненной под углом к этой оси, вертикальной или круговой.

Подача также выбирается максимальной для уменьшения технологического времени. Подачу  $S$  назначают максимально допустимую, в зависимости от: материала, жесткости, СПИД, глубины резания, размеров детали. При чистовой обработке подача определяется заданными точностью и шероховатостью. Выбранную или рассчитанную подачу корректируют по паспортным данным станка.

III. Рассчитывают скорость резания  $v$ .

Скорость резания  $v$  – величина перемещения режущей кромки в единицу времени относительно обрабатываемой поверхности. Измеряется в м/мин, м/сек. Определяют  $v$  по формулам теории резания или по таблицам нормативных материалов.

Для точения:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} S^{y_v}} K_v, \text{ м/мин,}$$

где  $t$  – глубина резания, мм;  $S$  – подача, мм/об;  $T$  – стойкость резца, мин;  $C_v$ ,  $x_v$ ,  $y_v$ ,  $m$ ,  $K_v$  – табличные коэффициенты.

IV. Рассчитывают силу резания  $R_z$ , число оборотов  $n$ , мощность резания  $N$ .

V. Определяют квалификации работ: операции относят к определенным квалификационным разрядам по тарифно-квалификационным справочникам.

## 2.6. ОБРАБОТКА ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ

### 2.6.1. Методы обработки наружных цилиндрических поверхностей

Детали, имеющие поверхности вращения (цилиндрические, наружные, фасонные, цилиндрические внутренние и др.), обрабатывают на различных станках: токарной группы (токарно-винторезные, токарно-карусельные, токарно-револьверные, одношпиндельные и многошпиндельные полуавтоматы и автоматы, станки для тонкого точения и др.); шлифовальной группы (круглошлифовальные, бесцентрово-

шлифовальные, притирочные, полировальные и т.п.). Станки этих групп применяют как обычные, так и с числовым программным управлением (ЧПУ). Наиболее распространенным методом обработки цилиндрических наружных поверхностей является точение резцом (резцами).

Для точения цилиндрических поверхностей и поверхностей, прилегающих к ним и ограничивающих их длину (торцы, уступы, канавки, радиусы и т.п.), применяют проходные, подрезные (прямые и отогнутые), отрезные, канавочные и другие резцы с напайными пластинами из быстрорежущей стали или твердых сплавов и композиционных материалов.

При токарной обработке различают:

а) черновое точение – с точностью обработки IT13...IT12 с шероховатостью поверхности до  $Ra = 6,3$  мкм;

б) получистовое точение – IT12...IT11 и шероховатость до  $Ra = 1,6$  мкм;

в) чистовое точение – IT10...IT8 и шероховатость до  $Ra = 0,4$  мкм.

При черновом обтачивании, как и при любой черновой обработке, снимают до 70% припуска. При этом назначаются максимально возможные глубина резания  $t$  и подача  $S$ .

На черновых операциях повышения производительности обработки добиваются увеличением глубины резания (уменьшением числа рабочих ходов), а также подачи.

На чистовых операциях подача ограничивается заданной шероховатостью поверхности, поэтому сокращение основного времени возможно за счет увеличения скорости резания.

К методам чистовой обработки относятся: тонкое точение и различные методы шлифования. Они, как правило, позволяют обеспечить требуемые точность размеров, формы, взаимного расположения и, в большинстве случаев, качество поверхностного слоя.

Тонкое точение применяется, главным образом, для отделки деталей из цветных металлов и сплавов (бронза, латунь, алюминиевые сплавы и другие) и отчасти для деталей из чугуна и закаленных сталей (HRC 45...60). Объясняется это тем, что шлифование цветных металлов и сплавов значительно труднее, чем стали и чугуна, вследствие быстрого засаливания кругов.

Тонкое точение обеспечивает получение наружных цилиндрических поверхностей вращения правильной геометрической формы с точным пространственным расположением осей и является высокопроизводительным методом. Точность размеров IT5...IT6;  $Ra = 0,8...0,4$  мкм.

## 2.6.2. Обработка на валах элементов типовых сопряжений

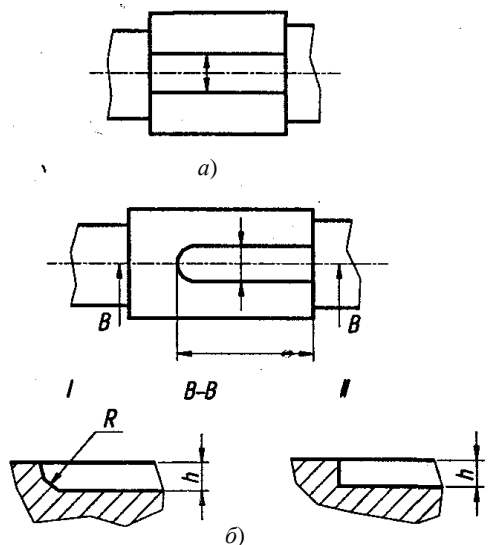
Кроме цилиндрических и конических поверхностей вращения вала обычно содержат также и другие элементы, к которым относятся шпоночные пазы, шлицевые и резьбовые поверхности и т.п. (рис. 45).

*Обработка шпоночных соединений.*

Наибольшее распространение в машиностроении получили призматические и сегментные шпонки. Шпоночные пазы для призматических шпонок могут быть сквозными (рис. 45, а), закрытыми с одной стороны (рис. 45, б), закрытыми с двух сторон, т.е. глухими (рис. 45, в). Наименее технологичными являются глухие шпоночные пазы. Установка валов при обработке пазов обычно проводится на призме или в центрах (рис. 46).

При проектировании технологического маршрута операция «фрезеровать шпоночный паз» располагается после обтачивания шейки, до ее шлифования, так как вследствие удаления части материала посадочное место вала иногда деформируется.

Шпоночные пазы изготавливаются различными способами в зависимости от конфигурации паза и вида применяемого инструмента; они выполняются на горизонтально-фрезерных или вертикально-фрезерных станках общего назначения или специальных.



**Рис. 45. Варианты шпоночных пазов:**

а – сквозные; б – закрытые с одной стороны (I – с радиусным выходом; II – с выходом под концевую фрезу)

Сквозные и закрытые с одной стороны шпоночные пазы изготавливаются фрезерованием дисковыми фрезами (рис 47, а). Фрезерование пазов проводится за один-два рабочих хода. Этот способ наиболее производительен и обеспечивает достаточную точность ширины паза. Применение этого способа ограничивает конфигурация пазов: закрытые пазы с закруглениями на концах не могут выполняться этим способом; они изготавливаются концевыми фрезами за один или несколько рабочих ходов (рис. 47, б). Фрезерование концевой фрезой за один рабочий ход проводится таким образом, что сначала фреза при вертикальной подаче проходит на полную глубину паза, а потом включается продольная подача, с которой шпоночный паз фрезеруется на полную длину.

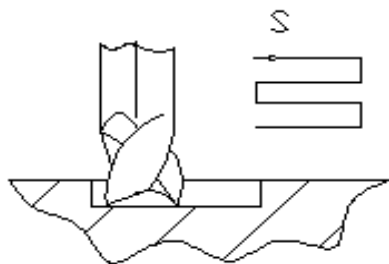
Для получения по ширине точных пазов применяются специальные шпоночно-фрезерные станки с маятниковой подачей, работающие концевыми двуспиральными фрезами с торцовыми режущими кромками. При этом способе фреза врезается на  $0,1...0,3$  мм и фрезерует паз на всю длину, затем опять врезается на ту же глубину, как и в предыдущем случае, и фрезерует паз опять на всю длину, но в другом направлении (рис. 46, 47, в). Отсюда и происходит определение метода – «маятниковая подача».

Этот метод является наиболее рациональным для изготовления шпоночных пазов в серийном и массовом производствах, так как дает вполне точный паз, обеспечивающий полную взаимозаменяемость в шпоночном соединении.

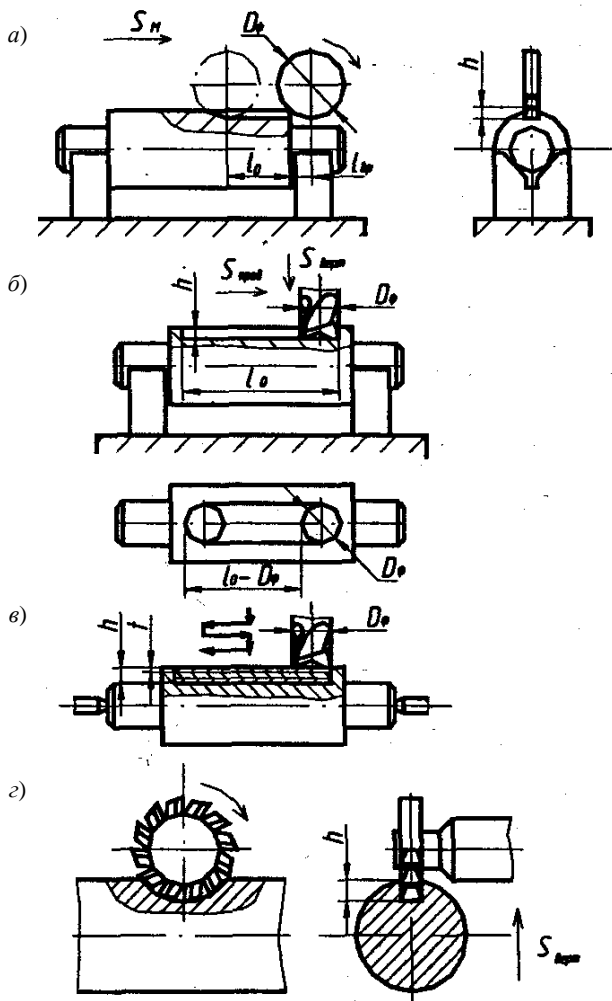
Шпоночные пазы под сегментные шпонки изготавливаются фрезерованием с помощью дисковых фрез (рис. 47, г).

#### *Обработка шлицевых соединений.*

Шлицевые соединения широко применяются в машиностроении (станкостроении, автомобиле- и тракторостроении и других отраслях) для неподвижных и подвижных посадок.



**Рис. 46. Пример фрезерования закрытого шпоночного паза при использовании «маятниковой подачи»**



**Рис. 47. Пример вариантов фрезерования различных шпоночных пазов:**  
 а – дисковой фрезой с продольной подачей; б – концевой фрезой с продольной подачей; в – шпоночной фрезой с маятниковой подачей; г – дисковой фрезой с вертикальной подачей

Различают шлицевые соединения прямоугольного, эвольвентного и треугольного профилей. В наиболее часто используемых шлицевых соединениях прямоугольного профиля сопряженные детали центрируются тремя способами (рис. 48):

- центрированием втулки (или зубчатого колеса) по наружному диаметру ( $B$ ) шлицевых выступов вала;
- центрированием втулки (или зубчатого колеса) по внутреннему диаметру (шлицев вала (т.е. по дну впадины));
- центрированием втулки (или зубчатого колеса) по боковым сторонам ( $B$ ) шлицев.

Центрирование по  $D$  наиболее технологично, но его использование ограничивается в основном неподвижными шлицевыми соединениями, не требующими повышенной твердости. Центрирование по ( $d$ ) применяется в тех случаях, когда элементы шлицевого соединения используются для подвижных сопряжений, подвергнутых закалке. Центрирование по  $b$  применимо в случае передачи больших крутящих моментов с реверсированием вращения.

Технологический процесс изготовления шлицев валов зависит от того, какой принят способ центрирования вала и втулки, т.е. термообрабатываются или нет поверхности шлицев.

Приведем в качестве примера маршруты обработки шлицев на валах, соответственно не подвергаемых и подвергаемых термообработке:

- черновая токарная обработка, чистовая токарная обработка и шлифование цилиндрических поверхностей под нарезание шлицев, нарезание шлицев, снятие заусенцев и промывка;
- черновая токарная обработка, чистовая токарная обработка, нарезание шлицев с припуском под шлифование, фрезерование канавок для выхода круга при шлифовании центрирующей поверхности внутреннего диаметра (если на первой операции применяется фреза без усиков), термическая обработка, шлифование поверхностей шлицев, снятие заусенцев и промывка.

Шлицы на валах и других деталях изготавливаются различными способами, к числу которых относятся: фрезерование, строгание (шлицестрогание), протягивание (шлицепротягивание), накатывание (шлиценакатывание), шлифование.

Фрезеровать шлицы можно способом, изображенным на рис. 48, позволяющим применять более дешевые фрезы, чем фреза, изображенная на рис. 48, *а*.

Более производительным способом является одновременное фрезерование двух шлицевых канавок двумя дисковыми фрезами специального профиля (рис. 48, *в*).

Чистовое фрезерование шлицев дисковыми фрезами проводится только в случае отсутствия специального станка или инструмента, так как оно не дает достаточной точности по шагу и ширине шлицев.

Более точное фрезерование шлицев проводится методом обкатки при помощи шлицевой червячной фрезы (рис. 48, з). Фреза, помимо вращательного движения, имеет продольное перемещение вдоль оси нарезаемого вала. Этот способ является наиболее точным и наиболее производительным.

Шлицестрогание реализуется, как правило, на специальных станках полуавтоматах, которые могут работать как отдельно, так и будучи встроенными в автоматическую линию. Этим методом чаще всего обрабатываются сквозные шлицы или шлицы, у которых предусмотрен выход для резцов. При этом достигаются параметры шероховатости поверхности  $Ra = 3,2 \dots 0,8$  мкм.

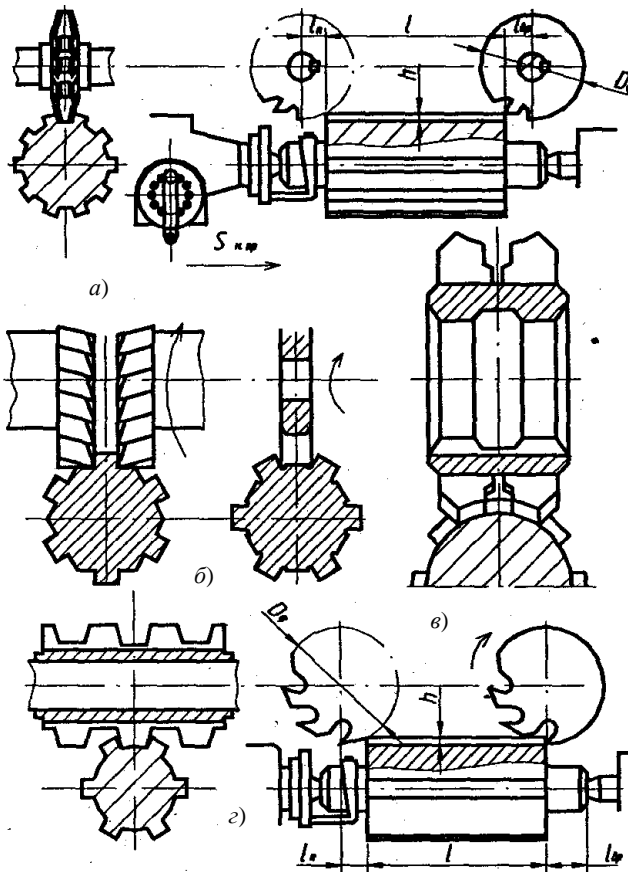
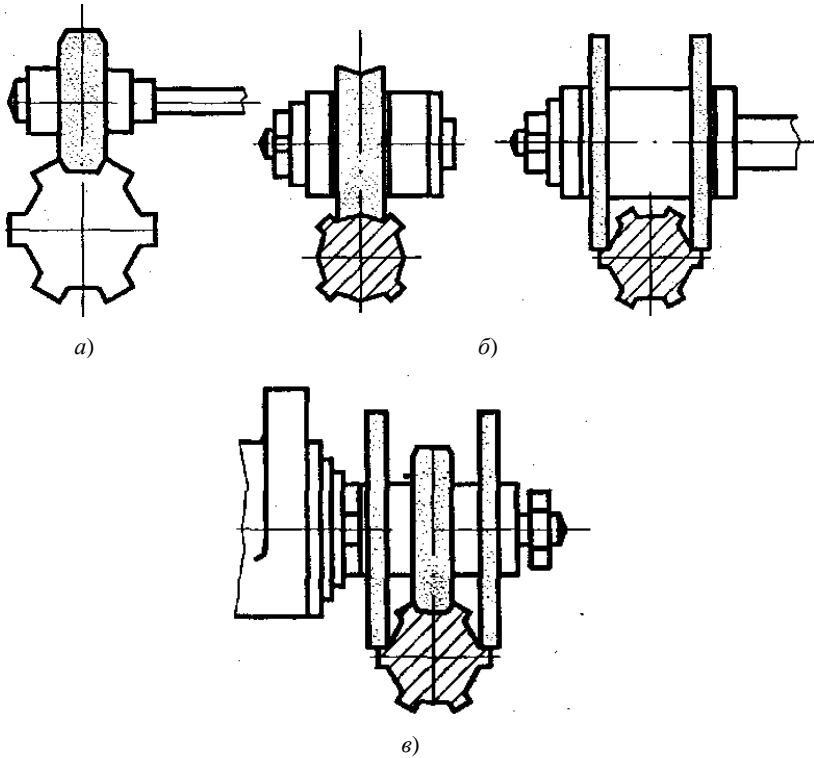


Рис. 48. Пример фрезерования различных шлицев





**Рис. 49. Пример финишной обработки шлицев (шлифованием) на валах:**

*а* – фасонным кругом; *б* – в две операции одним и двумя кругами;  
*в* – тремя кругами

Шлицепротягивание обеспечивает шероховатость поверхности  $Ra = 1,6...0,8$  мкм.

Если шлицевые валы после черного фрезерования прошли термическую обработку в виде улучшения или закалки, то после этого они не могут быть профрезерованы начисто; их необходимо шлифовать по поверхностям впадины (т.е. по внутреннему диаметру) и боковым сторонам шлицев. Наиболее производителен способ шлифования фасонным кругом (рис. 49, *а*), но при таком способе шлифовальный круг изнашивается неравномерно ввиду неодинаковой толщины снимаемого слоя у боковых сторон и впадины вала, поэтому требуется частая правка круга. Несмотря на это, данный способ широко распространен в машиностроении.

Шлифовать шлицы можно в две отдельные операции (рис. 49, б); в первой шлифуют только впадины (по внутреннему диаметру), а во второй – боковые стороны шлицев. Для уменьшения износа шлифовального круга после каждого хода стола вал поворачивается, и, таким образом, шлифовальный круг обрабатывает впадины постепенно, одну за другой.

Для объединения двух операций шлифования в одну применяют станки, на которых шлицы шлифуются одновременно тремя кругами: один шлифует впадину, а два других – боковые поверхности шлицев (рис. 49, в).

#### *Нарезание резьбы.*

В машиностроительном производстве применяют цилиндрические резьбы – крепежные и ходовые, а также конические резьбы.

Основной крепежной резьбой является метрическая резьба треугольного профиля с углом профиля  $60^\circ$ .

Ходовые резьбы бывают с прямоугольным и трапецидальным профилем; последние бывают однозаходные и многозаходные.

Резьба может быть наружная (на наружной поверхности детали) и внутренняя (на внутренней поверхности детали).

Наружную резьбу можно изготавливать различными инструментами: резцами, гребенками, плашками, самораскрывающимися резбонарезными головками, дисковыми и групповыми фрезами, шлифовальными кругами, накатным инструментом.

Для изготовления внутренней резьбы применяют: резцы, метчики, раздвижные метчики, групповые фрезы, накатные ролики.

Тот или иной метод нарезания резьбы применяется в зависимости от профиля резьбы, характера и типа материала изделия, объема производственной программы и требуемой точности.

Нарезание резьб осуществляется на резбонарезных и резьбофрезерных станках и полуавтоматах, гайконарезных автоматах, резьбонакатных, резьбошлифовальных, токарных и других станках.

*Нарезание резьбы резцами и резьбовыми гребенками.* Наружную и внутреннюю резьбы можно обработать на токарных станках. Это малопроизводительный процесс, так как обработка осуществляется за несколько рабочих ходов и требует высокой квалификации рабочего. Достоинством метода является универсальность оборудования, инструмента и возможность получить резьбу высокой точности. На токарных станках нарезают точные резьбы на ответственных деталях, а также нестандартные резьбы и резьбы большого диаметра. Для повышения точности резьбы осуществляют как черновые, так и чисто-

вые рабочие ходы разными резцами. Различают два способа нарезания треугольной резьбы:

- 1) радиальное движение подачи;
- 2) движение подачи вдоль одной из сторон профиля.

Первый способ более точный, но менее производительный, поэтому рекомендуется черновые рабочие ходы делать вторым способом, а чистовой – первым (рис. 50, а).

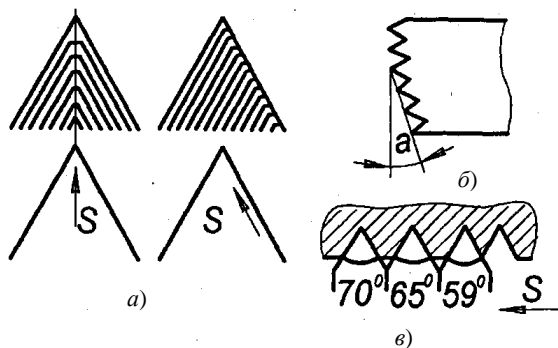
Для повышения производительности обработки резьбы применяют резьбовые гребенки – круглые и призматические. Обычно ширину гребенки принимают равной не менее чем шести шагам. При использовании гребенок снятие стружки выполняют несколько зубьев (рис. 50, б), и число рабочих ходов может быть уменьшено до одного.

Для скоростного нарезания резьбы применяют резцы, оснащенные твердым сплавом, а также наборы резцов (рис. 50). Конструкции некоторых типов резцов приведены на рис. 51.

Гребенки, подобно резцам, бывают плоские, призматические и круглые и отличаются от резцов тем, что режут одновременно несколькими режущими кромками. Для разделения работы резания концы зубьев гребенки стачиваются от одного края гребенки к другому, так что глубина резания постепенно увеличивается.

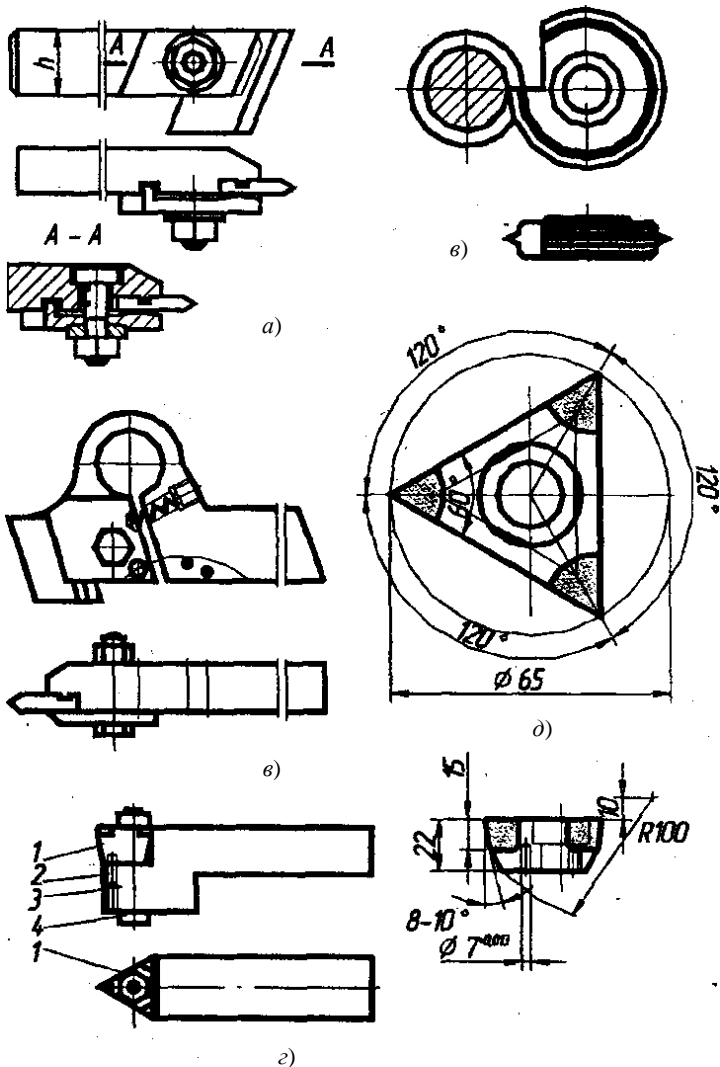
Токарные станки применяются для нарезания резьбы преимущественно для:

- нарезания резьбы на поверхностях, предварительно обработанных на токарном же станке, благодаря чему обеспечивается правильное положение резьб относительно других поверхностей;



**Рис. 50. Пример вариантов нарезания резьб:**

- а – с радиальной подачей и с подачей вдоль одной из сторон;  
 б – расположение зубьев резьбовой гребенки; в – набором резцов



**Рис. 51. Пример вариантов резцов для нарезания резьб:**

*а* – призматические; *б* – круглые; *в* – с пружинной державкой; *г* – с трехрезцовой головкой; *д* – с трехрезцовой пластиной

– нарезания очень точных длинных винтов (в этом случае токарный станок, работающий одним резцом, имеет преимущество перед всеми другими методами, в том числе и перед фрезерованием);

- при выполнении работ, подходящих для резьбофрезерного станка, когда его нет или объем партии мал;
- нарезания резьб большого диаметра, нестандартного профиля или шага, а также вообще во всех случаях, когда приобретение подходящих плашек и метчиков не оправдывается объемом производства;
- нарезания прямоугольных резьб, чистовое фрезерование которых невозможно, а применение плашек и метчиков, хотя и возможно, но затруднительно, особенно при обработке крупных заготовок.

Резьбу после нарезания резцом иногда калибруют точным плашками (часто вручную).

Таким образом, нарезание резьбы на токарном станке применяется преимущественно в единичном и мелкосерийном производствах, а в крупносерийном и массовом производствах – главным образом, для нарезания длинных или точных резьб.

В крупносерийном и массовом производствах используется нарезание резьбы вращающимися резцами, так называемым вихревым методом. При этом заготовка закрепляется в центрах токарно-винторезного станка или в патроне. В процессе работы она медленно вращается. В специальной головке, установленной на суппорте станка, закрепляется резец.

Головка, вращающаяся с большой скоростью от специального привода, расположена эксцентрично относительно оси нарезаемой резьбы. Таким образом, при вращении головки, резец, закрепленный в ней, описывает окружность, диаметр которой больше наружного диаметра резьбы (рис. 52).

Периодически (один раз за каждый оборот головки) резец соприкасается с обрабатываемой поверхностью по дуге и за каждый оборот головки прорезает на заготовке серповидную канавку, имеющую профиль резьбы. За каждый оборот вращающейся заготовки головка перемещается вдоль оси детали на величину шага резьбы. Нарезание резьбы метчиками, плашками и самораскрывающимися резьбонарезными головками проводится на различных станках.

Внутренние резьбы нарезают обычно машинными метчиками на резьбонарезных, сверлильных, револьверных, а также на агрегатных станках, полуавтоматах и автоматах, в зависимости от масштаба производства.

В массовом и крупносерийном производстве получили широкое распространение метчики сборной конструкции (резьбонарезные головки).

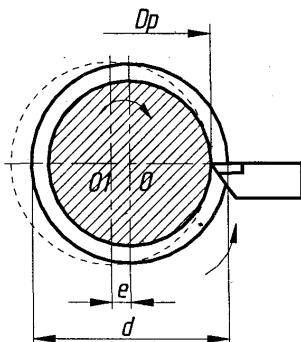


Рис. 52. Пример схемы вихревого нарезания резьбы

Основной недостаток всех типов плашек – это необходимость свинчивания их по окончании резания, что снижает производительность и несколько ухудшает качество резьбы.

Плашками нарезают резьбу как вручную, так и на различных станках токарной, сверлильной, резьбонарезной групп. Круглые плашки (рис. 53, а) устанавливают на станках в специальных патронах и закрепляют тремя-четырьмя винтами. Нарезание плашками – малопроизводительный процесс.

Нарезание наружной резьбы резьбонарезными самооткрывающимися головками значительно точнее, производительнее и отличается большей точностью, чем ранее рассмотренные методы; оно находит широкое применение в серийном и массовом производстве (рис. 53, б).

Вращающиеся головки используют на токарных автоматах и полуавтоматах.

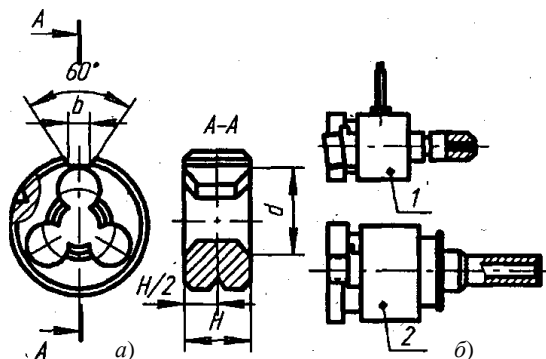
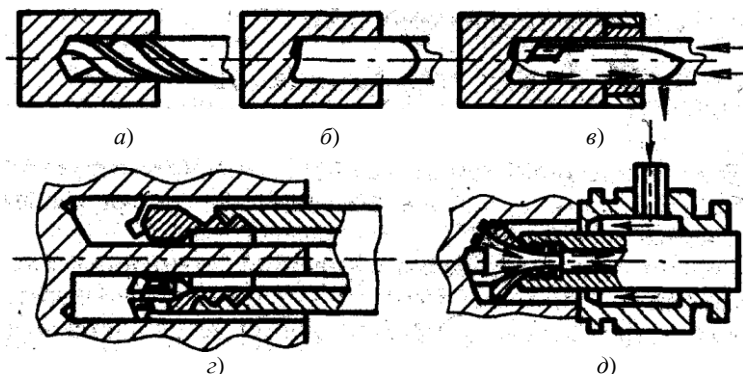


Рис. 53. Пример инструментов для нарезания резьбы: а – плашка; б – самораскрывающаяся резьбовая головка

### 2.6.3. Методы обработки внутренних цилиндрических поверхностей

Внутренние цилиндрические, поверхности (отверстия) встречаются у большинства деталей как тел вращения, так и не тел вращения. Обработка отверстий в деталях различных типов проводится путем сверления, зенкерования, фрезерования на станках с ЧПУ, растачивания резцами, развертывания, шлифования (внутреннего), протягивания, хонингования, раскатывания шариками и роликами, продавливания, притирки, полирования, суперфиниширования. Обработка отверстий со снятием стружки проводится лезвийным и абразивным инструментами. К лезвийным инструментам относятся: сверла, зенкеры, развертки, расточные резцы и протяжки. Разновидности и характеристики этих инструментов приведены в справочнике. Обработку отверстий лезвийным инструментом проводят на станках следующих групп: сверлильной (вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные); расточной (горизонтально-расточные, горизонтальные и вертикальные отделочно-расточные координатно-расточные); протяжной группы (горизонтальные и вертикальные полуавтоматы), как обычного исполнения, так и с ЧПУ. Кроме того, отверстия обрабатываются практически на всех станках, полуавтоматах и автоматах токарной группы.

Сверлением получают отверстия в сплошном материале (рис. 54). Для неглубоких отверстий используются стандартные сверла диаметром 0,30...80 мм.



**Рис. 54. Пример вариантов обработки отверстий сверлами:**  
а – спиральным; б – полукруглым; в – ружейным одностороннего резания с внешним отводом СОЖ; г – трепанирующим (кольцевым); д – ружейным с внутренним отводом СОЖ

Существуют два метода сверления:

- 1) вращается сверло (станки сверлильно-расточных групп);
- 2) вращается заготовка (станки токарной группы).

Обработку отверстий диаметром до 25...40 мм осуществляют спиральными сверлами за один переход (рис. 54, *a*), при обработке отверстий больших диаметров (до 80 мм) – за два и более перехода сверлением и рассверливанием или другими методами. Для сверления отверстий диаметром свыше 80 мм применяют сверла или сверлильные головки специальных конструкций. На многих корпусных деталях, фланцах, крышках и т.п. имеется много небольших отверстий (для крепежных болтов, шпилек и т.п.), точность и шероховатость которых определяется точностью, достигаемой сверлением. Такие отверстия обрабатывают на станках с применением кондукторов. При этом достигаемая точность диаметральных размеров – IT11...IT10. При обработке глубоких отверстий ( $L/D > 10$ ) трудно обеспечить направленность оси отверстия относительно ее внутренней цилиндрической поверхности. Чем больше длина отверстия, тем больше увод инструмента. Для борьбы с уводом сверла или искривлением оси отверстия применяются следующие способы:

- применение малых подач, тщательная заточка сверла;
- применение предварительного засверливания (зацентровки);
- сверление с направлением спирального сверла с помощью кондукторной втулки;
- сверление вращающейся заготовки при невращающемся или вращающемся сверле. Это самый радикальный способ устранения увода сверла, так как создаются условия для самоцентрирования сверла;
- сверление специальными сверлами при вращающейся или неподвижной заготовке.

К специальным сверлам относятся:

- полукруглые (рис. 54, *б*) – разновидность ружейных сверл одностороннего резания, которые применяются для обработки заготовок из материалов, дающих хрупкую стружку (латунь, бронза, чугун);
- ружейные – одностороннего резания с внешним отводом СОЖ (рис. 54, *в*) и внутренним отводом (эжекторные) (рис. 54, *д*) с пластинами из твердого сплава (припаянными или неперетачиваемыми с механическим креплением), предназначенные для высокопроизводительного сверления;



– трепанирующие (кольцевые) сверла (рис. 54, *г*) для сверления отверстий диаметром 80 мм и более, длиной до 50 мм.

Они вырезают в сплошном металле кольцевую поверхность, а остающуюся после такого сверления внутреннюю часть в форме цилиндра можно использовать как заготовку для изготовления других деталей.

*Зенкерование отверстий* – предварительная обработка литых, штампованных или просверленных отверстий под последующее развертывание, растачивание или протягивание. При обработке отверстий по 13 – 11-му качеству зенкерование может быть окончательной операцией. Зенкерованием обрабатывают цилиндрические углубления (под головки винтов, гнезд под клапаны и др.), торцовые и другие поверхности.

Режущим инструментом при зенкерании является зенкер. Зенкеры изготавливают цельными с числом зубьев 3...8 и более, диаметром 3...40 мм; насадными диаметром 32...100 мм и сборными регулируемым диаметром 40...120 мм. Зенкерование является производительным методом: повышает точность предварительно обработанных отверстий, частично исправляет искривление оси после сверления.

*Развертывание отверстий* – чистовая обработка отверстий с точностью до 7-го качества. Развертыванием обрабатывают отверстия тех же диаметров, что и при зенкерании. Развертки рассчитаны на снятие малого припуска. Они отличаются от зенкеров большим числом (6 – 14) зубьев. Развертыванием достигается высокая точность диаметральных размеров и формы, а также малая шероховатость поверхности. Развертки обычно не применяют для развертывания больших по диаметру, коротких, глухих и прерывистых отверстий.

В настоящее время имеется целый ряд приемов и методов, повышающих производительность труда при обработке отверстий:

– применение комбинированных режущих инструментов (рис. 55);

– применение специальных приспособлений (кондукторов) и многошпиндельных сверлильных головок на сверлильных, расточных и агрегатных станках.

Фаски в отверстиях обрабатываются зенковками (рис. 56, *а*). Цилиндрические углубления и торцевые поверхности под головки болтов и гаек выполняются на сверлильных станках цековками в виде насадных головок с четырьмя зубьями (рис. 56, *б*) или в виде специальных пластин (рис. 56, *в*) с направляющей цапфой, служащей для получения соосности с обработанными отверстиями.

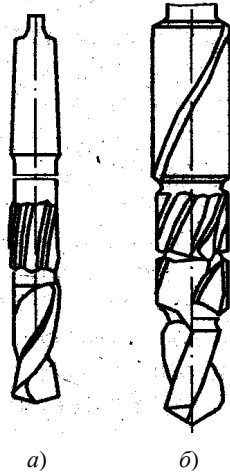


Рис. 55. Комбинированные режущие инструменты:  
*a* – сверло-развертка; *б* – сверло-зенкер-развертка

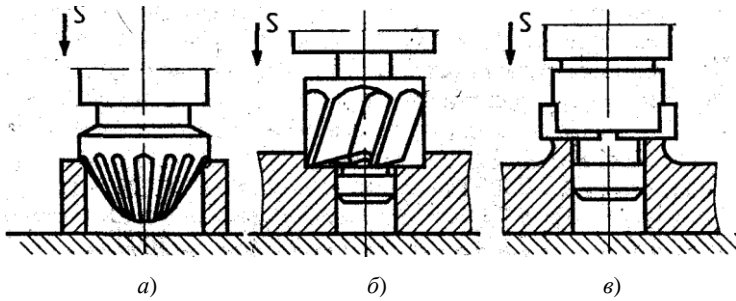


Рис. 56. Пример обработки различных конструктивных элементов в отверстиях

### 3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

#### 3.1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ И СПОСОБЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

К основным видам заготовок, применяемым для изготовления типовых деталей отрасли, можно отнести:

1) *заготовки из проката* (круглого, сортового, калиброванного, листового, трубного, специального), который может применяться напрямую или в качестве исходной заготовки, например, при штамповке или ковке. Широко применяются во всех типах производств;

2) *кованые и штампованные заготовки* относятся к обработке металла пластическим деформированием, при котором получают максимально приближенные к готовому изделию форму заготовки. Наиболее целесообразно применение в серийном и массовом производстве. В мелкосерийном производстве часто применяются подкладные штампы (рис. 57), в серийном и массовом – штамповочные молоты и прессы. Например, для заготовок в виде стержня с буртиком, различных втулок, широко применяются горизонтально-ковочные машины (ГКМ). Исходная заготовка – круглый прокат (рис. 58).

Кроме того, к обработке давлением относят гибку, вальцовку и раскатку заготовок из различного проката;

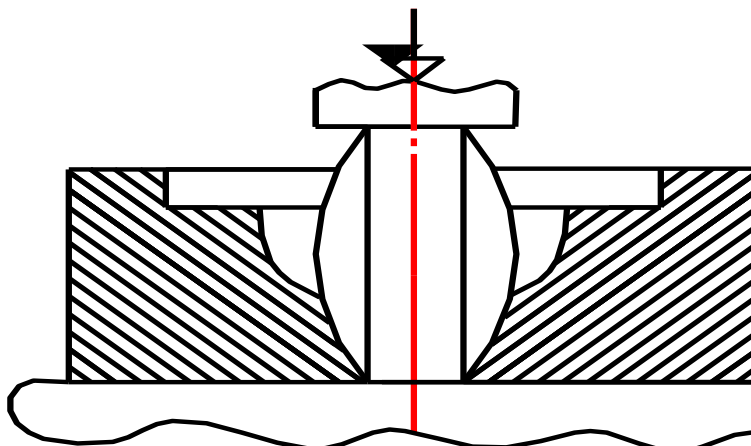


Рис. 57. Штамповка в подкладных штампах

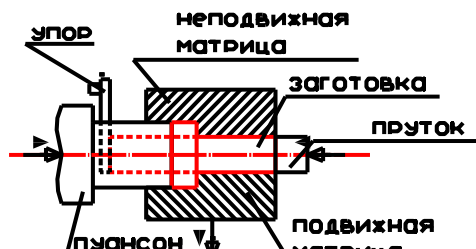


Рис. 58. Схема работы горизонтально-ковочной машины

3) отливки из черных и цветных металлов (в песчаные и земляные формы, кокиль, по выплавляемым моделям, и т.д.). Важными факторами, влияющими на выбор конкретного вида литья, являются класс точности отливки и тип производства – определяющими в итоге себестоимость изделия. Например, при рассмотрении такого распространенного и универсального способа как литье в песчаные формы, ручная формовка, будет использоваться при единичном и мелкосерийном производстве, а машинная – при серийном.

### 3.1.1. Предварительная обработка заготовок

Предварительная обработка заключается в подготовке заготовки к обработке на металлорежущем станке и включает:

- для отливок – удаление литников и прибылей, очистку и в ряде случаев термообработку. В качестве оборудования применяют шлифовальные станки, пневматические зубила, пескоструйную и гидроабразивную обработку и т.д.;

- для поковок – удаление, прежде всего, обля. Применяют дробеструйные и пескоструйные установки, травление, галтовку;

- для заготовок из проката правку и резку на отдельные заготовки.

Для резки используются следующие рекомендации и методы:

- а) для заготовок диаметром до  $D < 80$  мм – станки токарной группы, до  $D < 500$  мм – фрезерно-отрезные;

- б) для заготовок диаметром до 300 мм – приводные ножовки;

- в) для закаленных заготовок диаметром до 50 мм – абразивные круги;

- г) для заготовок диаметром до 70 мм, а также для листового и профильного проката – различные ножницы;

- д) кроме того, применяют ленточные пилы, газовую и плазменно-дуговую резку и т.д.

## 3.2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «КРУГЛЫЕ СТЕРЖНИ» (ВАЛЫ)

### 3.2.1. Характеристика валов

В машиностроении к деталям данного класса относятся собственно валы, оси, пальцы, штоки, трубы и т.д., т.е. детали, являющиеся телами вращения, у которых длина значительно превышает диаметр.

### 3.2.2. Технологические задачи

Технологические задачи формулируются в соответствии с рекомендациями и охватывают требования к точности детали по всем их параметрам. Например, для вала, (рис. 59) технологические задачи формулируются следующим образом:

- точность размеров основных поверхностей находится в пределах 6 – 8-го квалитетов, с неуказанными отклонениями – по 14-му квалитету;
- шероховатость цилиндрических поверхностей  $Ra = 0,8$  мкм, торцовых –  $Ra = 1,6$  мкм; несопрягаемых поверхностей –  $Ra = 6,3$  мкм; участок со шлицами термообрабатывается ТВЧ до  $HRC\ 50...55$ .

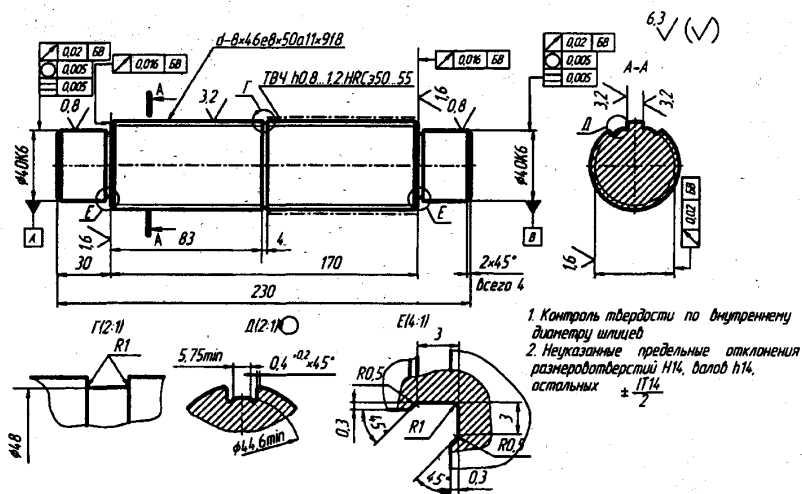


Рис. 59. Эскиз детали класса «Вал»

### 3.2.3. Материалы и заготовки валов

Для валов, которые являются, как правило, ответственными деталями различных изделий используют конструкционные и легированные стали, часто с дополнительной термообработкой. Для повышения твердости, износо- или коррозионной стойкости применяют химико-термическую обработку, например, цементацию, азотирование и т.д.

Для устранения отклонений от прямолинейности заготовки (перед резкой) подвергают правке (рис. 60). Для этой цели используют прессы, правильно-калибровочные станки и т.д.

В серийном и массовом производстве для деталей с большим количеством ступеней и разницей в диаметрах более 10 мм, рационально применять заготовки, полученные методом пластической деформации. Эти методы (наиболее распространенные – ковка и штамповка) позволяют получать заготовки, по своей форме и размерам максимально близкие к готовой детали (рис. 61), что в итоге повышает производительность механической обработки и снижает себестоимость конечного изделия.

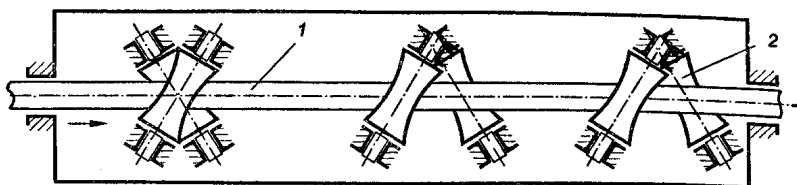


Рис. 60. Схема правильно-рихтовочного устройства станка:  
1 – пруток; 2 – ролик

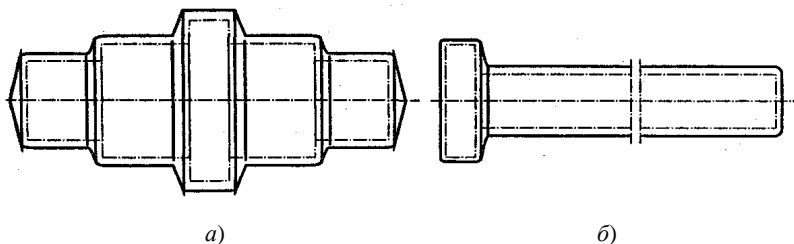


Рис. 61. Заготовки, полученные различными методами:  
а – штамповкой в штампах;  
б – штамповкой на горизонтально-ковочной машине

### 3.2.4. Основные схемы базирования

На выбор какой-либо схемы базирования основное влияние оказывают габаритные размеры заготовки, и технологическими базами для большинства валов являются поверхности его опорных шеек и торцы (рис. 62). Для установки заготовок используют самоцентрирующиеся патроны – двух-, трех- или четырехкулачковые.

<i>Вид креплений</i>	<i>Обозначение</i>
<i>На резьбовой оправке с наружной резьбой</i>	
<i>На шлицевой оправке</i>	
<i>На цанговой оправке</i>	
<i>На регулируемой опоре со сферической выпуклой поверхностью.</i>	
<i>В пневматическом зажиме с рифленой поверхностью</i>	
<i>Вид креплений</i>	<i>Обозначение</i>
<i>В неподвижном гладком центре</i>	
<i>В рифленном центре</i>	
<i>В плавающем центре</i>	
<i>Во вращающемся центре</i>	
<i>В обратном вращающемся центре с рифленой поверхностью</i>	
<i>В поводковом патроне</i>	
<i>С подвижным люнетом</i>	
<i>С неподвижным люнетом</i>	
<i>На цилиндрической оправке</i>	

Рис. 62. Виды крепления валов и схематичное изображение

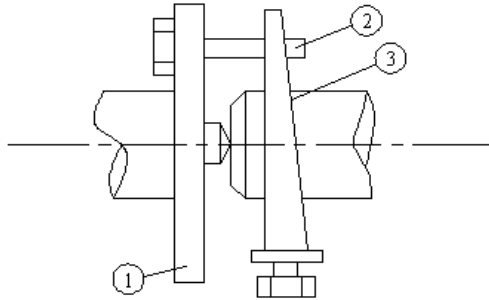


Рис. 63. Схема поводкового патрона

При базировании заготовок за центровые отверстия применяют поводковые патроны, в которых передача крутящего момента передается через палец-поводок 2, закрепленный в патроне 1, и хомутик 3, устанавливаемый на заготовке (рис. 63).

При данном способе закрепления могут быть использованы следующие *центры*: вращающиеся, плавающие, рифленные, сферические и т.д.

Для базирования заготовок используются также цанговые патроны для закрепления, как правило, пруткового материала и инструмента с хвостовой частью, а также оправки – для полых валов.

Основными схемами базирования заготовок, в зависимости от их габаритов и соответственно жесткости, являются (рис. 64):

- а) использование консольного закрепления в кулачковом патроне (заготовкам жесткая  $L/D < 4$ );
- б) в кулачковом патроне с поджимом задним центром (жесткость заготовки недостаточная  $L/D = 4...10$ );
- в) установку на центра с поводковым патроном (жесткость заготовки недостаточная или заготовка нежесткая ( $L/D > 12...15$ ) – в последнем случае применяются дополнительные промежуточные опоры – люнеты).

Различают подвижные и неподвижные люнеты (рис. 65).

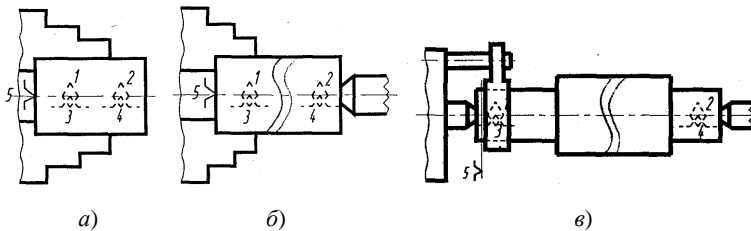
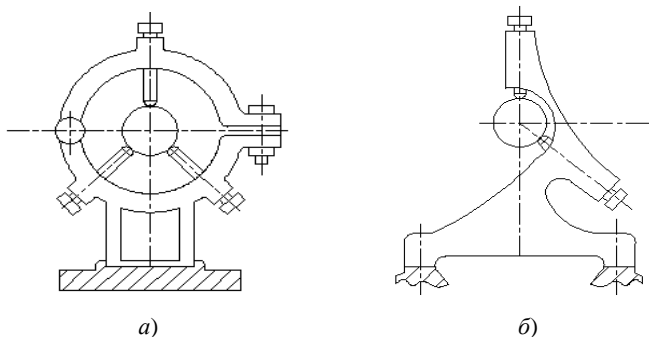


Рис. 64. Основные схемы базирования валов





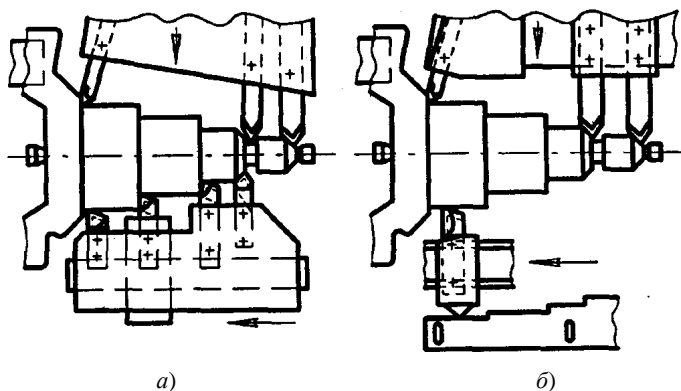
**Рис. 65. Виды лонетов:**  
*a* – неподвижный; *б* – подвижный

### 3.2.5. Обработка ступенчатых валов

Для повышения производительности обработки ступенчатых валов применяют многолезцовую обработку (*a*) и обработку с копирувальным устройством (*б*) (рис. 66).

Анализ производственного опыта показывает ряд преимуществ копируальной обработки перед многолезцовой:

- 1) сокращение времени наладки в 2–3 раза;
- 2) меньшее влияние упругих деформаций, так как работает только один резец;
- 3) отсутствие уступов – концентраторов напряжений;
- 4) выше скорость обработки.



**Рис. 66. Схемы наладок многолезцовых станков:**  
*a* – без копира; *б* – по копиру

### 3.2.6. Особенности обработки кулачковых, эксцентриковых и коленчатых валов

Изготовление кулачковых и эксцентриковых валов является сложной технологической задачей. Данные валы могут выполняться цельными или сборными. Сборными валы изготавливают тогда, когда размеры кулачков и эксцентриков резко отличаются от размеров вала. При этом кулачки и эксцентрики целесообразнее изготавливать отдельно от вала, закрепляя их затем на валу различными способами (рис. 67).

Цельными кулачковые и эксцентриковые валы изготавливают при малом эксцентриситете с одним, двумя и более эксцентриками (рис. 68). Заготовки для таких обычно валов получают из круглого проката, диаметр которого устанавливают с учетом припуска на обработку и вписывания размеров всех эксцентриков в окружность заготовки.

Существенными операциями технологического процесса изготовления эксцентриковых валов являются обтачивание и шлифование образующих поверхностей эксцентриков. Для базирования данных деталей применяют *два способа*.

В *первом* – заготовку закрепляют в четырехкулачковый патрон, меняя ось вращения согласно обрабатываемым участкам.

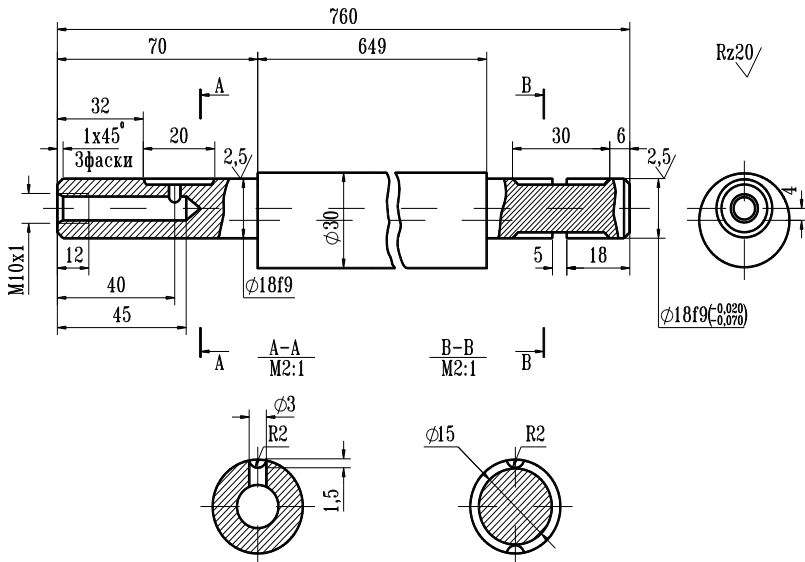


Рис. 67. Эксцентриковый вал

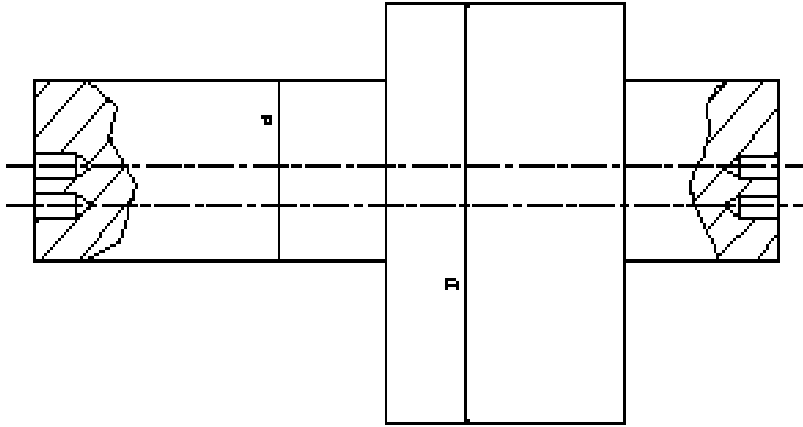


Рис. 68. Схема зацентровки кулачкового вала

Согласно *второму*, для этого на торцах заготовки предварительно засверливают столько пар центровых отверстий, сколько эксцентриков (или пар эксцентриков) расположено на валу (рис. 68). После обработки опорных шеек вала обрабатывают наружные поверхности эксцентриков, переставляя заготовку на соответствующие центровые отверстия.

Обработку этих деталей можно выполнить также с использованием трехкулачковых патронов, подкладывая под один из кулачков мерные пластинки. Однако данный вариант предполагает высокую квалификацию исполнителей.

При обработке коленчатых валов используются специальные токарные станки, имеющие две приводные бабки, а также снабженные делительными механизмами для установки любой шейки вала по оси шпинделей (рис. 69).

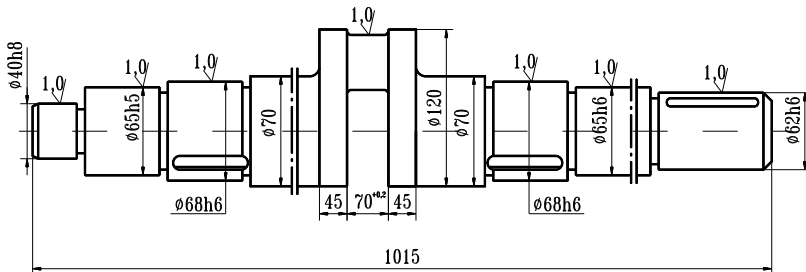


Рис. 69. Коленчатый вал

### 3.2.7. Особенности изготовления крупногабаритных валов

Под крупногабаритными валами понимают детали большой длины или веса, при обработке которых используются специальные устройства (подъемные механизмы, манипуляторы и т.д.). Изготовление подобных деталей имеет целый ряд особенностей (рис. 70):

- 1) проверку точности установки заготовки проводят «по рискам» (параллельным линиям, нанесенным на заготовку);
- 2) обработка проводится с минимумом установов (оптимально 1);
- 3) на первом установе заготовку закрепляют в кулачках планшайбы и поджимают центром. При этом проводят обработку шейки под люнет;
- 4) токарную обработку проводят, крепя заготовку в кулачки и поддерживая люнетом без центров, проверяя заготовку на биение после каждой переустановки.

### 3.2.8. Методы отделочной обработки наружных поверхностей валов

На этапе отделочной обработки обеспечиваются повышенные требования к шероховатости поверхности и в меньшей степени, к точности размеров и формы обрабатываемых поверхностей. К методам отделочной обработки относятся абразивная доводка, шлифование, притирка, суперфиниширование, полирование и пр.

1. *Шлифование.* Шлифование наружных поверхностей валов является наиболее распространенным и универсальным методом финишной обработки, при котором достигается точность размеров IT 6-8, а шероховатость  $Ra = 0,8...0,63$  мкм.

При обработке на круглошлифовальных станках заготовки могут быть установлены в патроне, центрах или в специальных приспособлениях.

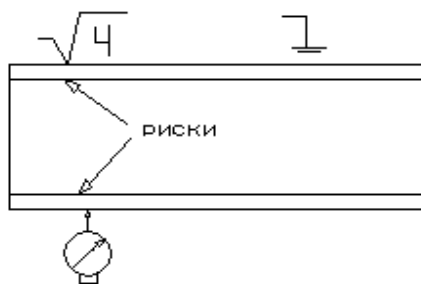


Рис. 70. Схема базирования крупногабаритного вала

Различают следующие виды шлифования:

– *продольное* (с продольным движением подачи), инструменту при этом придаются четыре движения: врезание, чистовое шлифование, выхаживание и отвод (рис. 71, а). Данный вид шлифования применяют во всех типах производств;

– *врезное (поперечное)* – применяют для обработки поверхностей, длина которых не превышает ширину шлифовального круга. Его преимущество – большая производительность и простота наладки, однако оно уступает продольному шлифованию по достигаемому качеству поверхности. Врезное шлифование особенно широко применяют в массовом и крупносерийном производствах (рис. 71, б);

– *бесцентровое шлифование*, широкоприменяемое в крупносерийном и массовом производствах (рис. 72), заключается в том, что шлифуемая заготовка 1 помещается между шлифовальным 2 и ведущим 3 кругами и поддерживается ножом (опорой) 4.

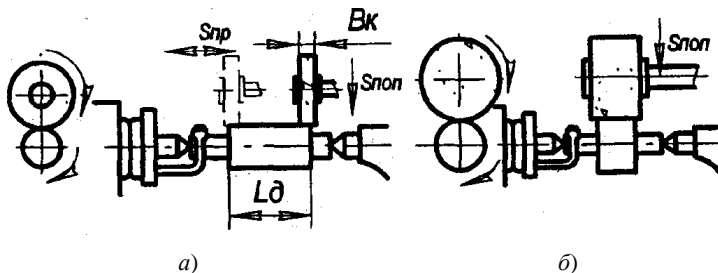


Рис. 71. Схемы наружного шлифования валов

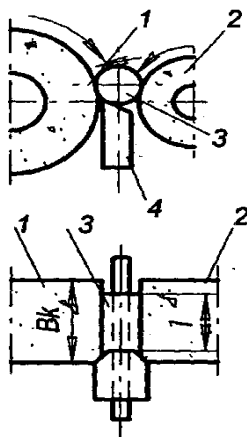


Рис. 72. Схема бесцентрового шлифования

2. *Абразивная доводка* является окончательным методом обработки, наиболее часто применяемым при финишной обработке незакаливаемых заготовок или заготовок из цветных металлов и их сплавов. Абразивную доводку могут проводить с помощью ручных притиров (в единичном производстве на токарном станке притиром в виде втулки (рис. 73, а) или на специальных доводочных станках (рис. 73, б) между двумя чугунными притирами в виде вращающихся в разные стороны дисков. При этом заготовки предварительно покрывают корундовым порошком. В крупносерийном и массовом производствах данный процесс называется *лаптингование*.

3. *Суперфиниширование* – отделочная обработка поверхностей валов абразивными мелкозернистыми брусками (рис. 74), направленная в первую очередь на уменьшение шероховатости, при этом точность изменяется незначительно. Обработка проводится с использованием смазочного вещества (смесь керосина с маслом) при небольшой скорости и с малым давлением инструмента на поверхность детали.

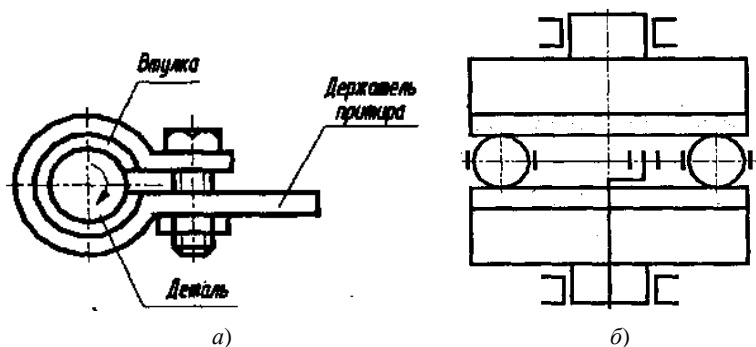


Рис. 73. Схемы абразивной доводки:  
а – с помощью ручных притиров; б – на доводочных станках

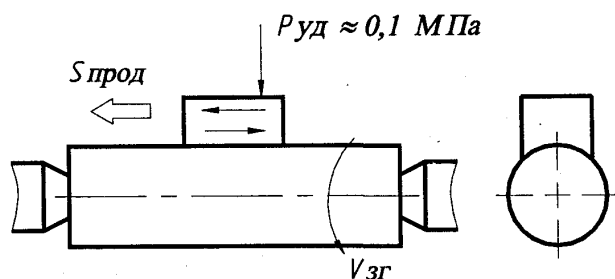


Рис. 74. Схема суперфиниширования

4. *Полирование* предназначено для снижения параметров шероховатости и практически не влияет на точность размеров. В качестве абразивных инструментов используются ролики, ремни или ленты (из войлока, кожи или полимерных аналогов), покрываемые полировальными материалами, к качеству которых применяют электрокорунд, алмазные и эльборовые шкурки, пасты ГОИ и др.

### **3.2.9. Методы повышения качества поверхностного слоя деталей**

К данным методам относятся различные варианты *упрочнения поверхности и отделочной обработки*, предназначенные для обеспечения заданного качества поверхностного слоя, характеризуемого физико-механическими свойствами и микрогеометрией. К этим методам относятся:

- методы термической обработки, к которым относится обычная закалка и закалка токами высокой частоты (ТВЧ);
- химико-термические методы (цементация, азотирование, цианирование и т.д.);
- диффузионная металлизация (диффузионное алитирование, хромирование, силицирование и др.);
- покрытие твердыми сплавами и металлами (покрытие литыми и порошкообразными сплавами);
- металлизация поверхностей (распылением расплавленным металлом);
- поверхностно-пластическое деформирование.

*Закалка* – заключается в нагревании поверхности изделия, в результате чего получается твердая износостойчивая поверхность.

*Цементация* – насыщение поверхностного слоя стали углеродом при нагревании ее в твердом, газообразном или жидком карбюризаторе, выдержка и последующее охлаждение для придания высокой твердости поверхностного слоя и сохранения пластичной сердцевины.

*Азотирование* – насыщение поверхностного слоя стали азотом при нагревании в газообразном аммиаке с последующей выдержкой и охлаждением в газовой среде – направлено на повышение твердости, износостойчивости и антикоррозийных характеристик.

*Цианирование* – одновременное насыщение поверхностного слоя стали углеродом и азотом для повышения его твердости и износостойкости.

*Диффузионная металлизация* – нагревание поверхности заготовки до высокой температуры, ее насыщение алюминием (алитирование), хромом (диффузионное хромирование), кремнием (силицирование)

и другими металлами для придания специальных физических и химических свойств (жаростойкости, антикоррозийных свойств и др.).

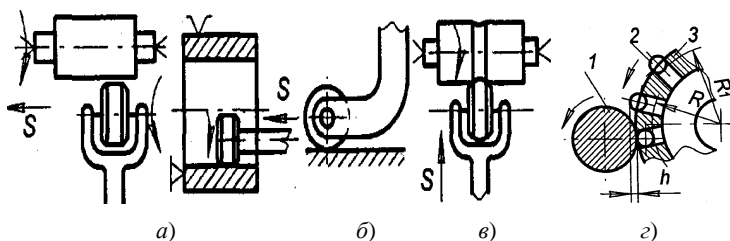
*Покрытие поверхностей* твердыми сплавами и металлами (металлизацию) применяют для повышения износостойкости поверхностей деталей.

*Поверхностно-пластическое деформирование (ППД)* – направлено на повышение твердости и прочности поверхностного слоя, уменьшение шероховатости и т.д.

Формирование поверхностного слоя с заданными свойствами обеспечивается *технологией упрочнения*. К ним относятся методы обкатывания и раскатывания шариковыми и роликовыми обкатниками наружных и внутренних цилиндрических, плоских и фасонных поверхностей, обеспечивающие точность по 7 – 9 квалитетам. Цилиндрические наружные, внутренние, фасонные поверхности обрабатываются, как правило, на токарных, револьверных, сверлильных и других станках; плоские поверхности – на строгальных, фрезерных станках (рис. 75).

Пластическое поверхностное деформирование может быть отделочно-упрочняющей операцией (улучшает шероховатость поверхности и упрочняет поверхностный слой), отделочно-упрочняющей и калибрующей операцией (кроме сказанного выше, повышает точность обработки); отделочно-калибрующей операцией (упрочнения не происходит).

Наряду с изложенными выше способами широко применяется центробежное (инерционное) упрочнение. При этом используется центробежная сила шариков (роликов), свободно сидящих в радиальных отверстиях быстровращающегося диска (рис. 75, в). Шарик 2 при вращении диска 3 смещается в радиальном направлении, нанося многочисленные удары по заготовке 1 и пластически деформируя поверхность.



**Рис. 75. Схемы обработки роликом:**  
а – наружных и внутренних цилиндрических поверхностей;  
б – плоских поверхностей; в – фасонных поверхностей;  
г – центробежной обкатки



### 3.2.10. Типовой маршрут изготовления вала

Маршрут изготовления детали типа «вал» включает в себя:

– *Заготовительную операцию*

В зависимости от вида заготовок и типа производства: резка из проката, штамповка или ковка.

– *Фрезерно-центровальную операцию*

Включает в себя обработку торцов и сверление центровых отверстий. Операцию проводят для заготовок при базировании установленных на центра. В зависимости от типа производства:

– в единичном и мелкосерийном производстве подрезку торцов и центрование проводят на универсальных токарных станках последовательно за два установа;

– в серийном и массовом – на продольно-фрезерных или горизонтально-фрезерных станках за один или два установа (рис. 76).

– *Токарную операцию*

Обычно выполняется за два установа. Обрабатываются наружные и осевые внутренние поверхности. В зависимости от типа производства используются токарно-винторезные станки, токарные станки с ЧПУ, копировальные токарные станки, многошпиндельные много-резцовые полуавтоматы, токарные автоматы и т.д.

– *Фрезерную операцию*

Фрезерование шпоночных пазов, лысок, многогранников. Применяют горизонтально-фрезерные или вертикально-фрезерные станки, шпоночно-фрезерные полуавтоматы и т.д.

– *Шлицефрезерную (зубофрезерную) операцию*

Фрезерование различных шлицев или зубьев. Выносится в отдельную операцию по причине необходимости применения специальных устройств (делительных головок). Используются шлице-фрезерные или зубофрезерные станки.

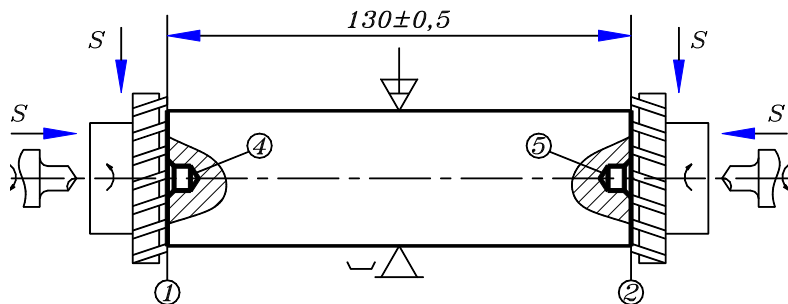


Рис. 76. Пример выполнения фрезерно-центровальной операции

– *Сверлильную операцию*

Сверление различных поперечных и ассиметричных отверстий. Используются вертикально-сверлильные или радиально-сверлильные станки.

– *Резьбонарезную операцию*

На закаливаемых шейках резьбу изготовляют до термообработки. Если вал не подвергается закалке, то резьбу нарезают после окончательного шлифования шеек (для предохранения резьбы от повреждений). Мелкие резьбы у термообрабатываемых валов получают сразу на резьбо-шлифовальных станках. Внутренние резьбы нарезают машинными метчиками на сверлильных, револьверных и резьбонарезных станках в зависимости от типа производств. Наружные резьбы нарезают:

– в единичном и мелкосерийном производствах на токарно-винторезных станках плашками, резьбовыми резцами или гребенками;

– в мелкосерийном и серийном производствах резьбы не выше 7-й степени точности нарезают плашками, а резьбы 6-й степени точности – резьбонарезными головками на револьверных и болторезных станках;

– в крупносерийном и массовом производствах – гребенчатой фрезой на резьбофрезерных станках или накатыванием.

– *Термообработку*

Закалка всей детали или отдельной ступени (элемента) до определенной твердости согласно чертежу детали. Используют различные печи или индукторы.

– *Шлифовальную операцию*

В зависимости от типа производства и обрабатываемой поверхности применяют круглошлифовальные, бесцентрошлифовальные, шлицешлифовальные и т.д. станки.

### **3.3. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «ПОЛЫЕ ЦИЛИНДРЫ» (ВТУЛКИ)**

#### **3.3.1. Общая характеристика втулок**

К деталям данного класса относятся втулки, стаканы, гильзы, вкладыши, т.е. детали, образованные наружными и внутренними поверхностями вращения, имеющие общую прямолинейную ось и отвечающие соотношению  $L/D \geq 3$  (рис. 77).

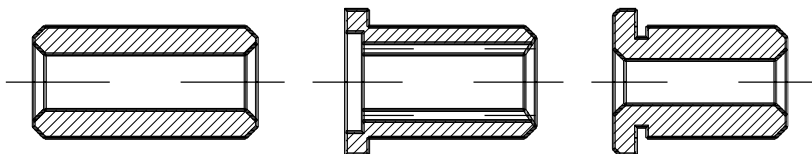


Рис. 77. Варианты втулок

### 3.3.2. Технологические задачи

Отличительной технологической задачей деталей данного класса являются:

- обеспечение concentricity наружных поверхностей и основного отверстия;
- обеспечение перпендикулярности торцов втулки и оси основного отверстия.

### 3.3.3. Материалы и заготовки для втулок

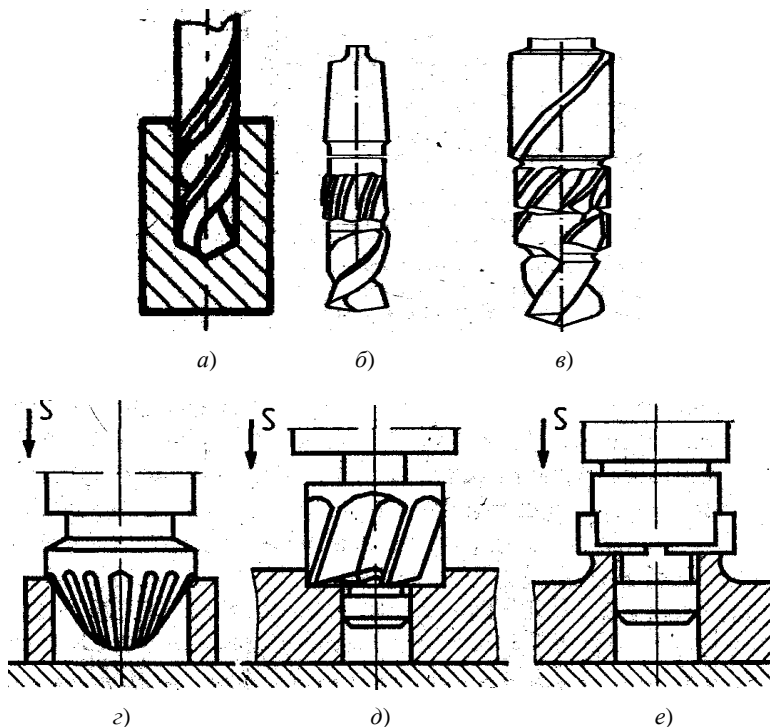
Для изготовления втулок могут быть использованы самые разные конструкционные материалы: сталь, чугун, цветные металлы и их сплавы, металлокерамика, пластмассы.

В качестве заготовок для втулок применяют круглый прокат или литые стержни (для втулок с диаметром отверстия до 20). Трубы или отливки – для втулок с диаметром отверстия более 20 мм.

### 3.3.4. Методы обработки внутренних цилиндрических поверхностей

Для обработки внутренних поверхностей втулок применяют следующие методы:

1. *Сверление (рассверливание)* основного отверстия в сплошном материале (рис. 78, а) диаметром до 80 мм. Обработку проводят на станках сверлильной группы (могут также применяться токарные и расточные), при которой вращается сверло или заготовка. Достижимая точность размеров в пределах IT 11-12. К данной группе также относится *зенкерование отверстий*, обеспечивающее обработку просверленных отверстий или предварительно литых и штампованных. Точность размеров при зенкерании на один два качества выше, чем при сверлении – IT 10-11. А также *развертывание отверстий*, применяемое после зенкерования для достижения высокой точности и качества отверстия, IT 6 – 8, Ra = 0,63...0,8 мкм.

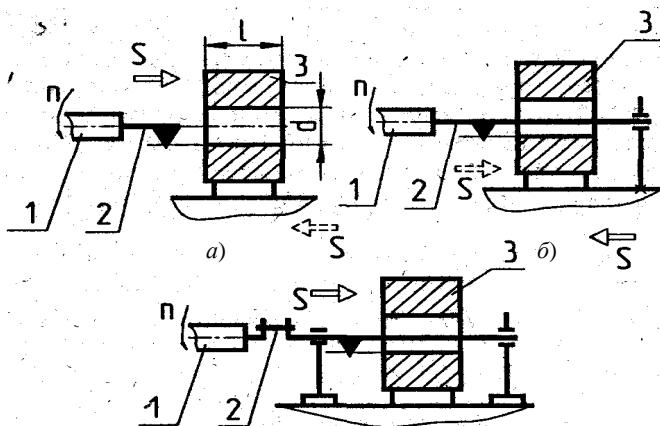


**Рис. 78. Варианты используемого режущего инструмента:**  
*a* – спиральное сверло; *б* – сверло-развертка; *в* – сверло-зенкер-развертка;  
*г* – коническая зенковка; *д* – цилиндрическая зенковка; *е* – цековка

В настоящее время находит все большее применение использование комбинированных (рис. 78, *б*, *в*) и специальных (рис. 78, *г*, *д*, *е*) режущих инструментов, а также специальных приспособлений и оборудования, которые обеспечивают повышенную производительность и точность обработки.

2. *Растачивание* основного отверстия проводится на станках расточной группы: горизонтально-расточных или координатно-расточных, а также радиально-сверлильных, токарных, карусельных или агрегатных, многоцелевых обрабатывающих центрах. При данном виде обработки может вращаться заготовка (на станках токарной группы) или инструмент (на расточных станках).

На токарных станках, как правило, проводится растачивание одиночного или соосных отверстий расточными резцами (расточным проходным или расточным упорным).



**Рис. 79. Пример растачивания отверстий на горизонтально-расточных станках**

Расточные станки применяются для изготовления подобных элементов, но другими способами: с помощью консольных оправок (рис. 79, а) при обработке «коротких» втулок, борштангами – скалками с использованием дополнительной задней стойки (рис. 79, б) для «протяженных» или крупногабаритных втулок и борштангами, установленными в кондукторе с использованием гибкой связи со станком (рис. 79, в) в серийном и массовом производствах.

3. Протягивание отверстий обычно применяют в серийном и массовом производствах, оно отличается высокой производительностью и качеством обработки. При протягивании применяют горизонтальные и вертикальные протяжные станки, и многолезвийный режущий инструмент – протяжку, которая протягивается через обрабатываемое отверстие.

4. Прошивание отверстий – операция, в целом, подобная выше рассмотренной обработке, но с применением более короткого инструмента – прошивки.

### 3.3.5. Методы отделочной обработки основных отверстий втулок

Для финишной обработки отверстий втулок обычно применяют шлифование или хонингование.

Шлифование отверстий является наиболее распространенным и универсальным способом отделочной обработки отверстий. Различают три способа шлифования:

а) шлифование вращающейся втулки (рис. 80, а) применяют при обработке небольших деталей, инструмент – шлифовальная головка. Причем вариантом данного шлифования является изготовление ряда типовых элементов, что позволяет исключить их предварительное изготовление растачиванием (рис. 80);

б) шлифование отверстия в неподвижной втулке (планетарное шлифование) применяют при обработке крупногабаритных втулок, вращение которых затруднительно (рис. 80, б). Особенностью данного способа является придание инструменту четырех движений: 1 – вращение вокруг своей оси; 2 – планетарное движение по окружности внутренней поверхности заготовки; 3 – возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки; 4 – поперечное перемещение (поперечное движение подачи);

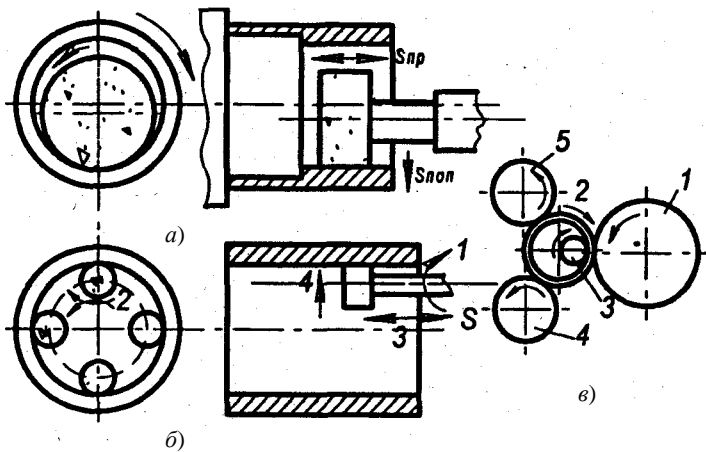


Рис. 80. Пример способов шлифования основного отверстия втулок

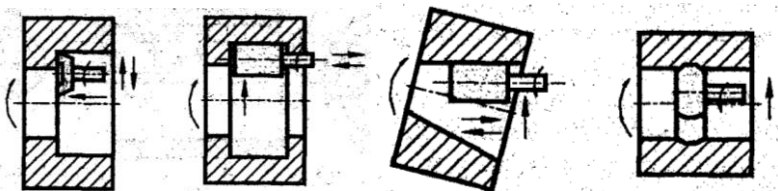
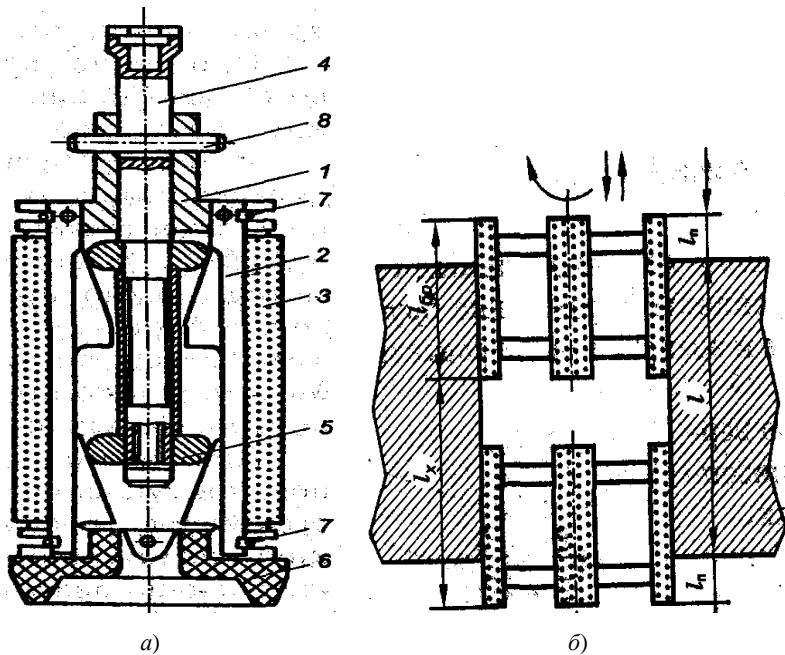


Рис. 81. Примеры изготовления типовых элементов шлифованием

в) *бесцентровое шлифование* (рис. 80, в) является высокопроизводительным способом обработки, применяемым в серийном и массовом производствах. Базой для установки заготовки служит наружная, предварительно обработанная поверхность. При обработке вращение заготовки 2 придается приводным роликом 1, а ролики 4 и 5 ее поддерживают. Шлифование проводится шлифовальной головкой 3.

*Хонингование* является одним из широкоприменяемых методов отделочной обработки основных отверстий втулок. Данная операция проводится на хонинговальных станках с помощью хонинговальных головок, которые совмещают вращательное и возвратно-поступательное движения в среде смазочно-охлаждающей жидкости, обеспечивая точность обработки по 7–8 качеству и шероховатость  $Ra = 0,63 \dots 0,8$  мкм (рис. 82).



**Рис. 82. Хонингование:**

- а – устройство хонинговальной головки: 1 – корпус; 2 – колодки; 3 – абразивные бруски; 4 – стержень; 5 – нажимная шайба; 6 – конус; 7 – круговые пружины, 8 – палец;
- б – пример обработки втулки хонинговальной головкой:  
 $l$ ,  $l_{об}$  – длина отверстия заготовки и абразивного бруска;  
 $l_n$  – перебеги брусков;  $l_x$  – рабочий ход брусков

### 3.3.6. Типовые маршруты изготовления втулок

На практике используются три типовые схемы обработки втулок:

- 1) обработка втулок за один установ;
- 2) обработка втулок за два установа – с первоначальной обработкой основного отверстия и последующего базирования по этому отверстию при обработке наружной поверхности и торцов;
- 3) обработка втулок за два установа – с первоначальной обработкой наружной поверхности втулки и последующего базирования по этой поверхности при обработке основного отверстия и торцов.

Технологический маршрут обработки втулки за один установ. Данная операция выполняется на токарно-револьверном станке или токарном автомате, например, при использовании в качестве заготовки прутка маршрут обработки состоит из (рис. 83):

1) подрезки торца заготовки, подачи ее до упора и последующей зацентровки под сверление, сверление основного отверстия, растачивания или зенкерования основного отверстия, точения наружной поверхности, точения фасок на свободном торце, развертывания основного отверстия, отрезки заготовки от прутка. Данные переходы выполняются на токарно-револьверном станке при неизменном закреплении заготовки.

При использовании в качестве заготовки трубного проката вместо сверления проводят зенкерование или растачивание отверстия, далее маршрут аналогичен;

- 2) снятия фасок с противоположного торца втулки;
- 3) сверления поперечных и ассиметричных отверстий, нарезания канавок и т.д.

Переходы 2 и 3 выполняются на вертикально (радиально)-сверлильном или токарно-винторезном станках.

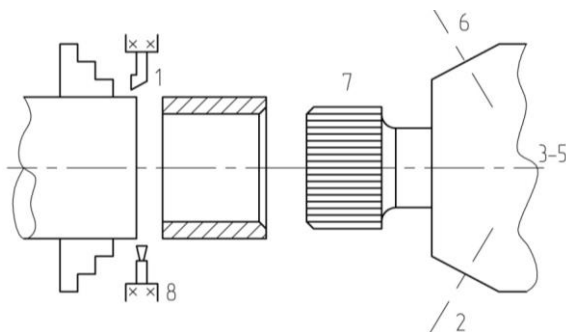


Рис. 83. Пример обработки втулки за один установ на токарно-револьверном станке



Технологический маршрут обработки втулки за два установка включает в себя:

1. Резку заготовки из круглого или трубного проката (реже штамповка).

2. При базировании по наружной поверхности – подрезку свободного торца, сверление и зенкерование или растачивание отверстия, точение канавок и фасок.

3. При базировании по отверстию на оправке – подрезку противоположного торца, точение наружных поверхностей, канавок и фасок. В качестве оборудования применяют: токарно-винторезные, токарно-револьверные или станки с ЧПУ, а также токарные полуавтоматы.

4. Сверление и зенкерование отверстий, нарезание резьбы. Для чего используют вертикально- или радиально-сверлильные станки, станки с ЧПУ или агрегатные станки.

5. Термообработка втулки. Проводят согласно требованиям чертежа.

6. Шлифование втулки, которое предусматривает:

– внутришлифовальную операцию для обработки основного отверстия (на внутришлифовальном станке с базированием заготовки по наружному диаметру);

– круглошлифовальную операцию для обработки торца на круглошлифовальном станке с базированием на оправке по обработанному основному отверстию.

В качестве рекомендаций, основанных на производственном опыте, можно отметить следующее – при выборе схемы базирования предпочтительной является базирование по отверстию, обеспечивающее меньшую погрешность установки и соответственно более высокую точность изготовления.

### **3.3.7. Технология изготовления деталей класса «диски»**

К деталям класса «диски» относятся детали, образованные наружными и внутренними поверхностями вращения, имеющими одну общую прямолинейную ось при отношении длины цилиндрической части к наружному диаметру менее 0,5, т.е. такие детали как крышки, фланцы, шкивы, кольца и т.д.

### **3.3.8. Типовые маршруты изготовления дисков (фланцев)**

Маршрут изготовления в целом подобен втулкам, но имеет ряд особенностей (рис. 84). В качестве основного оборудования применяют токарные, револьверные или карусельные станки – выбор которых диктуется типом производства и параметрами детали.



### 3.4. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

#### 3.4.1. Общая характеристика зубчатых колес и передач

Зубчатые колеса применяются во многих машинах и механизмах, обеспечивая передачу крутящего момента или вращательного движения.

Зубчатые передачи, в своем большинстве, бывают цилиндрическими, коническими или червячными (рис. 85). Детали данного класса могут быть с прямыми, косыми или шевронными зубьями, со ступицей и без ступицы, с гладким или шлицевым отверстием, с хвостовиком и без, а также комбинированные, например, валы-шестерни (рис. 86).

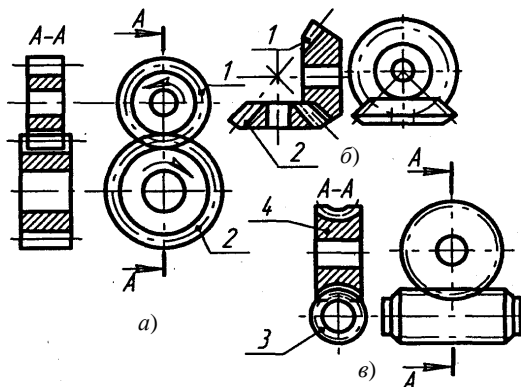


Рис. 85. Виды зубчатых передач:

*a* – цилиндрическая; *б* – коническая; *в* – червячная;

1 – шестерня; 2 – зубчатое колесо; 3 – червяк; 4 – червячное колесо

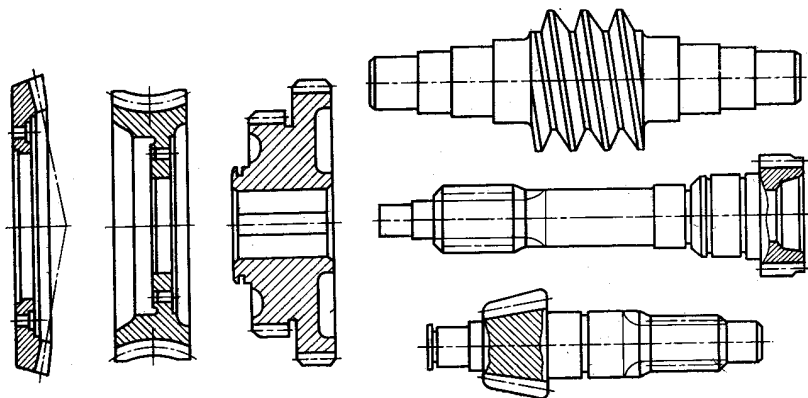


Рис. 86. Варианты исполнения зубчатых колес

### 3.4.2. Материалы и заготовки для зубчатых колес

Для зубчатых колес может быть использовано несколько вариантов заготовок: поковки, штамповки, круглый прокат – в зависимости от серийности и вида детали.

На выбор конкретного конструкционного материала непосредственное влияние оказывает область применения детали: для общего машиностроения – конструкционные и легированные стали (часто с дополнительной термообработкой), в авиапромышленности – сплавы цветных металлов, в приборостроении – различные полимеры.

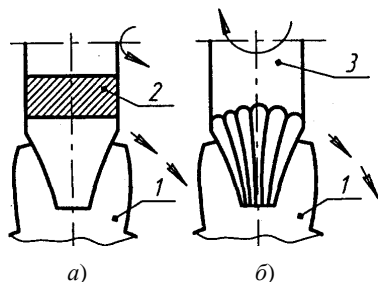
### 3.4.3. Основные методы формообразования зубьев зубчатых колес

К данным методам можно отнести:

*Нарезание зубчатых колес методом копирования* – является одним из наиболее распространенных методов зубофрезерования, осуществляемых на зубофрезерных вертикальных и горизонтальных станках. В качестве инструмента используются модульные дисковая или концевая фрезы, режущие части которых соответствуют форме впадины между зубами фрезеруемой заготовки, закрепленной и поворачиваемой в делительном механизме (рис. 87).

*Нарезание зубчатых колес методом обкатки* делится на зубофрезерование, зубодолбление и зубострогание.

*Зубофрезерование червячными фрезами* проводится на специальных зубофрезерных вертикальных и горизонтальных станках с помощью червячных фрез. Червячная фреза устанавливается таким образом, чтобы ее ось была повернута под некоторым углом к винтовой линии витков, вращаясь, она совершает также поступательное движение вдоль заготовки, в результате чего колесо обрабатывается по всей ширине (рис. 88).



**Рис. 87. Пример фрезерования зубчатых колес модульными фрезами:**

*а* – модульной дисковой фрезой на горизонтально-фрезерном станке;

*б* – модульной концевой фрезой на вертикально-фрезерном станке;

*1* – заготовка; *2, 3* – модульные фрезы: дисковая и концевая, соответственно

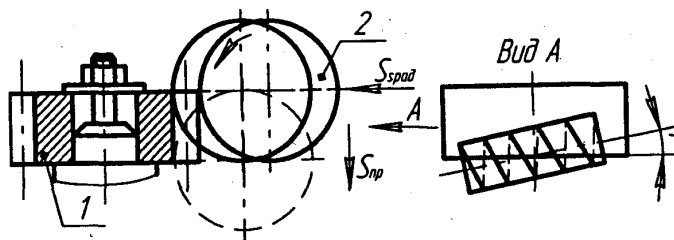


Рис. 88. Пример фрезерования зубьев червячной фрезой

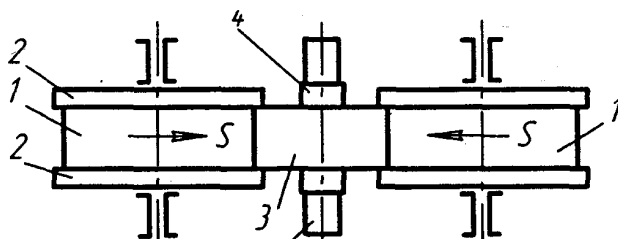


Рис. 89. Пример изготовления зубчатого колеса накатыванием:

1 – эталонные зубчатые колеса высокой твердости; 2 – реборды;  
3 – заготовка; 4 – оправка

*Зубодолбление* проводится на зубодолбежных станках с помощью специального инструмента – долбяка, который может представлять собой зубчатый сектор или зубчатое колесо. К особенностям данного метода можно отнести тот факт, что зубодолбление является единственным методом для нарезания малых и средних зубчатых колес с внутренним зацеплением.

*Зубострогание* подобно зубодолблению, но изготовление зубьев проводится с помощью зубчатой рейки – гребенки.

*Накатывание зубчатых колес* относится к методам формирования зубьев за счет пластической деформации заготовок. Различают горячее и холодное накатывание. Горячее накатывание применяют для стальных заготовок, предварительно нагревая их до 800...1000 градусов. Холодное накатывание применяют для более пластичных заготовок из сплавов цветных металлов (рис. 89).

#### 3.4.4. Основные методы отделочной обработки зубчатых колес

Отделочные операции при изготовлении зубчатых колес направлены на повышение эксплуатационных характеристик зубчатых передач, таких как износостойкость, бесшумность, плавность, прочность

и т.д. К данным методам обработки можно отнести: шевингование, шлифование, хонингование и притирку.

*Шевингование* применяется для обработки незакаляемых стальных зубчатых колес или колес из сплавов цветных металлов с помощью специального инструмента – шевера. Шевер представляет собой косозубое зубчатое колесо, работающее в зацеплении с заготовкой, причем его ось смещена на несколько градусов, что необходимо для создания скольжения зубьев шевера вдоль зубьев заготовки и соскабливания тонкой стружки. В результате шевингования возможно получить точность обработки зубчатых колес в пределах 6–7 квалитетов.

*Шлифование зубьев* является самым распространенным способом отделочной обработки зубчатых колес, в том числе и закаленных до точности IT 5–6. Шлифование проводят после термообработки одним из вариантов, представленных на рис. 90, копированием (а) или обкаткой одним-двумя (б, в) шлифовальными кругами.

*Хонингование* применяется для отделки, как правило, закаленных зубчатых цилиндрических колес. Для этого используются зубохонинговальные станки и специальный абразивный инструмент – хон, представляющий собой прямоугольное или косозубое колесо, выполненное из абразивного материала.

*Притирка зубьев* применяется в тех случаях, когда конструкция зубчатых колес не позволяет осуществить шлифование или после шлифования для устранения дефектов. Инструмент – притир – представляет собой зубчатое колесо, выполненное из чугуна, покрываемое перед работой пастой, состоящей из абразивного порошка и масла (рис. 91, а). При обработке, помимо вращения зубчатого колеса и притиров, обрабатываемому зубчатому колесу придается возвратно-поступательное движение вдоль своей оси.

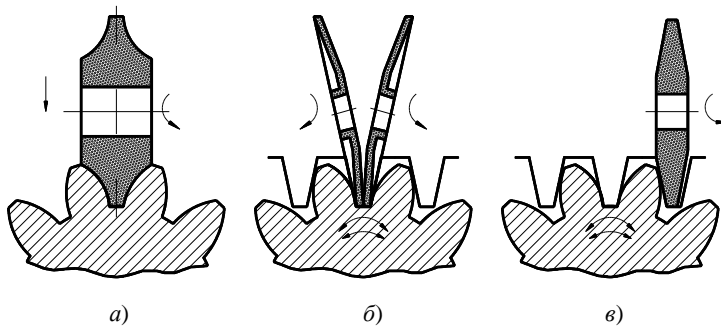
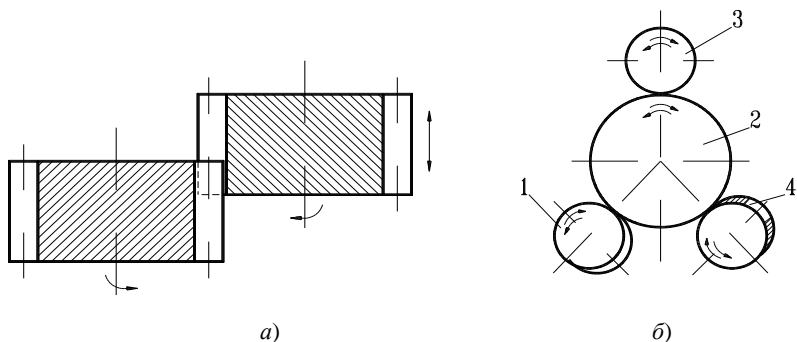


Рис. 90. Варианты шлифования зубчатых колес



**Рис. 91. Схемы притирки зубьев зубчатых колес:**  
*a* – одним притиром; *б* – тремя притирами:  
 1, 3, 4 – притиры; 2 – заготовка

*Приработка* – это метод взаимного сглаживания шероховатостей парных зубчатых колес, преимущественно закаленных, предварительно покрываемых абразивной пастой. Зубчатым колесам придаются вращения в разные направления, а также осевое перемещение. Приработку также называют методом «искусственного старения».

### 3.4.5. Типовой маршрут изготовления зубчатого колеса

В общем виде изготовление детали класса «зубчатое колесо» можно разделить на два этапа: обработку заготовки до нарезания зубьев и обработку зубьев. Первый этап характеризуется подобием обработки аналогичных элементов деталей других классов: дисков, втулок или валов. На втором этапе обработка обычно сочетается с отделочными операциями применительно ко всей детали.

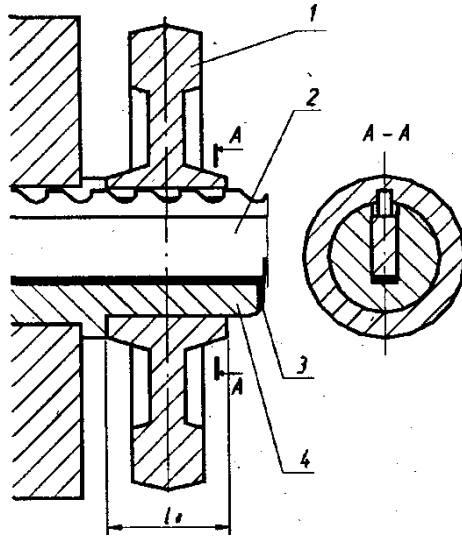
Операции изготовления зубчатого колеса включают в себя:

*Заготовительную операцию.* Резка из проката, литье или штамповка – в зависимости от программы выпуска. Для штампованных заготовок целесообразно их получение с прошитыми отверстиями при его диаметре более 30 мм.

*Токарную операцию.* Обработка проводится за два установка с обработкой торцов, обода, основного отверстия, фасок. Применяемое оборудование – в зависимости от типа производства: токарно-винторезный, токарно-револьверный, токарный с ЧПУ станки или токарный полуавтомат.

*Протяжную операцию.* Протянуть шпоночный паз или шлицы.

В качестве оборудования применяют горизонтально-протяжной станок, инструмент – протяжка (рис. 92).



**Рис. 92. Пример протягивания шпоночного паза в основном отверстии зубчатого колеса:**

1 – заготовка; 2 – протяжка; 3 – подкладка (при изготовлении паза за несколько проходов); 4 – направляющая

*Зубофрезерную операцию.* Фрезеровать зубья. Оборудование – зубофрезерный станок. Заготовка базируется на оправке в делительном механизме.

*Термообработку.* Термообработать заготовку целиком или только зубья согласно требованиям чертежа. При этом необходимо принять во внимание снижение точности колеса из-за термообработки на один-два качества.

*Шлифовальную операцию.* В зависимости от требований чертежа может включать в себя:

- *внутришлифовальную* – заключается в обработке основного отверстия, колесо базируется в эвольвентном патроне по зубчатой поверхности. Оборудование – внутришлифовальный станок;

- *зубошлифовальную* – предназначена для отделочной обработки зубьев с базированием колеса по основному отверстию на оправке. Оборудование – зубошлифовальный станок;

- *плоскошлифовальную* – для обработки торцов за один-два установка на плоскошлифовальном станке. При обработке может использоваться магнитный стол с базированием колеса по противоположному к шлифуемому торцу.



## **3.5. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

### **3.5.1. Характеристика корпусных деталей**

К корпусам относят детали, содержащие систему отверстий и плоскостей, скоординированных определенным образом друг относительно друга. К деталям данного класса относят корпуса редукторов, подшипниковых опор, коробок передач, насосов и т.д. Данные детали отличаются наличием протяженных и точных плоскостей, основных и вспомогательных отверстий. Корпусы принято разделять на две основные группы:

а) призматические или коробчатого типа, сочетающие большие плоские поверхности с основными отверстиями, оси которых расположены параллельно или под углом;

б) фланцевого типа, в которых плоскости являются торцовыми поверхностями основных отверстий.

### **3.5.2. Материалы и заготовки для изготовления корпусов**

При выборе конструкционного материала для корпусных заготовок обязательно учитывается область применения данной детали, так, например, в машиностроении нашел широкое применение чугун различных марок и углеродистые стали; в атомной отрасли и энергетике – нержавеющие и жаропрочные стали; в авиастроении – цветные металлы и их сплавы; в приборостроении – полимерные материалы.

В качестве заготовок обычно используется различное литье, реже – листовой прокат и сварные корпуса. Для небольших изделий – поковки.

### **3.5.3. Основные схемы базирования**

Точность и качество изготовления корпусных деталей напрямую зависят от правильности и надежности их базирования. Для этого, как правило, используются следующие схемы базирования:

– обработка от плоскости, т.е. вначале окончательно обрабатывают установочную плоскость (поверхность, имеющую наибольшую опорную площадь), а затем, принимая ее за установочную базу, обрабатывают точные (основные) отверстия;

– обработка от отверстия, т.е. сначала окончательно обрабатывают основное отверстие, а далее, относительно его, обрабатывают плоскости.

Производственный опыт свидетельствует, что из-за удобства и простоты чаще применяется обработка от плоскости, однако более точным является обработка от отверстия, особенно для крупногабаритных корпусов.

Для базирования корпусных деталей используют следующие опоры:

- а) постоянные: сменные, со сферической, плоской, рифленой поверхностью;
- б) регулируемые;
- в) плавающие;
- г) со срезанным пальцем, которые используются для компенсации отклонений межосевого расстояния (рис. 90).

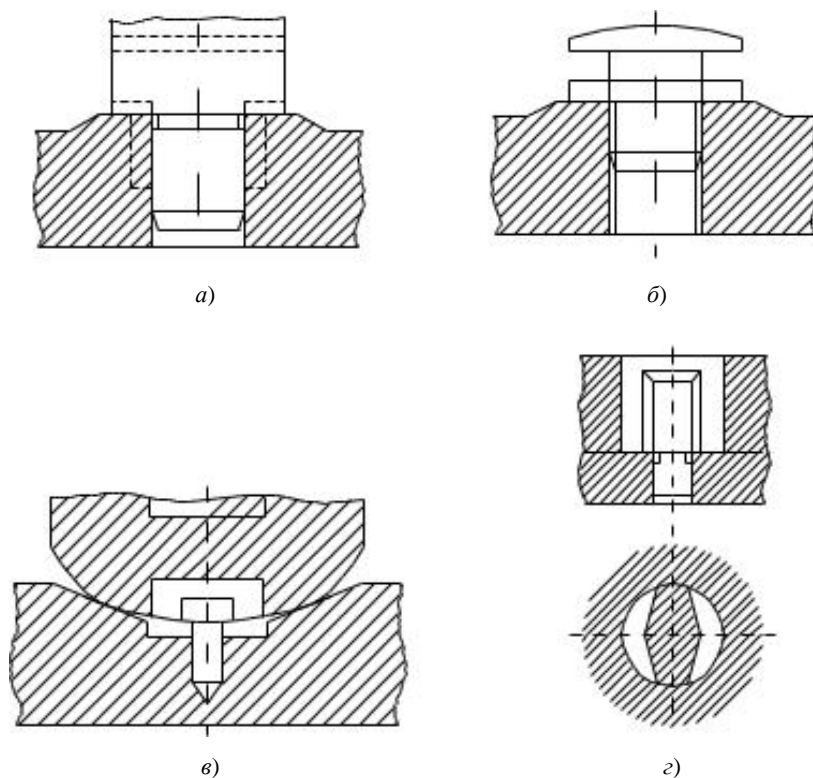


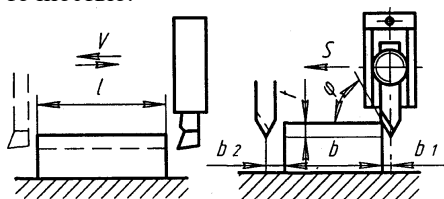
Рис. 93. Виды опор для базирования корпусных заготовок

### 3.5.4. Методы обработки поверхностей корпусов. Обработка плоскостей

На выбор конкретного оборудования оказывает влияние в первую очередь тип производства. Наибольшее применение нашли строгание, фрезерование, протягивание и шлифование.

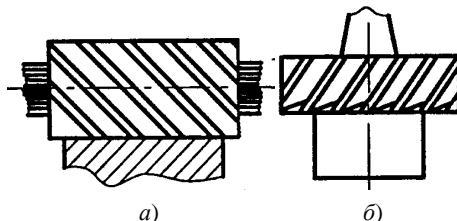
*Строгание* характерно для применения в единичном и мелкосерийном производствах по причине простоты и доступности инструмента, оборудования и приспособлений, возможностью обработки сложных поверхностей и снятием больших припусков за один проход. Однако при этом данный метод отличается низкой производительностью, так как обработка проводится однолезвийным инструментом (строгальными резцами), а также наличием значительных холостых ходов инструмента и необходимостью рабочих с высокой квалификацией (рис. 94). При строгании применяют поперечно-строгальные и продольно-строгальные станки.

*Фрезерование* – наиболее распространенный способ обработки плоских поверхностей, широкоприменяемый в серийном и массовом производствах. Фрезерование осуществляется на фрезерных станках различных типов. При этом применяются, как правило, наиболее производительные виды фрез – цилиндрические и торцевые (рис. 95). Фрезерование отличается высокой производительностью и сравнительно высокой точностью.



**Рис. 94. Типовая схема строгания плоской поверхности:**

$l$  – рабочая длина заготовки;  $b_2$  – перебег резца;  $b$  – ширина заготовки;  
 $b_1$  – припуск на обработку;  $t$  – глубина резания



**Рис. 95. Примеры фрезерования плоских поверхностей:**

$a$  – цилиндрической;  $b$  – торцевой фрезами

*Протягивание* плоских поверхностей нашло свое применение в крупносерийном и массовом производствах при обработке пазов, канавок, плоскостей и т.д., для чего используются обычно горизонтально-протяжные станки. Протягивание плоских поверхностей характеризуется высокой производительностью и качеством обработки, однако отличается высокой стоимостью оборудования и инструмента. В настоящее время фрезерование часто заменяют наружным протягиванием (плоскости, пазы, канавки и т.п.).

*Шабрение* плоских поверхностей можно проводить вручную или механическим способом с помощью специального режущего инструмента – шабера. Ручное шабрение малопродуктивно, поэтому обычно применяется механический способ обработки, отличающийся высоким качеством обработанных поверхностей.

*Шлифование* плоских поверхностей предполагает несколько вариантов обработки, реализуемых на плоскошлифовальных станках с крестовым или круглым столом (рис. 9б):

– *шлифование периферией круга* – может быть осуществлено тремя способами:

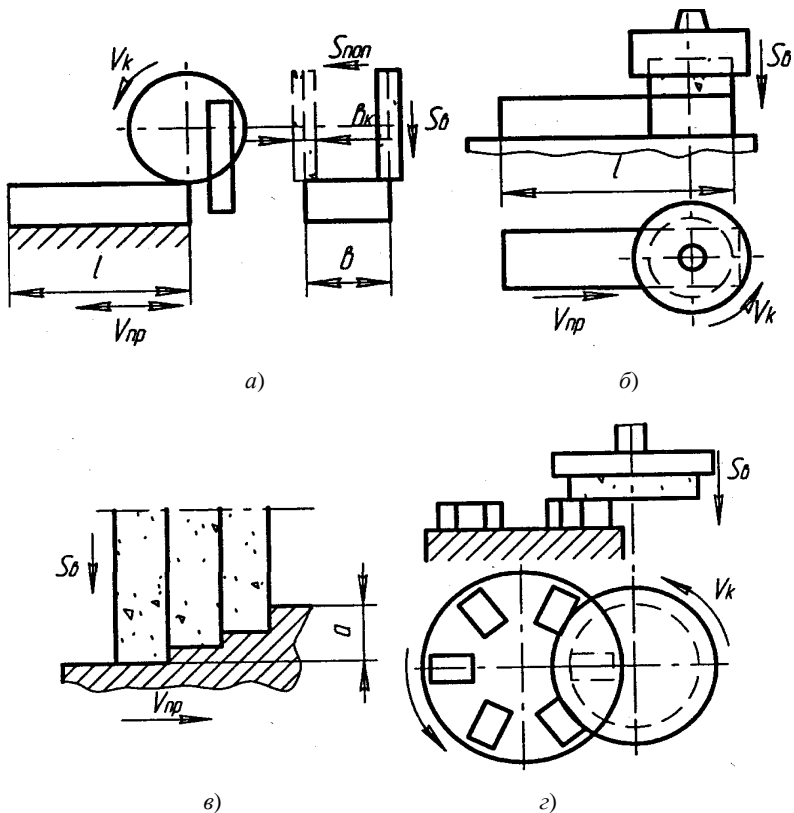
1) *многократными рабочими ходами*, при которых поперечная подача шлифовального круга проводится после каждого продольного хода стола, а вертикальная – после рабочего хода по всей поверхности длины детали;

2) *установленным на размер кругом*, когда абразивный инструмент изначально устанавливается на глубину, соответствующую снимаемому припуску, и за счет перемещения стола обрабатывает заготовку по всей длине;

3) *ступенчатым кругом*, обеспечивающим снятие всего припуска за один переход (в первом и втором способах, как правило, за два прохода):

– *шлифование торцом круга* – плоское шлифование – является одним из самых распространенных способов обработки плоскостей деталей машин (особенно закаленных) для достижения заданного качества. В ряде случаев плоское шлифование может с успехом заменить фрезерование (как например и шлифование ступенчатым кругом). В крупносерийном и массовом производствах широко применяют высокопроизводительный метод шлифования на вращающемся столе.

*Полирование поверхностей* является методом отделочной обработки, направленной в первую очередь на повышение качества поверхности с помощью эластичных шлифовальных кругов, покрытых абразивной пастой.



**Рис. 96. Варианты отделочной обработки плоских поверхностей:**  
*а* – шлифование периферией круга; *б* – шлифование торцом круга;  
*в* – шлифование профилирующим кругом;  
*г* – шлифование торцом круга на вращающемся столе

*Доводка* плоских поверхностей осуществляется с помощью при-  
 тиров на плоскошлифовальных станках и применяется также для повы-  
 шения качества поверхностного слоя детали.

### 3.5.5. Методы обработки поверхностей корпусов. Обработка основных отверстий.

В *единичном* и *мелкосерийном* производствах основные отверстия  
 обрабатывают в основном на универсальных горизонтально-расточ-  
 ных, а при более высокой точности – на координатно-расточных стан-  
 ках, без применения расточных приспособлений.

В *серийном* производстве применяют на тех же станках расточные приспособления с кондукторными втулками для инструментов или на радиально-сверлильных станках с применением поворотных кондукторов.

В *крупносерийном* производстве применяют специальные многошпиндельные агрегатные станки. При обработке отверстий диаметром до 50 мм последовательно проводят: сверление, зенкерование и развертывание.

Особую сложность вызывает обработка соосных отверстий. Такие отверстия (до  $d = 50$  мм) обрабатываются либо с одной стороны или с двух – поворотом стола (рис. 97).

Маршрут обработки – (односторонняя схема с консольной оправкой), применяемая при  $l < (5 \dots 6) d$  включает:

1. Сверления отверстия 1 с зацентровкой отверстия 2.
2. Зенкерование отверстия 1.
3. Сверление отверстия 2.
4. Зенкерования отверстия 2.
5. Развертывание отверстия 2.
6. Развертывание отверстия 1.

На переходах 3 – 6 инструмент направляется кондукторной втулкой и обработанным отверстием 1.

кондукторная втулка

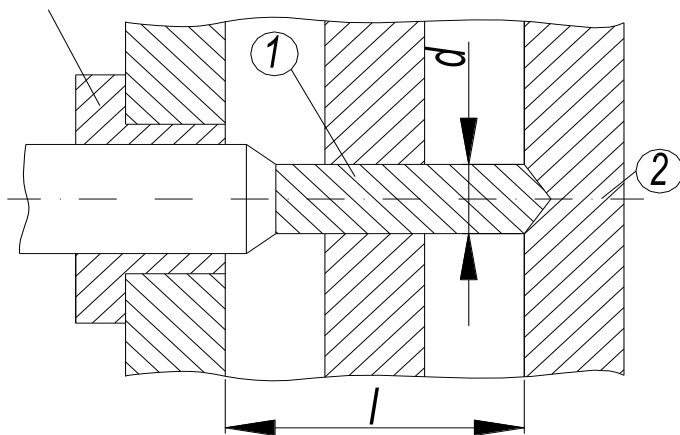
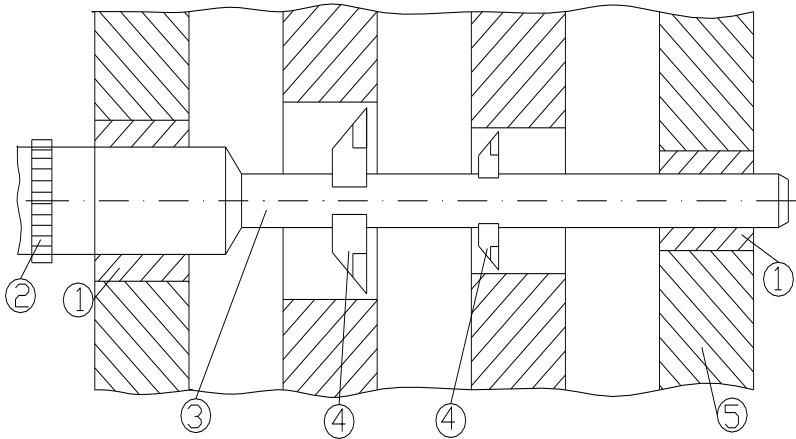


Рис. 97. Пример обработки соосного отверстия – односторонняя схема



**Рис. 98. Пример двусторонней схемы обработки соосного отверстия:**

- 1 – кондукторные втулки; 2 – гибкая связь со станком;  
 3 – борштанга (расточная скалка); 4 – режущий инструмент;  
 5 – люнетная стойка

При двусторонней схеме обработки (при соотношении  $l > 6d$ ) инструмент (расточные оправки) закреплен на борштанге, которая в свою очередь направляется кондукторными втулками, установленными в люнетных стойках. Борштанга соединяется со шпинделем станка гибкой связью для компенсации возможной несоосности оси станка и обрабатываемых отверстий.

При *обработке литых отверстий*  $d = 50 \dots 300$  мм используется следующий маршрут:

- 1) первое черновое растачивание;
- 2) второе черновое растачивание;
- 3) получистовое растачивание;
- 4) подрезание торцов;
- 5) чистовое растачивание;
- 6) развертывание.

### 3.5.6. Обработка разъемных и неразъемных корпусов

Корпусные детали (призматические и фланцевые) могут быть как разъемными, так и неразъемными. *Разъемные корпуса* имеют следующую последовательность обработки:

- 1) обработка базовых поверхностей;
- 2) обработка плоскостей разъема;

- 3) обработка крепежных отверстий, предназначенных для соединения отдельных частей корпуса;
- 4) сборка корпуса с обработкой отверстий под контрольные штифты;
- 5) обработка основных отверстий;
- 6) обработка крепежных отверстий и других мелких отверстий и плоскостей.

Для *неразъемных корпусов* маршрут обработки включает:

- 1) обработку базовых поверхностей (наружной плоскости и установочных отверстий);
- 2) обработку основных отверстий;
- 3) обработку крепежных и других мелких отверстий.

### 3.5.7. Типовой маршрут изготовления корпуса

Последовательность технологического маршрута обработки корпуса призматического типа с плоским основанием и основным отверстием с осью, параллельной основанию, включает в себя.

*Заготовительную операцию.* Литье в земляные или песчаные формы, под давлением, кокиль. Сварка корпусных заготовок. Конкретный тип определяется конструкционным материалом и типом производства.

*Фрезерную (протяжную) операцию.* Фрезеровать или протянуть плоскость основания. Оборудование (в зависимости от типа производства): фрезерные, строгальные, протяжные или агрегатные станки.

*Сверильную операцию.* Сверлить и зенковать или развернуть отверстия в плоскости основания. Оборудование – радиально-сверлильный, многошпиндельный сверлильный или агрегатный станок.

*Фрезерную операцию.* Обработка плоскостей – торцов основных отверстий. Оборудование – горизонтально-фрезерный или горизонтально-расточной станки.

*Расточную операцию.* Растачивание основных отверстий. Оборудование – универсальный горизонтально-расточной станок или агрегатный многошпиндельный станок и т.д.

*Сверильную операцию.* Сверлить, зенковать, нарезать резьбу в крепежных отверстиях. Оборудование – радиально-сверлильный, сверлильный с ЧПУ, многооперационный или агрегатный станки.

*Плоскошлифовальную операцию.* Шлифовать поверхность основания и основное отверстие. Оборудование – плоскошлифовальный станок.



### 3.6. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «НЕКРУГЛЫЕ СТЕРЖНИ» (РЫЧАГИ)

#### 3.6.1. Характеристика рычагов

К деталям данного класса относятся собственно рычаги, тяги, вилки, балансиры и шатуны (рис. 99). Представители данного класса являются деталями, совершающими качательные или вращательные движения, служащими для передачи необходимых сил и движений сопрягаемым элементам механизмов. Или наоборот – для фиксации других деталей машин в определенном положении.

Детали данного класса имеют, как правило, два и более отверстия, оси которых могут быть расположены параллельно или под прямым углом. У представителей данного класса, кроме основных отверстий, могут обрабатываться шпоночные или шлицевые пары, крепежные отверстия и т.д. Значительное разнообразие конструкций рычагов вызывает необходимость их классификации в целях сужения типовых технологических процессов. С этой целью рекомендуется следующая классификация:

1. Рычаги, у которых торцы втулок имеют общую плоскость или их торцы лежат в одной плоскости.
2. Рычаги, у которых торцы втулок лежат в разных плоскостях.
3. Рычаги, у которых имеется длинная втулка с отверстием и значительно более короткие втулки.

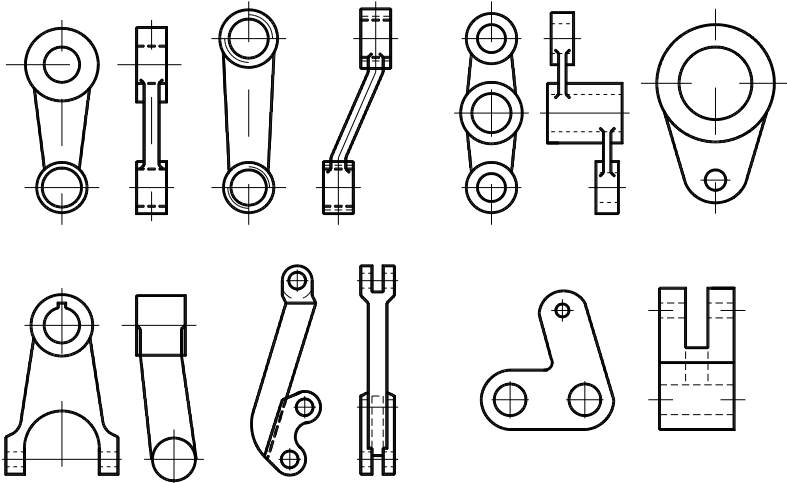


Рис. 99. Конструктивные разновидности рычагов, вилок и шатунов

### 3.6.2. Материалы и заготовки рычагов

Выбор конструкционного материала и заготовок зависит от назначения и серийности детали. Так, для рычагов, работающих под небольшими нагрузками, наиболее целесообразно выбирать отливки из различных чугунов. Для деталей, работающих под нагрузкой, используются, как правило, кованные, штампованные или литые заготовки из стали.

### 3.6.3. Типовой маршрут изготовления рычага

Для примера рассмотрим технологический маршрут изготовления рычага с общей плоскостью торцов втулок (рис. 100).

Руководствуясь общими принципами базирования, выбираем в качестве технологической базы при фрезеровании торцов втулок поверхность стержня рычага или противоположные торцы, а при их шлифовании – противоположные торцы. При обработке основных отверстий базовыми поверхностями будут являться обработанные торцы втулок и их наружные поверхности.

*Заготовительная операция.* Для чугунных заготовок – литье, для стальных – ковка, штамповка или литьем по выплавляемым моделям. В редких случаях – сварка.

*Фрезерная операция.* Фрезеровать торцы втулок с одной/двух сторон за один/два установка в зависимости от типа производства. Оборудование – вертикально-, горизонтально- или карусельно-фрезерный станок.

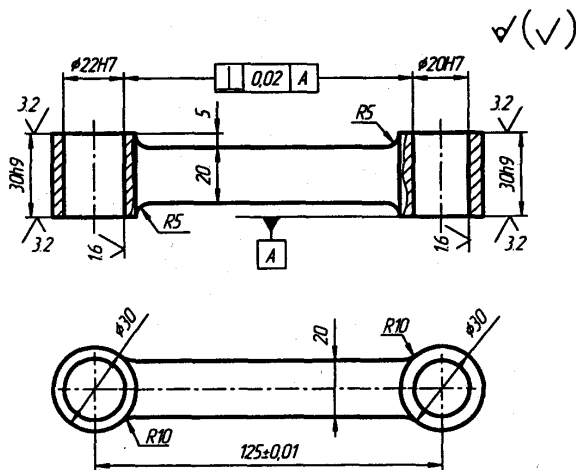


Рис. 100. Пример детали класса «рычаг»

*Сверлильная операция.* Обработка основных отверстий. Оборудование (в зависимости от типа производства): вертикально- или радиально-сверлильный станок, расточной, протяжной или агрегатный станок.

При обработке основных отверстий технологический маршрут может иметь несколько вариантов:

- сверление, зенкерование и развертывание или растачивание отверстия;

- сверление и протягивание отверстия (при его диаметре более 30 мм), если отверстие уже имеется в заготовке, то зенкерование и протягивание.

*Протяжная операция.* Изготовление шпоночных пазов или шлицев в основных отверстиях. Оборудование – горизонтально-протяжной станок.

*Сверлильная операция.* Обработка вспомогательных отверстий: сверление, зенкование, нарезанием резьб.

*Шлифовальная операция.* Шлифование торцов втулок на плоскошлифовальном станке за два установка.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Развитие производства во многом определяется техническим прогрессом, т.е. интенсификацией производства на основе широкого использования достижений науки и техники, применения прогрессивных технологий, грамотного технико-экономического обоснования.

В первой части учебного пособия по курсу «Основы технологии машиностроения» содержатся разделы, посвященные технологическим основам обеспечения качества изделий в машиностроении, а также проектирования и расчетов технологических процессов. Рассмотрены особенности и последовательность проектирования технологического процесса, его основные этапы – выбор вида заготовки, маршрута обработки отдельных поверхностей, выбор оборудования, станочных приспособлений и инструментов.

За основу приняты типовые технологические процессы, прошедшие апробацию в промышленности и базирующиеся на результатах научных исследований и прогрессивном опыте машиностроительных заводов.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. **Справочник** технолога-машиностроителя / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 665 с.
2. **Справочник** технолога-машиностроителя / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
3. **Ткачев, А. Г.** Проектирование технологического процесса изготовления деталей машин / А. Г. Ткачев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2007. – 48 с.
4. **Зуев, А. А.** Технология машиностроения / А. А. Зуев. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Лань, 2003. – 496 с.
5. **Ткачев, А. Г.** Типовые технологические процессы изготовления деталей машин / А. Г. Ткачев, И. Н. Шубин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2004. – 112 с.
6. **Станочные приспособления** : справочник / под ред. Б. Н. Вардашкина, А. А. Шатилова. – М. : Машиностроение, 1984. – Т. 1. – 591 с.
7. **Технология** машиностроения. Ч. II. Проектирование технологических процессов / под ред. С. Л. Мурашкина – СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2003. – 498 с.
8. **Типовые процессы** в машиностроении: лабораторный практикум / И. Н. Шубин и др. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2007. – 84 с.
9. **Горбацевич, А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – М. : Высшая школа, 1983. – 225 с.
10. **Технико-экономическое обоснование** конструкторского решения : методические указания / сост. : В. В. Быковский, А. И. Попов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. – 24 с.

11. **Курсовое проектирование** по технологии машиностроения / Л. В. Худобин и др. – М. : Машиностроение, 1989. – 288 с.
12. **Обработка** металлов резанием: справочник технолога / под ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
13. **Верейна, Л. И.** Справочник токаря : учебное пособие для начального профессионального образования / Л. И. Верейна. – М. : Издательский центр «Академия», 2002. – 448 с.
14. **Экономика** предприятия : учебник для вузов / под ред. В. Я. Горфинкеля, Е. М. Купрякова. – М., 1996.
15. **Краткий справочник** технолога тяжелого машиностроения / И. В. Маракулин и др. – М. : Машиностроение, 1987. – 464 с.
16. **Станочные приспособления** : справочник / под ред. Б. Н. Вардашкина, А. А. Данилевского. – М. : Машиностроение, 1984. – Т. 2. – 655 с.
17. **Никифоров, А. Д.** Типовые технологические процессы изготовления аппаратов химических производств / А. Д. Никифоров, В.А. Беленький, Ю. В. Поплавский. – М. : Машиностроение, 1979. – 278 с.
18. **Основы** технологического проектирования в машиностроении [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т. А. Дуюн и др. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2013. – 268 с. – URL : <http://www.iprbookshop.ru/49718>. – ЭБС «IPRbooks»
19. **Тимирязев, В. А.** Основы технологии машиностроительного производства [Электронный ресурс] : учебник / В. А. Тимирязев, В. П. Вороненко, А. Г. Схиртладзе. – СПб. : Лань, 2012. – 448 с. – URL : <https://e.lanbook.com/book/3722>
20. **Наукоёмкие технологии** в машиностроении. [Электронный ресурс] / А. Г. Суслов, Б. М. Базров, В. Ф. Безъязычный, Ю. С. Аврамов. – М. : Машиностроение, 2012. – 528 с. – URL : <http://e.lanbook.com/book/5795>
21. **Сысов, С. К.** Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов. [Электронный ресурс] : учебное пособие /

С. К. Сысоев, А. С. Сысоев, В. А. Левко. – СПб. : Лань, 2016. – 352 с. – URL : <http://e.lanbook.com/book/71767>

22. **Технология** машиностроения. Лабораторный практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. В. Коломейченко, И. Н. Кравченко, Н. В. Титов, В. А. Тарасов. – СПб. : Лань, 2015. – 272 с. – URL : <http://e.lanbook.com/book/67470>

23. **Безъязычный, В. Ф.** Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. [Электронный ресурс] : учебник / В. Ф. Безъязычный. – М. : Машиностроение, 2013. – 598 с. – URL : <http://e.lanbook.com/book/37005>

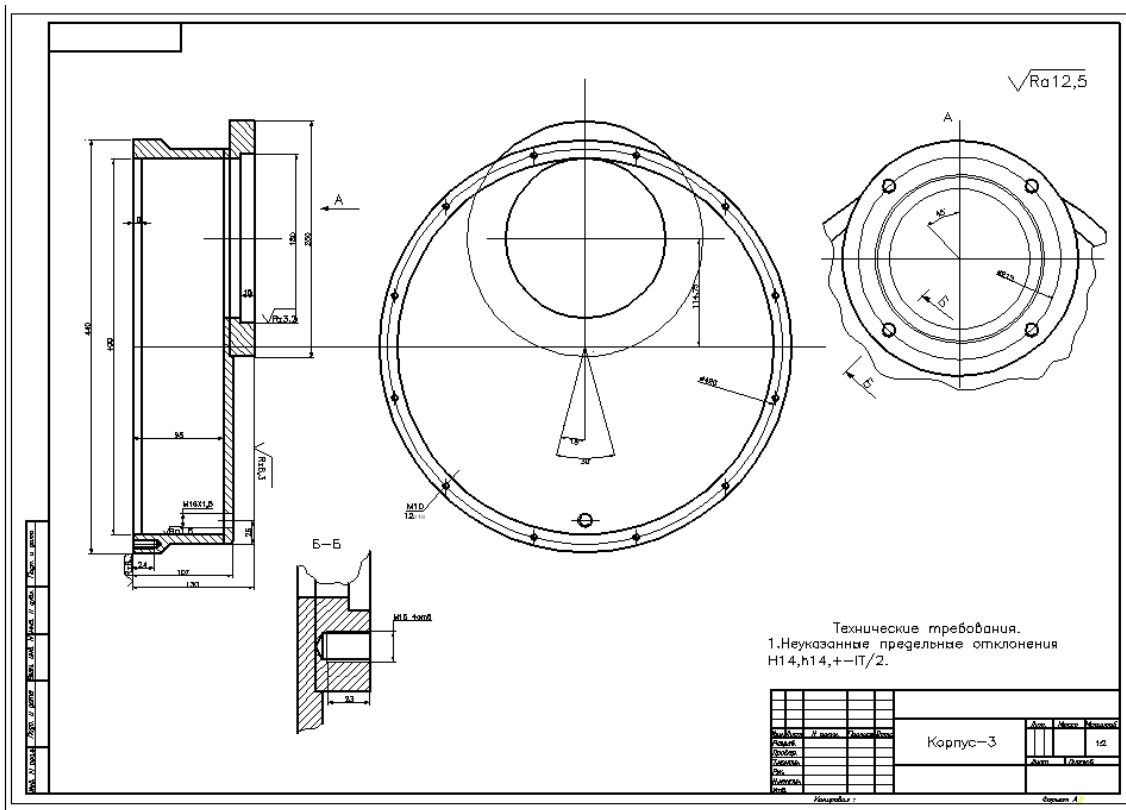
24. **Ткачев, А. Г.** Промышленные технологии и инновации. Оборудование для наноиндустрии и технология его изготовления [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Г. Ткачев, И. Н. Шубин, А. И. Попов. – Тамбов : ТГТУ, 2010. – URL : <http://tstu.ru/book/elib/pdf/2010/tkachev-a.pdf>













## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ</b> .....	4
1.1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ .....	4
1.2. КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ (ПРОДУКЦИИ) В МАШИНОСТРОЕНИИ .....	4
1.3. ТОЧНОСТЬ ИЗДЕЛИЯ И СПОСОБЫ ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ	5
1.4. ВЛИЯНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ТОЧНОСТИ НА ТРУДОЕМКОСТЬ И СЕБЕСТОЙМОСТЬ .....	8
1.5. ВИДЫ ПОГРЕШНОСТЕЙ .....	10
1.6. ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ .....	11
1.6.1. Закон нормального распределения .....	11
1.6.2. Статическое регулирование технологического процесса .....	16
1.7. БАЗИРОВАНИЕ .....	17
1.7.1. Понятие о базах их классификации и назначение .....	17
1.7.2. Правило базирования, выбор баз .....	23
1.8. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ	24
1.8.1. Погрешность установки заготовки .....	25
1.8.2. Погрешность, вызванная жесткостью технологической системы .....	26
1.8.3. Погрешность за счет износа режущего инструмента	29
1.8.4. Погрешность за счет настройки станка .....	34
1.8.5. Погрешность за счет тепловых деформаций технологической системы .....	35
1.8.6. Погрешности, вызванные остаточными напряжениями в материале заготовок .....	35

1.8.7. Погрешность от геометрических неточностей станка	36
1.8.8. Расчет суммарной погрешности обработки .....	37
<b>1.9. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ И ЗАГОТОВОК .....</b>	<b>37</b>
1.9.1. Основные характеристики качества поверхностного слоя .....	37
1.9.2. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей .....	39
1.9.3. Факторы, влияющие на качество поверхности. Зависимость шероховатости от условий обработки ...	40
<b>1.10. ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТОДАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ</b>	<b>42</b>
1.10.1. Управление качеством поверхности технологическими методами .....	42
1.10.2. Классификация технологических методов повышения качества поверхности .....	42
1.10.3. Методы повышения качества поверхностного слоя деталей .....	45
<b>2. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....</b>	<b>48</b>
2.1. ПОНЯТИЕ ОБ ИЗДЕЛИИ, ПРОИЗВОДСТВЕННОМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССАХ .....	48
2.2. НОРМЫ ВРЕМЕНИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СЕБЕСТОИМОСТЬ ИЗДЕЛИЯ .....	51
2.3. ТИПЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ. СУЩНОСТЬ ПОТОЧНЫХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА	55
2.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ .....	56
2.4.1. Основные принципы построения технологического процесса .....	56
2.4.2. Исходные данные для проектирования процессов .....	58
2.4.3. Анализ чертежа, технических условий и служебного назначения детали .....	58

2.4.4. Рекомендации системы технологической подготовки производства .....	60
2.5. ЭТАПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ .....	61
2.5.1. Выбор маршрута обработки поверхностей детали .....	61
2.5.2. Проектирование технологического маршрута изготовления детали .....	63
2.5.3. Проектирование технологических операций .....	66
2.5.4. Определение припусков на обработку .....	73
2.5.5. Факторы, определяющие минимальный припуск .....	74
2.5.6. Определение промежуточных и исходных размеров заготовки .....	76
2.5.7. Выбор оборудования, приспособлений, инструментов	87
2.5.8. Расчет режимов резания .....	88
2.6. ОБРАБОТКА ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ .....	89
2.6.1. Методы обработки наружных цилиндрических поверхностей .....	89
2.6.2. Обработка на валах элементов типовых сопряжений	91
2.6.3. Методы обработки внутренних цилиндрических поверхностей .....	102
<b>3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ     МАШИН .....</b>	<b>106</b>
3.1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ И СПОСОБЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ .....	106
3.1.1. Предварительная обработка заготовок .....	107
3.2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «КРУГЛЫЕ СТЕРЖНИ» (ВАЛЫ) .....	108
3.2.1. Характеристика валов .....	108
3.2.2. Технологические задачи .....	108
3.2.3. Материалы и заготовки валов .....	109

3.2.4. Основные схемы базирования .....	110
3.2.5. Обработка ступенчатых валов .....	112
3.2.6. Особенности обработки кулачковых, эксцентриковых и коленчатых валов .....	113
3.2.7. Особенности изготовления крупногабаритных валов	115
3.2.8. Методы отделочной обработки наружных поверхностей валов .....	115
3.2.9. Методы повышения качества поверхностного слоя деталей .....	118
3.2.10. Типовой маршрут изготовления вала .....	120
<b>3.3. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «ПОЛЫЕ ЦИЛИНДРЫ» (ВТУЛКИ) .....</b>	<b>121</b>
3.3.1. Общая характеристика втулок .....	121
3.3.2. Технологические задачи .....	122
3.3.3. Материалы и заготовки для втулок .....	122
3.3.4. Методы обработки внутренних цилиндрических поверхностей .....	122
3.3.5. Методы отделочной обработки основных отверстий втулок .....	124
3.3.6. Типовые маршруты изготовления втулок .....	127
3.3.7. Технология изготовления деталей класса «диски» ....	128
3.3.8. Типовые маршруты изготовления дисков (фланцев)	128
<b>3.4. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ...</b>	<b>130</b>
3.4.1. Общая характеристика зубчатых колес и передач .....	130
3.4.2. Материалы и заготовки для зубчатых колес .....	131
3.4.3. Основные методы формообразования зубьев зубчатых колес .....	131
3.4.4. Основные методы отделочной обработки зубчатых колес .....	132



3.4.5. Типовой маршрут изготовления зубчатого колеса ....	134
<b>3.5. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ</b> .....	136
3.5.1. Характеристика корпусных деталей .....	136
3.5.2. Материалы и заготовки для изготовления корпусов ...	136
3.5.3. Основные схемы базирования .....	136
3.5.4. Методы обработки поверхностей корпусов. Обработка плоскостей .....	138
3.5.5. Методы обработки поверхностей корпусов. Обработка основных отверстий .....	140
3.5.6. Обработка разъемных и неразъемных корпусов .....	142
3.5.7. Типовой маршрут изготовления корпуса .....	143
<b>3.6. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «НЕКРУГЛЫЕ СТЕРЖНИ» (РЫЧАГИ)</b> .....	144
3.6.1. Характеристика рычагов .....	144
3.6.2. Материалы и заготовки рычагов .....	145
3.6.3. Типовой маршрут изготовления рычага .....	145
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	147
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	148
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	151

Учебное электронное издание

ШУБИН Игорь Николаевич  
ПАСЬКО Татьяна Владимировна

# ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В ДВУХ ЧАСТЯХ

ЧАСТЬ 1

Учебное пособие

Редактирование И. В. Калистратовой  
Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова  
Обложка, упаковка, тиражирование И. В. Калистратовой

**ISBN 978-5-8265-2670-5**



9 785826 526705

Подписано к использованию 31.10.2023.  
Тираж 50 шт. Заказ № 137

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14  
Тел./факс (4752) 63-81-08.  
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru