

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования Амурский государственный университет (ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ТЕОРИЯ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ
сборник учебно-методических материалов для специальности 24.05.01 Проектирование,
производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов

Благовещенск 2017 г.

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
факультета инженерно-физического
Амурского государственного университета

Составитель: Соловьев В. В.

Теория резания металлов: сборник учебно-методических материалов для специальности
24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических
комплексов» – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.- 137 с.

Рассмотрен на заседании кафедры Стартовые и технические ракетные комплексы
«25» мая 2017г., протокол № 9.

© Амурский государственный университет, 2017

© Соловьев В. В., составление, 2017

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЛЕКЦИЯ 1

1. Основные положения и понятия в технологии машиностроения

В природе существует ничтожно малое количество предметов, которые может использовать человек непосредственно без преобразования. Поэтому человеку приходится приспособлять предметы природы для удовлетворения своих потребностей.

Современный человек стремится преобразования предметов природы выполнять с помощью машин.

Человеческое общество постоянно испытывает потребности в новых видах продукции, либо в сокращении затрат труда при изготовлении освоенной продукции. Эти потребности могут быть удовлетворены с помощью новых технологических процессов и новых машин. Таким образом, стимулом к созданию новой машины всегда является новый технологический процесс.

Машина полезна лишь, если она обладает требуемым качеством и, т.о., способна удовлетворять потребность людей.

Ресурсы труда в жизни человеческого общества представляют собой наивысшую ценность.

Создавая машину, человек ставит перед собой две задачи:

1. создать машину качественной
2. затратить меньшее количество труда при создании машины

Замысел новой машины возникает при разработке технологического процесса изготовления продукции, в производстве которой возникла потребность. Этот замысел выражается в формулировке служебного назначения, которая является исходным документом для проектируемой машины.

Процесс создания машины состоит из двух этапов:

1. проектирование
2. изготовление

В результате проектирования появляются чертежи машины. В результате изготовления с помощью производственного процесса появляется машина.

Второй этап и составляет основную задачу технологии машиностроения. Создание машины можно представить в виде схемы (рис.1.1). Изготовление машины связано с использованием различных способов обработки металлов.

История возникновения металлообработки в России мало исследована, однако известно, что:

- в X в. Русские ремесленники обладали высокой техникой изготовления оружия, предметов обихода и т.п.;
- в XII в. Русские оружейники применяли сверлильные и токарные устройства с ручным приводом и вращательным движением инструмента или заготовки;
- в XIV – XVI в.в. использовались токарные и сверлильные устройства с приводом от ветряной мельницы;
- в XVI в. в селе Павлове на Оке и в окрестностях г. Тулы существовала металлообрабатывающая промышленность;
- А.И.Нартов (1718—1725) создал механический суппорт для токарного станка;

- М.В. Сидоров (1714) на тульском оружейном заводе создал «вододействующие» машины для сверления оружейных стволов;
- Яков Батищев построил станок для одновременного сверления 24 ружейных стволов;
- М.В. Ломоносов (1711-1765) построил лоботокарные, сферотокарные и шлифовальные станки;
- И.И. Ползунов (1728-1764) построил цилиндрорасточные и др. станки для обработки деталей паровых котлов;
- И.П. Кулибин (1735-1818) построил станки для изготовления зубчатых колес часовых механизмов;
- в конце XIX и начале XX в.в. на некоторых предприятиях начали указывать на рабочих чертежах допуски на изготовление деталей.

Зарождение технологии машиностроения, как отрасли науки связывают появлением трудов, содержащих описание опыта производства процесса.

Впервые сформулировал положение о технологии и определил, что «технология – наука о ремеслах и заводах» в 1804 г. Академик В.М. Севергин. А в 1817 г. Впервые был изложен опыт производства профессором Московского университета И.А. Двигубским в книге «Начальные основания технологии или краткое описание работ, на заводах и фабриках производимых».

Дальнейшее описание выполнено Тиме И.А. (1838-1920 г.г.) в первом капитальном труде «Основы машиностроения. Организация машиностроительных фабрик в техническом и экономическом отношении и производство в них работ», вышедшим в 1885 г. Позже Гавриленко А.П. (1861-1914г.г.) создал курс «Технология металлов».

Затем появились работы не просто обобщающие опыт, но и выявляющие общие зависимости и закономерности. Соколовский А.П. в 1930-1932 г.г. издал первый труд по технологии машиностроения. В 1933 г. Появился труд Каширина А.И. «Основы проектирования технологических процессов» и «Теория размерных цепей», разработанная Балакшиным Б.С., а в 1935г. – «Технология автотракторостроения», в котором Кован В.М. и Бородачев Н.А. занимались анализом качества и точности производства. Исследованием жесткости, применительно к станкам, в 1936 г. занимался Вотинов К.В. Работы Зыкова А.А. и Яхина А.Б. положили начало анализу причин возникновения погрешностей при обработке. В 1959 г. Кован В.М. разработал методику расчета припусков. Исследования в области технологии машиностроения продолжили Глейзер Л.А., Корсаков В.С., Колесов И.М., Чарнко Д.В. и др.,

Технология машиностроения как наука (в современном понимании) прошла в своем развитии несколько этапов. Маталин А.А., автор одного из учебников по технологии машиностроения, выделяет четыре этапа.

Первый этап (до 1929-1930 г.г.) характеризуется накоплением отечественного и зарубежного производственного опыта изготовления машин. Публикуются описания процессов обработки различных деталей, применяемого оборудования и инструментов. Издаются руководящие и нормативные материалы ведомственных проектных организаций страны.

Второй этап (1930-1941 г.г.) характеризуется обобщением и систематизацией накопленного производственного опыта и началом разработки общих научных принципов построения технологических процессов.

Третий этап (1941-1970 г.г.) отличается интенсивным развитием технологии машиностроения, разработкой новых технологических идей и формированием научных основ технологической науки.

Четвертый этап – с 1970 г. По настоящее время отличается широким использованием достижений фундаментальных и общинженерных наук для решения теоретических проблем и практических задач технологии машиностроения.

Современное представление технологии машиностроения – это отрасль технической науки, которая изучает связи и закономерности в производственных процессах изготовления машин.

Конструкция любой машины – сложная система двух видов сопряженных множеств связей:

1. свойств материалов;
2. размерных.

Для реализации такой системы связей должен быть создан и осуществлен производственный процесс, который представляет собой другую систему сопряженных множеств связей:

1. свойств материалов (нужны для создания аналогичных связей в машине во время производственного процесса);
2. размерных;
3. информационных (для управления производственным процессом);
4. временных и экономических (производственный процесс не может осуществляться вне времени и без затрат живого и овеществленного труда).

Таким образом, создание машины сведены к построению двух систем связей (рис.1.2):

1. конструкции машины;
2. производственного процесса изготовления.

1.1. Понятие о машине и ее служебное назначение

Машина- устройство, предназначенное для действия в нем сил природы сообразно потребностям человека.

В настоящее время понятие «машина» имеет ряд смыслов:

- машина — механизм или сочетание механизмов, выполняющих движение для преобразования энергии, материалов или производства – с точки зрения механики;
- машина – доменная печь (Менделеев Д.И.);
- машина (с появлением ЭВМ) – механизм или сочетание механизмов, осуществляющих определенные целесообразные движения для преобразования энергии, выполнения работы или же для сбора, передачи, хранения, обработки и использования информации.

И, наконец, с точки зрения технологии машиностроения: машина является либо объектом, либо средством производства.

Поэтому машина – система, созданная трудом человека, для качественного преобразования исходного продукта в полезную для человека продукцию (рис.1.3).

Исходный продукт процесса – предметы природы, сырье или полуфабрикат.

Сырье – предмет труда, на добычу или производство которого, был затрачен труд.

Полуфабрикат – сырье, которое подвергалось обработке, но не может быть потреблено как готовый продукт.

Продукция – это результат производства в виде сырья, полуфабриката, созданных материальных и культурных благ или выполненных работ производственного характера

Каждая машина создается для выполнения определенного процесса, т.е. имеет свое, строго определенное предназначение, иными словами — свое служебное назначение.

Под служебным назначением машины понимают четко сформулированную задачу, для решения которой предназначена машина.

Формулировка служебного назначения машины должна содержать подробные сведения, конкретизирующие общую задачу и уточняющие условия, при которых эта задача может быть решена. Например, автомобиль или обувь:

Автомобиль Обувь

Сведений только о перевозке грузов недостаточно, чтобы представить нужный автомобиль. Необходимо знать: характер грузов, их массу и объем, условия, расстояние и скорость перевозки, состояние дорог, климат, внешний вид и т.д. Сведения о защите ног недостаточно, чтобы удовлетворить потребность в обуви. Необходимо знать: размер, климат, время года, состояние дорог, внешний вид и т.д.

Служебное назначение машины описывают не только словесно, но и системой количественных показателей, определяющих ее конкретные функции, условия работы и т.д. Формулировка служебного назначения машины является важнейшим документом в задании на ее проектирование.

1.2. Качество и экономичность машины

Машина (как рассматривали выше) либо средство производства, либо объект производства – продукция. Поэтому машина, являясь одной из разновидностей продукции, обладает качеством и экономичностью.

Под качеством машины понимают совокупность ее свойств, обуславливающих способность выполнять свое служебное назначение. К показателям качества машины относят те, которые характеризуют меру полезности машины, т.е. ее способность удовлетворять потребности людей в соответствии со своим назначением. К ним относятся:

- качество продукции производимой машиной;
- производительность;
- надежность;
- долговечность (физическая и моральная);
- безопасность работы;
- удобство управления;
- уровень шума;
- КПД;
- степень механизации и автоматизации;
- техническая эстетичность и т.п.

Проектирование машины, ее изготовление, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт связано с конкретными затратами труда и материалов, энергии, технических средств. Все затраты образуют стоимостное свойство машины – ее экономичность.

где: — затраты на проектирование;

— затраты на изготовление

— затраты на эксплуатацию;

— затраты на техническое обслуживание;

- затраты на ремонт;

— количество продукции, произведенной машиной за ее срок службы.

Между качеством и экономичностью машины существуют связи, приводящие к влиянию одних на другие. Например:

- повышение качества по любому показателю связано с увеличением ее стоимости;
- в то же время повышение уровня надежности машины, сокращает затраты на устранение отказов, технического обслуживания и ремонт.

Потребление машиной энергии, топлива, материалов при эксплуатации, в известной мере, характеризующее экономичность машины, во многом зависит от качества ее изготовления и т.п.

Показатели качества отражают степень пригодности, полезности, те блага, которые извлекает человек, используя свою машину.

Экономичность – цена этих благ, их стоимость.

Качество машин обеспечивается уровнем проектных решений, от которого зависит техническое совершенство конструкции машины и технологией, определяющей качество сборки и отделки машины.

Экономичность машины зависит от технического совершенства конструкции машины и технологии ее изготовления. Стоимость машины зависит от качества, количества и

стоимости материалов, выбранных конструктором в процессе проектирования. Конечные затраты на материалы, входящие в себестоимость, можно определить лишь уровень после осуществления технического процесса ее изготовления.

Уровень унификации и технологичности машины определяет конструктор. Влияние этих факторов на себестоимость машины проявляется не прямым путем, а через технологию ее изготовления. Эти же факторы оказывают влияние на затраты по технологическому обслуживанию и ремонту.

Экономическими показателями являются потребление машиной энергии, потребление машиной топлива, потребление машиной материалов в процессе эксплуатации.

Но вместе с тем, на значение этих показателей влияет качество реализации технологического процесса и т.д. Таким образом, обеспечение качества и экономичность машины в процессе ее создания является общей задачей конструктора и технолога.

Проблема создания качественных и экономичных машин является важнейшей и наиболее сложной. Сложно не только создание конструкции машины, но и обеспечение ее качества и экономичности при конструировании и изготовлении, так как любая машина создается для выполнения процесса, наделенного вероятностными свойствами, а изготовление сопровождается явлениями случайного характера.

ЛЕКЦИЯ 2

2. Положение теории вероятности и математической статистики, используемые в технологии машиностроения

2.1. Основные положения

Случайная величина, которая в зависимости от случая принимает те или иные значения с определенной вероятностью. Случайные величины могут иметь различный характер. Случайная величина может быть, например:

- скалярной величиной;
- вектором;
- функцией;
- и др.

С каждой случайной величиной можно связать определенное событие.

Событие, которое может произойти или не произойти в результате данного опыта, называется случайным. Количественной оценкой возможности появления случайного события A служит вероятность $P(A)$.

Вероятностью события A называют отношение числа случаев m , благоприятствующих этому событию, к числу n всех возможных случаев в данном опыте:

$$P(A) = \frac{m}{n}.$$

При этом все случаи должны быть равно возможны, несовместимы и независимы.

Вероятность события является объективной мерой его возможности и определяется в предположении проведения очень большого числа опытов, в результате которых появляется данное событие, поэтому эта величина имеет теоретический характер.

Практической **характеристикой возможности** случайного события A служит частота события $m(A)$, представляющая собой отношение частоты f появления события A к общему числу N проведенных опытов:

$$m(A) = \frac{f}{N}$$

Между вероятностью и частотой какого-либо события существует приближенное равенство:

$$P(A) \approx m(A) \approx \frac{m}{n} \approx \frac{f}{N},$$

которое будет тем точнее, чем больше число опытов.

Характеристикой случайной величины служит **закон ее распределения**.

Под распределением случайной величины понимают совокупность ее значений, расположенных в возрастающем порядке, с указанием либо их вероятностей в теоретическом, либо частостей в практическом распределении.

Практическое распределение случайных величин дискретного характера можно представить в виде таблицы (табл.2.1) или графика 2.1, составленного на основании таблицы 2.1.

Таблица 2.1. Практическое распределение дискретной случайной величины

X	1	2	3	4	5	
m(x _i)	1/20	3/20	8/20	5/20	3/20	$\sum_{i=0}^5 m(x_i) = 1$

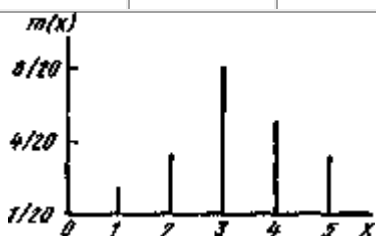


Рис.2.1. Распределение случайной дискретной величины

Распределение случайной величины непрерывного типа может быть также представлено в виде таблицы или графика. Для составления таблицы практического распределения непрерывной случайной величины в совокупности ее значений находят max и min и определяют разность между ними. Разность эта называется **полем рассеивания** ω случайной величины:

$$\omega = x_{\max} - x_{\min}.$$

Значения случайной величины, составляющие совокупность, делят на равные интервалы. Их число « k » определяют из отношения значения ω к избранному значению « α » интервала:

$$k = \frac{\omega}{\alpha}.$$

Относя каждое значение случайной величины к тому или иному интервалу, подсчитывают частоты ее значений в границах интервалов и определяют частоты значений x_i . Например. Пусть в партии валов из 100 штук диаметр одной из шеек $d_{\min} = 32,13$ мм, а другой $d_{\max} = 32,36$ мм. Тогда $\omega = 0,23$ мм.

При избранном значении интервала $\alpha = 0,04$ мм число k будет равно:

$$k = \frac{\omega}{\alpha} = \frac{0,23}{0,04} = 6.$$

Установив границы и подсчитав частоты, получают таблицу распределения значений d вала:

1)	32,13 – 32,16	3	0,03
2)	32,17 – 32,20	11	0,11
3)	32,21 – 32,24	36	0,36

4)	32,25 – 32,28	40	0,40
5)	32,29 – 32,32	6	0,6
6)	32,33 – 32,36	4	0,04

Графически практическое распределение непрерывной случайной величины может быть представлено либо гистограммой, либо практической кривой (полигоном) распределения (рис.2.2.).

Общей формой закона распределения случайной величины является ее функция распределения. Функцией распределения или интегральным законом распределения скалярной случайной величины X называют вероятность выполнения неравенства $X < x$:

$$F(x) = P(X < x),$$

где X – случайная величина,

x – возможные значения случайной величины.

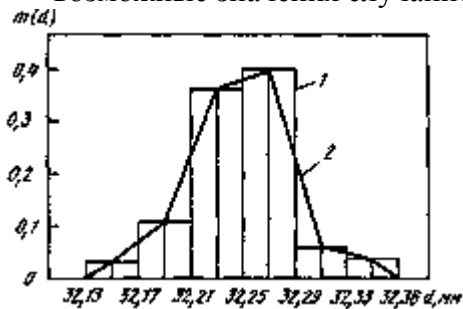


Рис.2.2. Гистограмма и практическая кривая распределения непрерывной случайной величины

Для **дискретной случайной** величины $F(x)$ может быть найдено по таблице или графику распределения для любого значения x , как сумма вероятностей тех значений X , которые лежат влево от точки с координатой x . В рассмотренном выше примере распределения случайной величины для $X < 4$.

$$F(x) = P(X < 4) = P(x = 1) + P(x = 2) + P(x = 3) = \frac{1}{20} + \frac{3}{20} + \frac{8}{20} = \frac{12}{20}.$$

Интегральный закон распределения можно представить в виде графика $F(x)$. Для дискретной случайной величины график будет иметь вид ступенчатой кривой.

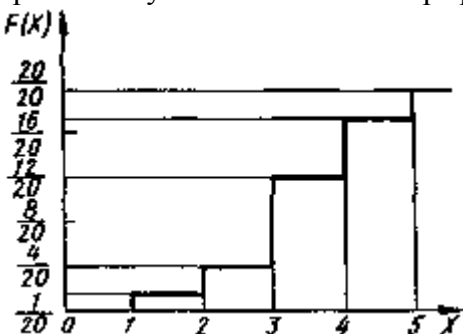


Рис.2.3. Интегральный закон распределения дискретной случайной величины

Имея функцию распределения дискретной случайной величины можно вычислить вероятность ее нахождения в границах от x_1 до x_2 :

$$P(x_1 \leq X < x_2) = F(x_2) - F(x_1).$$

Для **непрерывной случайной** величины график функции распределения будет иметь вид монотонно возрастающей кривой, а сама функция будет дифференцируемой.

Производную $f(x) = F'(x)$ функции распределения $F(x)$ непрерывной случайной величины X называют **плотностью вероятности** или дифференциальным законом распределения этой случайной величины.

Графически этот закон распределения может быть представлен кривой линией, построенной в координатах $x, f(x)$ (рис.2.4).

Зная плотность вероятности, можно определить вероятность того, что значение случайной величины X окажется в интервале от a до b .

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx$$

В данном случае вероятность равна площади участка с основанием « ab », ограниченного сверху кривой плотности вероятности. При $a = -\infty$ и $b = +\infty$:

$$P(-\infty < X < +\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$$

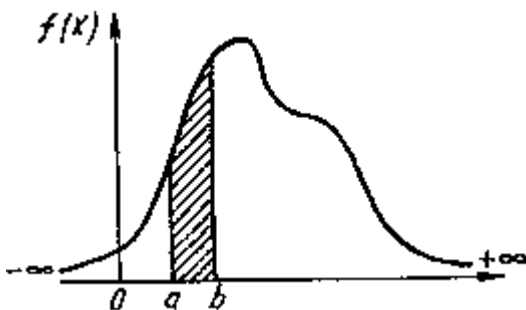


Рис.2.4. Дифференциальный закон распределения непрерывной случайной величины

Дифференциальный закон или плотность вероятности дает полную картину распределения случайной величины. Однако такая полная характеристика не всегда необходима. В ряде теоретических и практических задач бывает достаточным знание отдельных числовых характеристик:

- определяющих положение центра группирования случайной величины $M(x)$;
- ее рассеяние около этого центра.

Для характеристики положения центра группирования используют **математическое ожидание** и **среднее арифметическое значение** случайной величины:

а) для дискретной случайной величины:

$$m_x = \sum_{i=1}^n x_i P(x_i)$$

где n – число возможных значений случайной величины x ;

б) для непрерывной случайной величины:

$$m_x = M[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx$$

где $M(x)$ – характеристика теоретического распределения случайной величины.

На практике положение центра группирования $M(x)$ характеризует среднее арифметическое значение случайной величины:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m x_i f_i$$

где f_i – частота отдельных значений x_i ,

m – число отдельных значений x_i ,

n – общее количество значений x_i .

Характеристикой рассеяния значений случайной величины около центра группирования $M(x)$ является дисперсия. Однако чаще используют не саму дисперсию, а положительный квадратный корень из нее, называемый **средним квадратичным отклонением**:

а) дисперсия и среднее квадратичное отклонение **дискретной случайной величины**

$$D_x = \sum_{i=1}^n (x_i - m_i)^2 P(x_i),$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n [x_i - M(x)]^2 P(x_i)};$$

б) дисперсия и среднее квадратичное отклонение **непрерывной случайной величины**

$$D_x = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx$$

$$\sigma_x = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} [x - M(x)]^2 f(x) dx}$$

Для практических распределений среднее квадратическое отклонение определяется по формуле:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 f_i}{n}}$$

Размерность σ_x совпадает с размерностью самой случайной величины.

Таким образом, чтобы охарактеризовать распределение случайной величины надо иметь как минимум две числовые характеристики:

1. m_x или \bar{X} – определяют положение центра группирования;
2. D_x или σ_x – разброс значений случайной величины около центра группирования.

Комплектом характеристик распределения следует считать также:

· поле рассеяния случайной величины:

$$\omega_x = x_{\max} - x_{\min};$$

· — координату середины поля рассеяния:

$$\Delta_{\omega x} = 0,5(x_{\max} - x_{\min}) + x_{\min}.$$

В симметричных распределениях центр группирования $M(x)$ оказывается совмещенным с $\Delta_{\omega x}$.

2.2. Законы распределения

Распределение случайных величин в зависимости от условий могут подчиняться вполне определенным законам: Гаусса, равной вероятности, Симпсона. Наибольшее практическое значение в технологии машиностроения имеет дифференциальная функция закона нормального распределения (закон Гаусса), для которого плотность вероятности или дифференциальная функция распределения:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}}{\sigma_x \sqrt{2\pi}}$$

где x – переменная случайная величина;

σ_x – среднее квадратичное отклонение x от m_x ;

m_x – математическое ожидание величины x .

Дифференциальная функция **закона нормального распределения** графически изображается холмообразной кривой, симметричной относительно центра группирования, представленной величинами m_x и \bar{X} (рис.2.5). Координата центра группирования определяет положение кривой относительно начала отсчета, а параметр σ_x (среднее квадратичное отклонение) – ее форму и размах.

Функция или интегральный **закон нормального распределения** в общем виде можно записать:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} dx$$

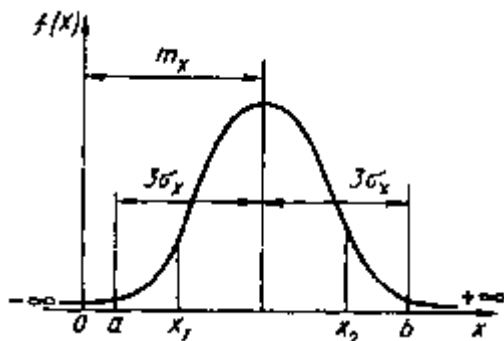


Рис.2.5. Дифференциальный закон нормального распределения случайной величины

Закон **равной вероятности** встречается, когда наряду со случайными факторами, вызывающими рассеяние, действует доминирующий систематический фактор непрерывно или равномерно изменяющийся во времени положение центра группирования $M(x)$. Графически такое распределение случайной величины отображается прямоугольником (рис.2.6).

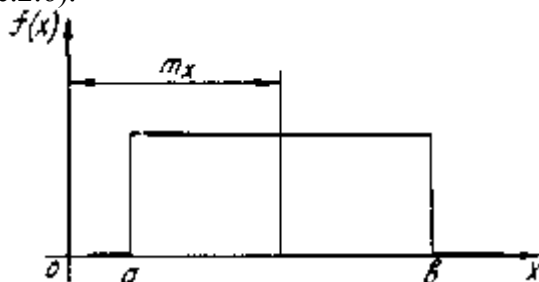


Рис.2.6. Распределение случайной величины по закону равной вероятности

Математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратичное отклонение соответственно равны:

$$m_x = \frac{(b+2)}{2};$$

$$D_x = \frac{(b-2)^2}{12};$$

$$\sigma_x = \frac{(b-a)}{2\sqrt{3}}.$$

К распределению по **закону Симпсона (закон треугольника)** приводит сложение двух случайных величин, подчиненных закону равной вероятности при одинаковых параметрах рассеяния. Графически кривая рассеяния имеет вид равностороннего треугольника (рис.2.7).

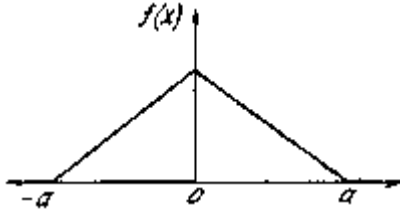


Рис.2.7. Распределение случайной величины по закону Симпсона

Математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратичное отклонение соответственно равны:

$$m_x = 0;$$

$$D_x = \frac{a^2}{6};$$

$$\sigma_x = \frac{a}{\sqrt{6}}.$$

Если рассматривать распределение по законам Симпсона и равной вероятности как отклонение от закона нормального распределения, то можно отразить и количественную сторону этих отклонений с помощью коэффициента λ , который называется относительным средним квадратичным отклонением:

$$\lambda = \frac{2\sigma_x}{\omega_x}.$$

Значения коэффициента λ для рассмотренных законов распределения приведены в табл.2.3. На практике чаще пользуются значением коэффициента возведенного в квадрат.

Таблица 2.3. Значения относительного среднего квадратичного отклонения

Закон распределения	σ_x	ω_x	λ	$\lambda^2 (\lambda^2)$
Нормальный (Гаусса)	σ_x	$6\sigma_x$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{9}$
Симпсона	$\frac{a}{\sqrt{6}}$	$2a$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$	$\frac{1}{6}$
Равной вероятности	$\frac{b-a}{2\sqrt{3}}$	$b-a$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{3}$

ЛЕКЦИЯ 3

3. Производственный и технологический процессы

3.1. Свойства и характеристики процесса

Процесс (в широком смысле слова) – последовательные изменения какого-либо предмета (явления) или совокупность последовательных действий, направленных на достижение определенного результата.

Реальный ход процесса, выполняемого машиной, отличается от идеального из-за непрерывно меняющихся условий. Не остаются постоянными во времени качество исходного продукта, количество сообщаемой энергии, изменяется состояние окружающей среды и самой машины, что приводит к нестабильности качества, количества продукции, производимой в единицу времени, и ее стоимости (рис.4.1).

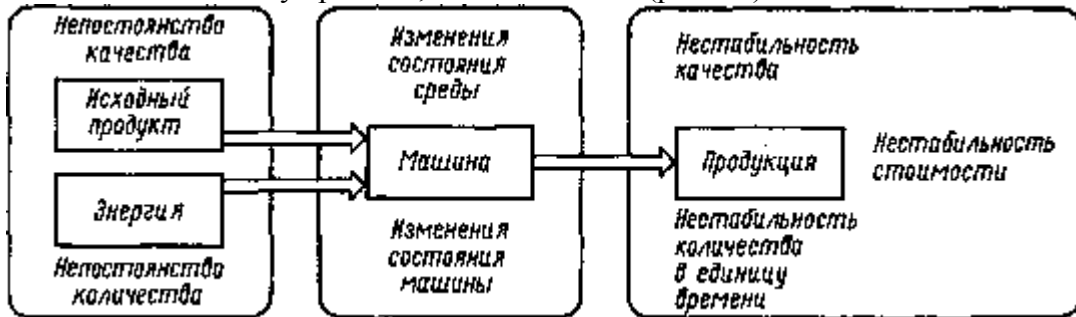


Рис. 3.1. Нарушения намеченного хода процесса

Если в промежутке времени $t_1 - t_2$ проследить за изменением какой-либо характеристики X исходного продукта, энергии, состояния внешней среды, количества, качества и стоимости продукта, то можно построить график, подобный представленному на рис.4.2. Для любого другого промежутка времени $t_3 - t_4$, равного $t_1 - t_2$, получился бы график по виду отличный от первого, что на рисунке показано путем наложения второго графика на первый.

Таким образом, для любого момента времени t_x (как и для других моментов) невозможно предсказать значение X_k , то есть X_k является случайной величиной, а зависимость $X(t)$ – случайной функцией.

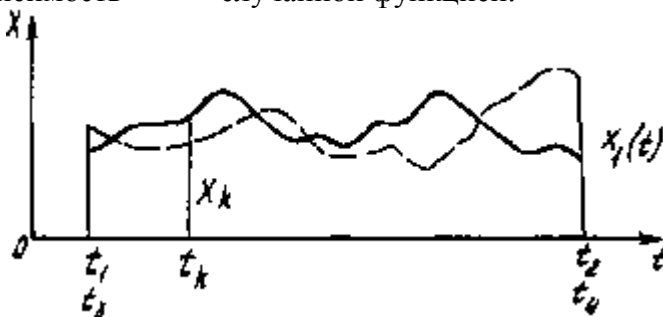


Рис. 3.2. График случайной функции $x(t)$

Случайной функцией $X(t)$ называют такую функцию аргумента t , значение которой при любом значении t является случайной величиной X .

Роль аргумента на практике часто играет: время, путь, порядковый номер и т.д. Случайную функцию можно рассматривать как бесконечную последовательность значений случайной величины, зависящую от одного или нескольких непрерывно изменяющихся параметров t . Каждому значению параметра (параметров) соответствует одно значение $X(t)$ от величины X . Все вместе случайные величины X_t определяют случайную функцию $X(t)$. Если аргумент случайной функции может принимать любые значения в заданном интервале, то в этом случае случайную функцию называют

случайным процессом. Если же значения аргумента дискретны, то случайную функцию называют случайной последовательностью. Графическое отображение случайной последовательности в технологии машиностроения получило название точечной диаграммы (рис.4.3).

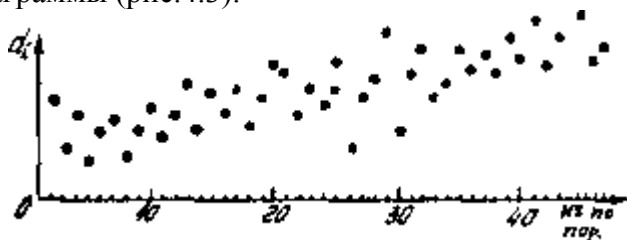


Рис.3.3. Точечная диаграмма обработки деталей на станке

Для характеристик случайной функции при изменении аргумента в области $t_1 - t_n$ требуется выявить n — мерный дифференциальный закон $f(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n)$, совместного распределения ее случайных ординат. Существующие способы построения многомерных законов распределения неудобны из-за громоздкости. На практике поэтому пользуются вместо законов их отдельными параметрами. Одним из таких параметров является математическое ожидание.

Математическим ожиданием случайной функции $X(t)$ называют такую функцию $m_x(t)$, значение которой при каждом данном значении аргумента t равно математическому ожиданию значения случайной величины X при этом t :

$$m_x(t) = M[X(t)]$$

Математическое ожидание случайной функции представляет собой некоторую среднюю функцию, около которой группируются и относительно которой колеблются все возможные реализации случайной функции (рис.4.4):

$$m_x(t) = M[X(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x, t) dx$$

где $f(x, t)$ — одномерная плотность вероятности.

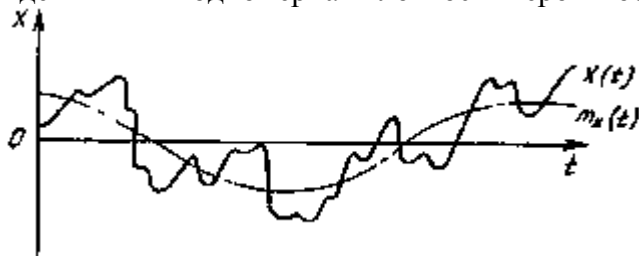


Рис.3.4. Геометрический смысл математического ожидания

Мерой рассеяния значения случайной функции является дисперсия.

Дисперсия случайной функции — функция, значения которой при каждом данном значении аргумента равно дисперсии значений случайной величины X при этом значении аргумента. Дисперсия случайной функции.

$$D_x(t) = D[X(t)] = M[X(t) - m_x(t)]^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - m_x(t)]^2 f(x, t) dx$$

Математическое ожидание и дисперсия не являются полными характеристиками случайной функции, так как не отражают характер изменения значений случайных ординат во времени. Две случайные функции, имеющие одинаковые $m_x(t)$ и $D_x(t)$, а интенсивность изменения значений случайных ординат у них различна (рис.4.5).

Для того чтобы учесть степень изменчивости случайной функции с изменением аргумента необходимо определить корреляционные связи между парами ее ординат.

Корреляционная функция $K_x(t_i, t_j)$ является функцией двух независимых переменных:

$$K_x(t_i, t_j) = M\{[X(t_i) - m_x(t_i)][X(t_j) - m_x(t_j)]\} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} [x_i - m_x(t_i)][x_j - m_x(t_j)] f(x_i, x_j, t_i, t_j) dx_i dx_j.$$

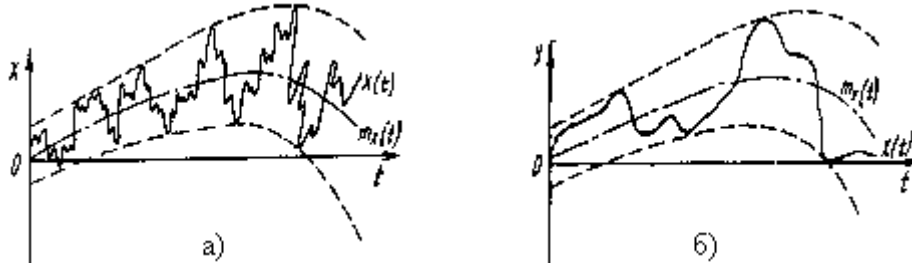


Рис.3.5. Две случайные функции, отличающиеся интенсивностью изменения во времени их ординат

Случайные процессы и последовательности подразделяются на группы по ряду признаков, они могут быть:

- стационарные и нестационарные;
- нормальные и ненормальные;
- марковские и немарковские (в зависимости от поведения случайной функции от ее значений в предшествующий промежуток времени).

Наряду с $m_x(t), D_x(t), K_x(t_i, t_j)$ на практике часто рассеяние случайной величины характеризуются величиной ω_t , называемой **мгновенным полем рассеяния**. Поле рассеяния случайной величины X в совокупности случайных величин определяется:

$$\omega = x_{\max} - x_{\min}.$$

Для зафиксированного момента (мгновения) процесса такой совокупности быть не может, поскольку моменту может соответствовать лишь единственное значение случайной величины X . Однако о пределах, в которых может проявиться это значение, можно судить по разности крайних значений ординат, находящихся поблизости от момента t_k процесса. Это позволяет определить ω_{t_k} через разность значений таких ординат:

$$\omega_{t_k} = x_{\max g} - x_{\min ж}$$

На точечной диаграмме, образующей случайную последовательность, мгновенное поле характеризует ширину полосы точек, в пределах которой наблюдается рассеяние значений X случайных ординат в интервале $\alpha - n$ изменения аргумента. Характеристику ω_t , как и дисперсию случайной функции, следует рассматривать как функцию t (рис.4.6).

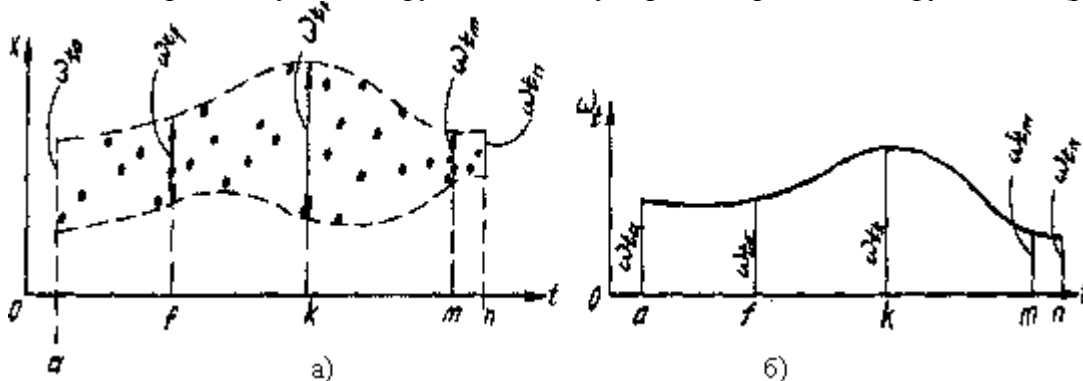


Рис.3.6. Геометрический смысл понятия «мгновенное поле рассеяния» ω_t : а) – точечная диаграмма; б) - ω_t как функция аргумента t

Положение мгновенного поля рассеяния характеризуют либо средним $\bar{X}(t)$ значением случайной функции, либо значением ординат Δ_{ω} середин мгновенных полей рассеяния.

Средним значением случайной функции следует считать такую функцию $\bar{X}(t)$, значения которой равны среднему значению \bar{X} возможных значений случайной величины X при данном значении аргумента.

Существуют различные приемы нахождения $\bar{X}(t)$ случайной функции. Часто пользуются приемом, основанным на использовании средних групповых значений случайной величины. При этом используется положение теории вероятностей о том, что рассеяние групповых \bar{X}_g значений случайной величины меньше в \sqrt{n} раз рассеяния значений самой случайной величины X , где n число значений, объединенных в группу:

$$\sigma_{\bar{X}_g} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

Значения группируются без нарушения последовательности по отношению к аргументу t . В каждой группе определяется \bar{X}_g , для представления об $\bar{X}(t)$ случайной функции, необходимо на средних групповых значениях построить кривую.

Другая характеристика положения мгновенного поля рассеяния – ордината Δ_{ω} его середины, рассматриваемая как функция аргумента t . В примере для момента t_k :

$$\Delta_{\omega_{t_k}} = 0,5(x_{\max g} - x_{\min g}) + x_{\min}$$

3.2. Понятие о точности

Любой процесс сопровождается действием большого количества случайных факторов, которые вызывают отклонения показателей качества и количества изделий, выпущенных в единицу времени, и их стоимости от стоимости расчетных значений. То есть, между расчетными и действительными результатами процесса всегда бывают расхождения. К тому же, определить действительные результаты можно с ошибками. Поэтому различают три вида значений любого показателя: номинальное или теоретическое (расчетное); действительное (объективно существующее); измеренное, то есть действительное значение, познанное с каким-то отклонением.

Например, в процессе изготовления изделия необходимо обеспечить некий показатель K (рис.4.7). При проектировании расчетами определяется этот показатель как $K_{\text{пр}}$. Однако в процессе изготовления и измерения появятся отклонения соответственно — $\Delta K_{\text{изг}}$ и $\Delta K_{\text{изм}}$.

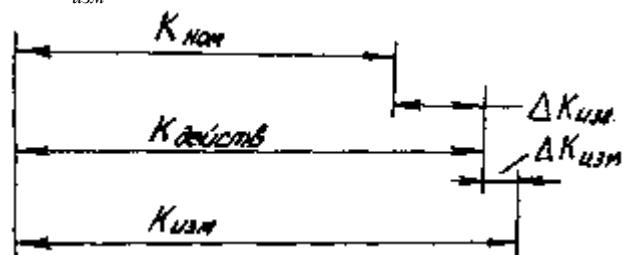


Рис.3.7. Три вида значений показателя K

Под точностью показателя K понимают степень приближения действительного значения показателя к его номинальному значению.

Под точностью измерения показателя K понимают степень приближения познанного показателя к его действительному значению.

Нельзя достичь абсолютной точности показателей, поэтому на отклонения показателей от идеала налагают ограничения. Границы допустимых отклонений показателя, предопределяемые требованиями к качеству, количеству или стоимости производимых изделий называются **допуском**. Допуск устанавливается в соответствии со служебным назначением изделия, (то есть потребности человека).

В процессе создания машины встречаются величины с различными свойствами (скалярные, векторные, функции и другие). Поэтому и отклонения величин и способы задания допуска должны соответствовать свойствам величин.

Для **скалярной величины** существует три способа задания допуска (рис.4.8).

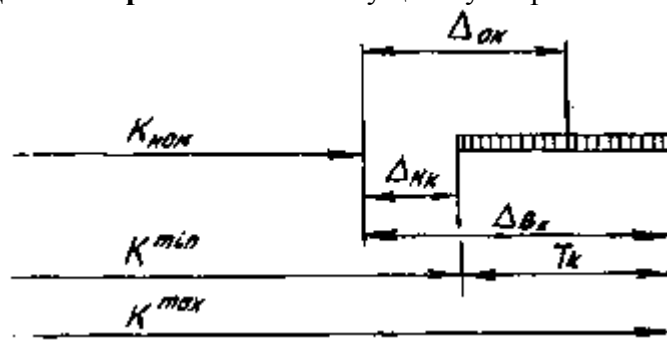


Рис.3.8. Три способа задания допуска, ограничивающего отклонения показателя K :

В табл.4.1 приведены формулы перехода от одной формы задания допуска к другой. Таблица 4.1. Формулы перехода от одной формы задания допуска к другой

Форма задания допуска	Переход к другим формам
Δ_{HA}, Δ_{BA}	$T_A = \Delta_{BA} - \Delta_{HA}; \Delta_{OA} = 0.5(\Delta_{HA} + \Delta_{BA})$ $A^{\min} = A_{ном} + \Delta_{HA}; A^{\max} = A_{ном} + \Delta_{BA}$
Δ_{OA}, T_A	$\Delta_{HA} = \Delta_{OA} - 0.5T_A; \Delta_{BA} = \Delta_{OA} + 0.5T_A$ $A^{\min} = A_{ном} + \Delta_{OA} - 0.5T_A; A^{\max} = A_{ном} + \Delta_{OA} + 0.5T_A$
A^{\min}, A^{\max}	$\Delta_{HA} = A^{\min} - A_{ном}; \Delta_{BA} = A^{\max} - A_{ном}$ $T_k = A^{\max} - A^{\min}; \Delta_{OA} = 0.5(A^{\min} + A^{\max} - 2A_{ном})$

Для **вектора** допуск задается в виде какой-либо геометрической фигуры, определяющей область, в пределах которой допустимо нахождение конца случайного вектора. Такую фигуру называют годографом. Например, случайный вектор R (рис.4.9). Графическое отображение допуска – окружность, ограничивающая отклонения ΔR вектора R ; Δ_{OR} – допустимое среднее значение R ; $\Delta_{OR_x}; \Delta_{OR_y}$ — допустимые средние значения его проекций. Площадь, ограниченную окружностью следует считать полем допуска T_R вектора R .

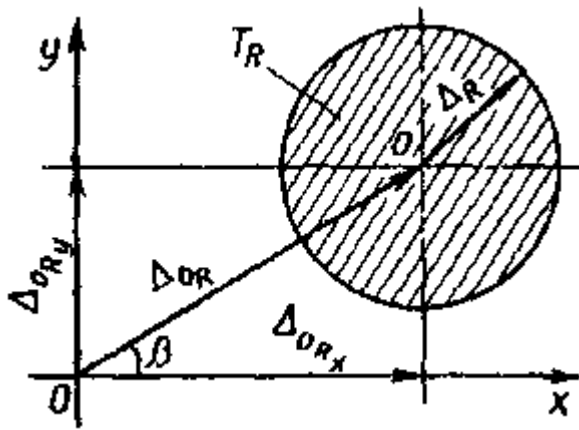


Рис.3.9. Допуск, ограничивающий отклонения случайного вектора R

Говоря о точности, различают требуемую (расчетную) и фактическую (познанную). Фактическая точность группы изделий (рис.3.10) по показателю A , являющемуся скалярной величиной, можно охарактеризовать одним из трех способов:

- $\Delta_A^{нБ}$ и $\Delta_A^{нМ}$ — наибольшим и наименьшим фактическим отклонениями;
- ω_A и $\Delta_{сА}$ — значениями поля рассеяния и координаты его середины;
- $A^{н}$ и $A^{м}$ — наименьшим и наибольшим фактическими значениями показателя.

Характеристика фактической точности показателя A у группы изделий будет более полной, если на основании практических данных построить кривую рассеяния, вычислить среднее арифметическое значение отклонений показателя, характеризующее положение центра группирования $M(X)_A$ отклонений, значения коэффициентов α_A и λ_A .

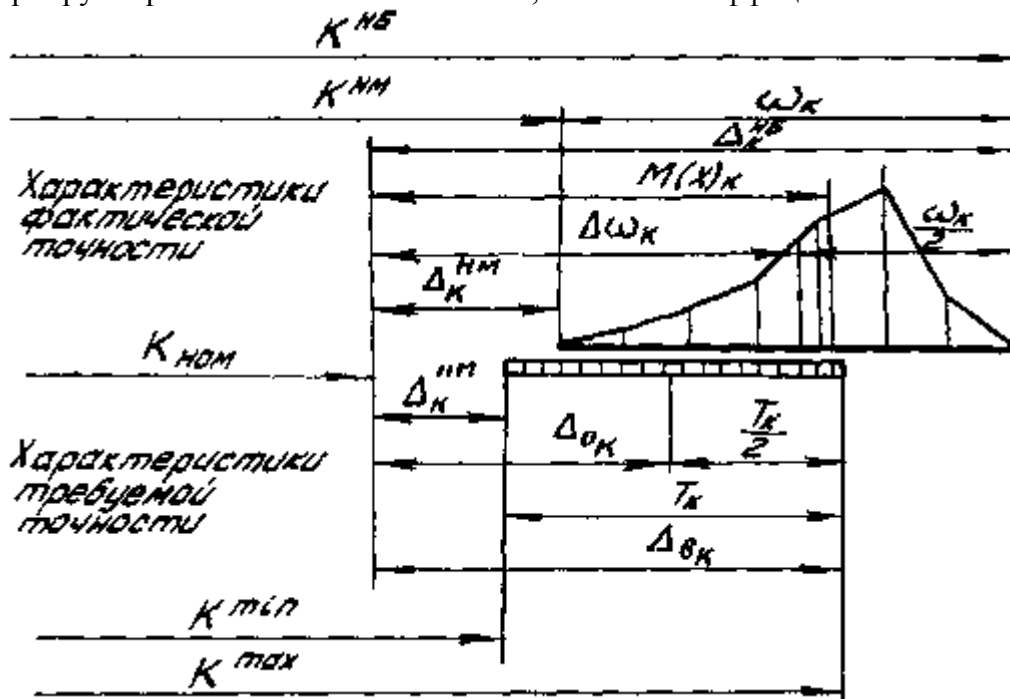


Рис.3.10. Величины, характеризующие требуемую и фактическую точность показателя

Сопоставление фактической и требуемой точности векторной величины может быть проведено наложением границ рассеяния значений вектора на границе допуска, заданного частью n -мерного пространства. На рис. 3.11 такое сопоставление сделано на примере двумерного вектора R .

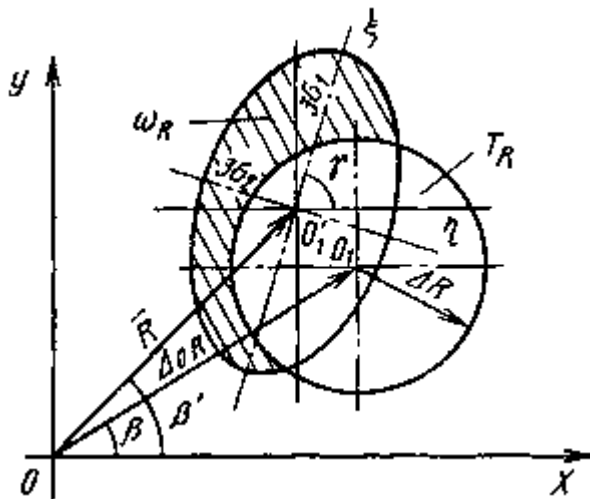


Рис.3.11. Характеристики требуемой и фактической точности случайного вектора R

Машина считается качественной при полном соответствии фактической точности показателей требуемой, то есть:

$$\Delta_{OA} = \Delta_{O'A'}$$

$$\omega_A \leq T_A;$$

Показатели качества машины (производительность, мощность, КПД, долговечность и другие) обеспечиваются в конструкции машины связями свойств материалов деталей и размерными связями. Поэтому при изготовлении машины необходимо обеспечить соответствие фактической точности требуемой и свойств материалов, и размерных связей. Служебное назначение машина выполняет с помощью исполнительных поверхностей и еще целого ряда поверхностей, принадлежащих деталям. Кроме исполнительных поверхностей у деталей различают: основные, вспомогательные и свободные поверхности. **Основные** поверхности (базы) определяют положение детали в машине. **Вспомогательные** поверхности определяют положение деталей, присоединяемых к рассматриваемой детали. **Свободные** поверхности завершают конструктивную форму детали. Качество детали определяется по соответствию свойств материала и геометрического образа детали своему идеальному прототипу. К свойствам материала детали относятся химический состав, структурное состояние, тепло- и электропроводность, прочность, упругость, твердость, распределение и знак остаточных напряжений, качество поверхностного слоя и др.

Представление о геометрическом образе детали дают форма и размеры поверхностей, расстояние между ними и их относительное угловое положение. Поэтому точность геометрического образа детали характеризуется тремя показателями.

- 1) Точность размеров и расстояний (d, l, b, H) (рис.3.12 а);
- 2) Точность относительного поворота (перпендикулярность и параллельность) (рис.3.12 б);

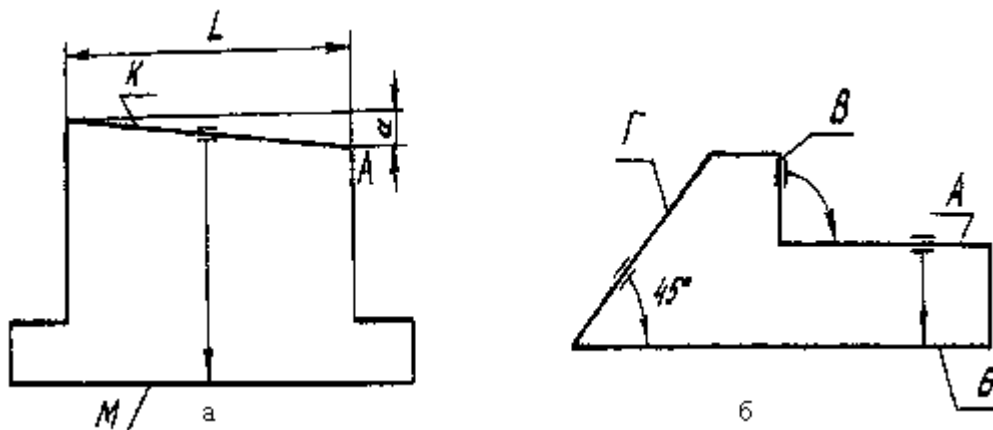


Рис.3.12. Оценка расстояния между двумя поверхностями (а) и оценка относительных поворотов (а, б)

3) Точность формы:

а) макроотклонения (рис.4.13а) – отклонения реальной поверхности от правильной геометрической формы в пределах ее габаритных размеров;

б) волнистость (рис.4.13 б)- периодические неровности поверхности, встречающиеся на участках протяженностью от 1 до 10 мм;

в) микроотклонения – микронеровности на участках протяженностью до 1мм называются шероховатостью (рис.4.13 в).

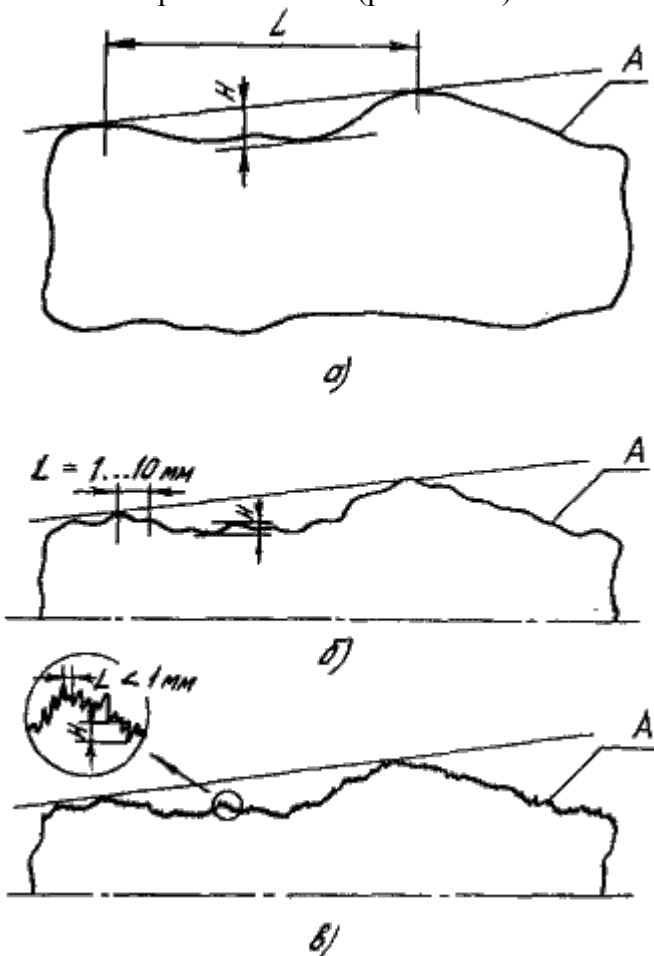


Рис.3.13. Отклонение формы поверхности детали: а-макрогеометрические; б-волнистость; в-микрогеометрические (шероховатость)

Между значениями отклонений всех трех показателей существуют качественные и количественные связи

Первые – отображают общую закономерность в соотношениях величин перечисленных отклонений, не затрагивая функциональную зависимость, имеющуюся между ними. Поэтому отклонения формы меньше отклонений относительного поворота, а последние, в свою очередь, меньше отклонений размеров и расстояний. Без соблюдения соотношений между значениями показателей точности детали возникает неопределенность оценки ее точности (рис.4.14).

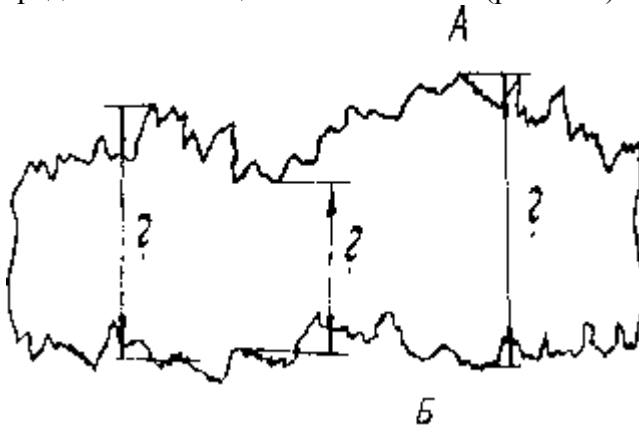


Рис.3.14. Неопределенность оценки точности детали без соблюдения соотношений между значениями показателей ее точности

Учитывается качественная связь следующим образом.

1. Допуски на размер больше;
2. Оценку точности геометрических показателей качества детали начинают с микроотклонений, волнистости и так далее.

В связи с этим обстоятельством ГОСТом 24643 установлено 16 степеней точности формы и относительных поворотов. В зависимости от соотношения между допуском на отклонения формы или относительного поворота установлены уровни относительной геометрической точности: А (нормальная точность)

$$T_{\text{формы относ. поворотов}} = 60\% T_{\text{разм.}} ;$$

В (повышенная точность)

$$T_{\text{формы относ. поворотов}} = 40\% T_{\text{разм.}} ;$$

С (высокая точность)

$$T_{\text{формы относ. поворотов}} = 25\% T_{\text{разм.}} .$$

ЛЕКЦИЯ 4

4. Производственный и технологический процессы изготовления машины. Характеристики процесса

4.1. Производственный и технологический процессы изготовления машины

Под **производственным процессом** понимается совокупность всех этапов которые проходят все исходные продукты на пути их превращения в готовую машину (получение заготовок, механическая обработка, термическая обработка, химико-термическая обработка, контроль, транспортировка, хранение, сборка и так далее).

По отношению к объекту производства различные этапы производственного процесса проявляют себя по-разному:

- одни из них меняют его качественное состояние (форму, размер, структуру, химический состав, внешний вид и тому подобное);
- другие (транспортирование, хранение, контроль и так далее) не оказывают таких воздействий, но нужны для осуществления производственного процесса.

Этапы производственного процесса, на протяжении которых происходят **качественные изменения** объекта производства, называются **технологическими процессами**. Например, технологический процесс изготовления деталей, сборки, окраски и тому подобное.

Можно говорить о производственном процессе не только завода, но и цеха, участка, если присутствуют различные этапы изготовления изделия.

Технологический процесс выполняется рабочими с помощью технологического оборудования, инструментов, приспособлений, размещенных в (помещении) пространстве. **Рабочее место** – часть пространства цеха (участка), предназначенная для выполнения **операции** одним или группой рабочих, в которой размещены оборудование, инструменты, приспособления.

Технологический процесс обычно делят на части.

Операция – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Операция является наименьшей частью технологического процесса, для которой разрабатывается технологическая документация, по которой ведется планирование и учет.

Необходимость деления технологического процесса на операции порождена двумя причинами:

1. физическими (невозможно обработать деталь с шести сторон; необходимо различное оборудование для чистовой и черновой обработки);
2. экономическими (целесообразность создания специального станка).

Переход – законченная часть операции, выполняется одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных режимах и установке заготовки.

Переход связан (при резании) с получением каждой поверхности. Например. Обработка отверстия может выполняться несколькими инструментами: сверлом – зенкером – разверткой – в этом случае необходимо три перехода. Растачивание трехступенчатого отверстия блоком резцов – один переход.

Различают переходы:

- **основные** – непосредственно связанные с осуществлением технологического воздействия (сверление, точение и тому подобное);
- **вспомогательные** – действия рабочего и механизмов, необходимые для выполнения основного перехода (установка и закрепление детали, смена приспособления, отвод, подвод и тому подобное).

Прием – законченная совокупность действий, направленных на выполнение перехода или его части и объединенных одним целевым назначением. Например, переход — «установить заготовку» включает в себя ряд действий:

взять заготовку из тары — переместить к приспособлению – забазировать – закрепить.

Переход при механической обработке может выполняться за один рабочий ход или несколько (черновая обработка, шлифование).

Рабочий ход (проход) – однократное относительное движение приспособления и заготовки, в результате которого с ее поверхности удаляется один слой материала, равный глубине резания (рис.4.1).

Чтобы обработать заготовку ее необходимо расположить относительно рабочих органов станка и закрепить (зафиксировать).

Процесс придания требуемого положения детали и закрепление называется **установом**. Для полной обработки детали нужно, как правило, несколько установов.

Для выполнения отдельных частей операции или технологического процесса в целом бывает необходимо перемещение объекта производства в пространстве вместе с приспособлением

Позиция – каждое новое фиксированное положение объекта производства совместно с приспособлением, в котором установлен объект, относительно рабочих органов станка.

При выполнении любой части операции или технологического процесса затрачивается какое-то количество труда рабочих надлежащей квалификации. Затраты эти измеряются продолжительностью, то есть временем.

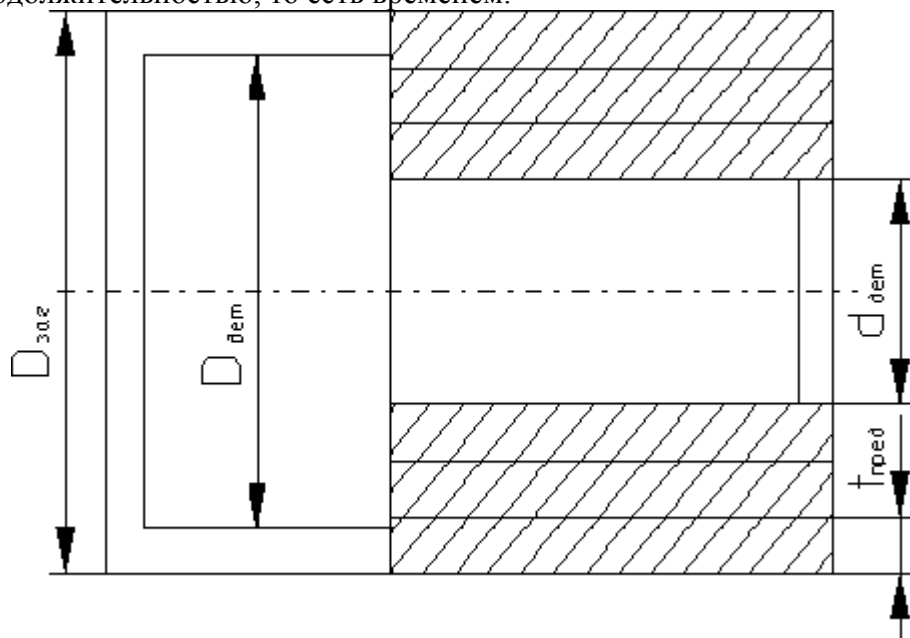


Рис. 4.1. Рабочий проход

Трудоемкость – количество времени, затрачиваемое работающим при нормальной интенсивности труда на выполнение технологического процесса или его части. Единица измерения – **человеко-час**. Для планирования затрат труда используют:

- **норму времени** – время, установленное рабочему, соответствующей квалификации на выполнение операции или технологического процесса в нормальных производственных с нормальной интенсивностью труда. Единица измерения – **Зч. 5-го разряда**.

- **норма выработки** (для нормирования малотрудоемких работ) – установленное количество изделий, которое должно быть изготовлено в единицу времени. Единица измерения – **1000шт. в 1ч., 3-го разряда**.

Цикл – отрезок календарного времени, определяющий длительность периодически повторяющейся технологической операции от начала до ее конца.

Интенсивность производства одинаковых изделий характеризуется тактом выпуска.

Такт – промежуток времени, через который периодически осуществляется выпуск изделия. Если говорят, что машину изготавливают с тактом в 5 мин, это значит, что через каждые 5 мин завод выпускает машину.

Ритм выпуска – величина обратная такту.

Показатели производственного и технологического процесса (трудоемкость, цикл, такт) могут быть номинальными, действительными и измерительными. Случайный характер действительных и измерительных значений показателей производственного и технологического процесса заставляет рассматривать их во времени с позиции теории случайных функций.

4.2. Понятие о производительности

Под производительностью Q понимают объем W годной продукции, выпущенной в единицу времени t :

$$Q = \frac{W}{t}$$

Производительность станка (ПС) – либо объем удаленного с заготовки материала, либо площадь обработанной поверхности, отнесенные к единице времени. ПС зависит от мощности, режимов, качества инструмента.

Производительность труда рабочего – количество годной продукции, произведенной им за единицу времени. Производительность труда рабочего зависит от: производительности оборудования, удобства управления оборудованием, интенсивности и организации труда, условий труда.

Производительность производственного процесса – учитывает уровень организации планирования и управления, это интегральный показатель деятельности всего трудового коллектива, непосредственно участвующего в осуществлении производственного процесса. Оценивается объемом продукции (штуках, тоннах, рублях), произведенной в единицу времени.

Производительность труда работающего – количество продукции, выпущенной в единицу времени и приходящейся на одного работающего – отражает деятельность коллектива завода. Учитывает деятельность и численность ИТР, управленческого состава и штатов других категорий (то есть всех сотрудников). Измеряется в рублях.

Производительность общественного труда – сопоставление количества выпущенной продукции за некоторый интервал времени с трудовыми затратами на оборудование, здания (прошлый труд), текущие затраты (электроэнергия, инструмент, СОЖ и т.п.), вложенными в эту продукцию. Например, выпущенную продукцию измеряют либо:

- в физических величинах: штуки, единицах массы (т, кг), объема и др.;
- в стоимостном выражении (рублях).

Трудовые затраты выражают:

- либо человеко-час, человеко-день и др.;
- либо в рублях.

В соответствии с этим производительность общественного труда может иметь различную размерность: шт/чел, ч, шт/руб, год, руб/руб.год.

Производительность может быть: номинальной, действительной, измеренной.

4.3. Себестоимость машины

Изготовление машины связано с расходами материалов, живого и общественного труда.

Затраты на материалы, средства производства и зарплату, связанные с изготовлением машины и выраженные в денежной форме, называют цеховой себестоимостью (просто себестоимость).

Различают себестоимость машины, СЕ, деталей, операций, технического процесса и т.д.

$$C = \sum_{i=1}^p M + \sum_{i=1}^m \left[O + П + И + \left(1 + \frac{a_1 + a_2}{100} \right) \bar{z} \right],$$

где i – расходы на материалы на единицу продукции за вычетом стоимости отходов, руб.;

\bar{z} – расходы на амортизацию, содержание и эксплуатацию оборудования, приходящую на единицу продукции, руб.

I – расходы на амортизацию, содержание и эксплуатацию приспособления, приходящую на единицу продукции, руб.

E – расходы на амортизацию, содержание и эксплуатацию инструмента, приходящую на единицу продукции, руб.

\dot{a}_1 – начисления на расходы по зарплате на социальные нужды, %.

\dot{a}_2 – накладные расходы, начисляемые на расходы по зарплате, %.

ϑ – число различных марок материала на единицу продукции;

$\dot{\vartheta}$ – число операций, которые проходит единица продукции при ее изготовлении;

C – расходы на заработную плату, приходящиеся на единицу продукции, руб.

Себестоимость бывает номинальная, действительная и измеренная.

Себестоимость различают:

- сметную (плановую) – на стадии проектирования;
- отчетную (на основе измеренных фактических затрат производства) – для оценки деятельности.

Сопоставление отчетной и сметной себестоимости позволяет судить о соответствии действительного технологического процесса изготовления машины запроектированному.

4.4. Типы производства и виды организации производственных процессов

В зависимости от потребностей, машины изготавливают в разных количествах, определяемых **объемом** и **программой** выпуска.

Объем выпуска характеризует **примерное количество машин, деталей, заготовок, изделий**, подлежащих выпуску в течение планируемого периода времени (год, месяц). Это понятие используется на стадии проектирования завода, цеха, технологического процесса.

Программа выпуска – перечень изделий с указанием количества выпуска по каждому наименованию на планируемый период (год, месяц). Программу выпуска изделий устанавливают в соответствии с планом отрасли и выполнение ее обязательно.

Серия – общее число изделий, подлежащих изготовлению по неизменным чертежам. Размер серии зависит от совершенства конструкции и степени спроса у потребителей.

Партия – количество заготовок (изделий) одного наименования и типоразмера, одновременно (или непрерывно) поступающих для обработки на одно рабочее место в течение определенного времени.

Различие объемов выпуска приводит к делению производства на три типа: единичное, серийное, массовое.

Под **единичным** производством понимают изготовление машин (изделий), характеризующееся малым объемом выпуска. При этом считают, что выпуск таких же машин (изделий), не повторится по неизменным чертежам. Продукция единичного производства – опытные образцы, тяжелые прессы, уникальные станки т.п.

Под **серийным** производством понимают периодическое изготовление повторяющимися партиями по неизменным чертежам в течение продолжительного промежутка календарного времени. Возможна партия из одного изделия. Различают:

- мелкосерийное;
- среднесерийное;
- крупносерийное.

Продукция серийного производства – станки, компрессоры, судовые двигатели и т.п. выполняется периодически повторяющимися партиями.

Под **массовым** производством понимают непрерывное изготовление в больших объемах по неизменным чертежам продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна и та же операция. Характерно:

- узкая номенклатура;

- большой объем выпуска.

Продукция массового производства – автомобили, холодильники, часы, телевизоры, и т.п.

Отнесение производства к какому-то типу условно. На одном и том же предприятии можно встретить все типы, поэтому определяют тип по преобладающему типу.

По организации производственные процессы делят на два вида:

- поточный;
- непоточный.

Поточный вид характеризуется непрерывностью и равномерностью. Заготовки без задержек передаются с одной операции на другую, а деталь сразу на сборку. Деталь и сборка находятся в постоянном движении со скоростью, подчиненной такту выпуска. Все необходимое оборудование расставляется по ходу технологического процесса

Непоточный вид – движение заготовок на разных стадиях изготовления прерывается пролеживанием на рабочих местах или на складах. Не соблюдается такт выпуска. Поточный вид организации применяется в массовом типе производства. Непоточный вид – в единичном и мелкосерийном типах производства. Принцип организации поточного производства используется и в крупносерийном производстве при изготовлении изделий близких по-своему служебному назначению, которые объединяют в группы. Изготовление ведут поточным методом в пределах одного изделия, со сменой изделия меняется поток и такт выпуска. Такой вид организации называется **переменно-поточным**.

ЛЕКЦИЯ 5

5. Основы базирования

Определение положения детали в машине и в процессе ее изготовления является важнейшей задачей, решение которой влияет на качество деталей и машины в целом. Теория базирования является одним из «китов» технологического машиностроения. Большой вклад внесли в теорию базирования: Балакшин Б.С., Каширин А.И., Кован В.М., Маталин А.А., Соколовский А.П., Фираго В.П., Колесов И.М. и другие. Теория базирования разрабатывалась в двух направлениях. В основе первого направления лежит обобщение опыта машиностроения, а другое, научное направление, опирается на законы теоретической механики. Второе направление (автор Балакшин Б.С. – 40-е годы) принято при разработке ГОСТа 21.495 «Базирование и базы в машиностроении».

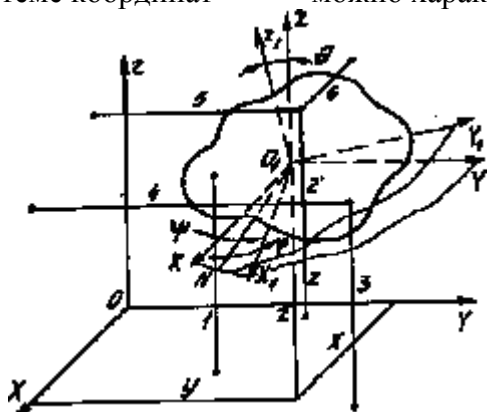
Теоретическая механика рассматривает два состояния твердого тела «покоя» и «движения». Эти понятия относительны, необходимо поэтому указывать систему отсчета. Если положение тела относительно выбранной системы отсчета со временем не изменяется, то считается, что это тело покоится относительно данной системы отсчета. Если же тело изменяет свое положение относительно выбранной системы отсчета, значит тело находится в движении. Требуемое положение или движение тела достигается наложением геометрических или кинематических связей.

Связями в теоретической механике называют условия, которые налагают ограничения либо только на положение, либо также и на скорость точек тела. В первом случае геометрическая связь, во втором – кинематическая.

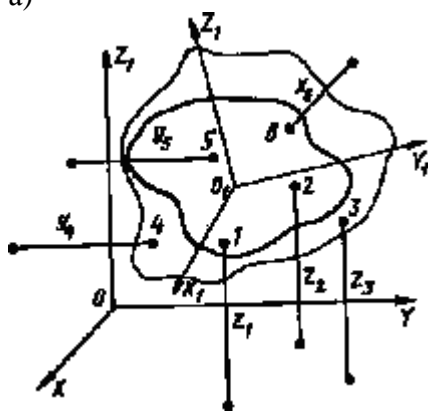
Связи обычно осуществляются в виде различных тел, стесняющих свободу движения данного тела. Независимые перемещения, которые может иметь тело, называют степенями свободы.

Абсолютно твердое тело имеет шесть степеней свободы (3 перемещения и 3 вращения). Для того, чтобы придать телу необходимое положение и состояние покоя относительно выбранной системы отсчета, его надо лишить шести степеней свободы, наложив на него шесть двусторонних геометрических связей.

Аналитическое определение положения абсолютно твердого тела сводится к заданию значений шесть независимых параметров, однозначно характеризующих его положение. С твердым телом связывают подвижную систему координат $O_1X_1Y_1Z_1$. Ее положение в системе координат $OXYZ$ можно характеризовать различными способами (рис.7.1).



а)



б)

Рис.5.1. Определение положения абсолютно твердого тела.

По первому способу (рис.5.1.а) положение подвижной системы координат в системе $OXYZ$ характеризуют координаты x, y, z начала O_1 и три угла Эйлера: - угол нутации, - угол прецессии и угол собственного вращения системы $O_1X_1Y_1Z_1$.

По другому способу (рис.5.1.б) положение подвижной системы координат в системе $OXYZ$ характеризуют шесть точек, из которых три определяют положение плоскости $X_1O_1Y_1$, две - $X_1O_1Z_1$ и одна - $Y_1O_1Z_1$. Из восемнадцати координат, определяющих положение шести точек, шесть ($z_1, z_2, z_3, y_4, y_5, x_6$) будут независимыми.

Неизменность их значений есть условие действия шести геометрических связей, наложенных на тело.

Тело находится в неподвижном состоянии, если выполняются два условия:

1. сумма всех активных сил, действующих на тело, и реакции равна нулю;
2. в начальный момент скорость тела также равна нулю.

Если в избранной системе отчета требуется создать движение тела с определенной скоростью в одном или нескольких направлениях, то соответствующее число геометрических связей должно быть заменено таким же числом кинематических связей.

5.1. Базирование и базы

Базирование – придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

Теоретически базирование детали (изделия и т.п.) связано с лишением ее шести степеней свободы.

Придание детали требуемого положения в избранной системе координат осуществляется путем соприкосновения ее поверхностей с поверхностями детали или деталей, на которые ее устанавливают или с которыми ее соединяют. Фиксация достигнутого положения и постоянство контакта обеспечивается силами, в числе которых первым проявляется действие массы самой детали и сил трения. Реальные детали машин ограничены поверхностями, имеющими отклонения формы от своего идеального прототипа. Поэтому базируемая деталь может контактировать с деталями, определяющими ее положение лишь на отдельных элементарных площадках, условно считаемых точками контакта (рис.5.2.).

В общем случае при сопряжении детали по трем поверхностям с деталями, базирующими ее, возникает шесть точек контакта. При этом точки контакта распределяются определенным образом.

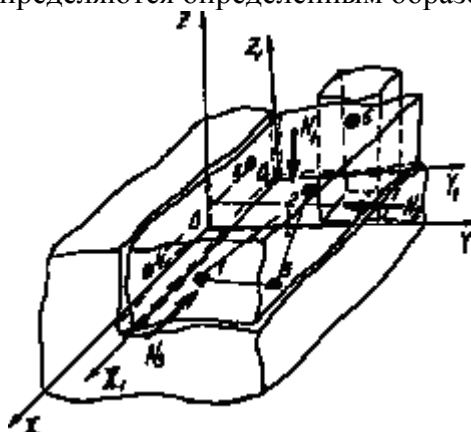


Рис.5.2. Сопряжение реальных деталей

Базирование детали осуществляется с помощью нескольких ее поверхностей, которые выполняют функцию баз.

Базой называется поверхность, или заменяющее ее сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования.

Для базирования детали обычно требуется несколько баз, образующих систему координат. Совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки (изделия, детали) называют **комплексом баз**.

На схемах двусторонние связи заменяются опорными точками. Опорная точка – символ связи, который изображается в виде «галочки» или «ромбика» (рис.5.3).

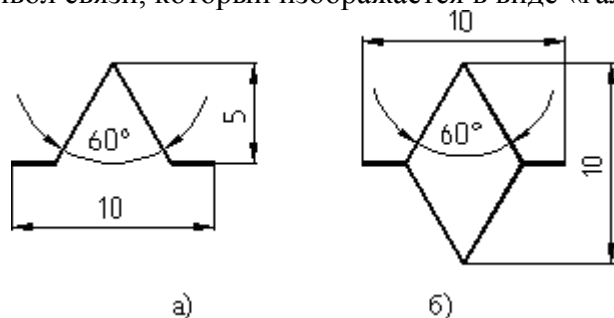


Рис.5.3. Изображение опорной точки: а)- вид сбоку; б) – вид сверху

Базирование призматической детали схематично можно изобразить так, как показано на рис.5.4.

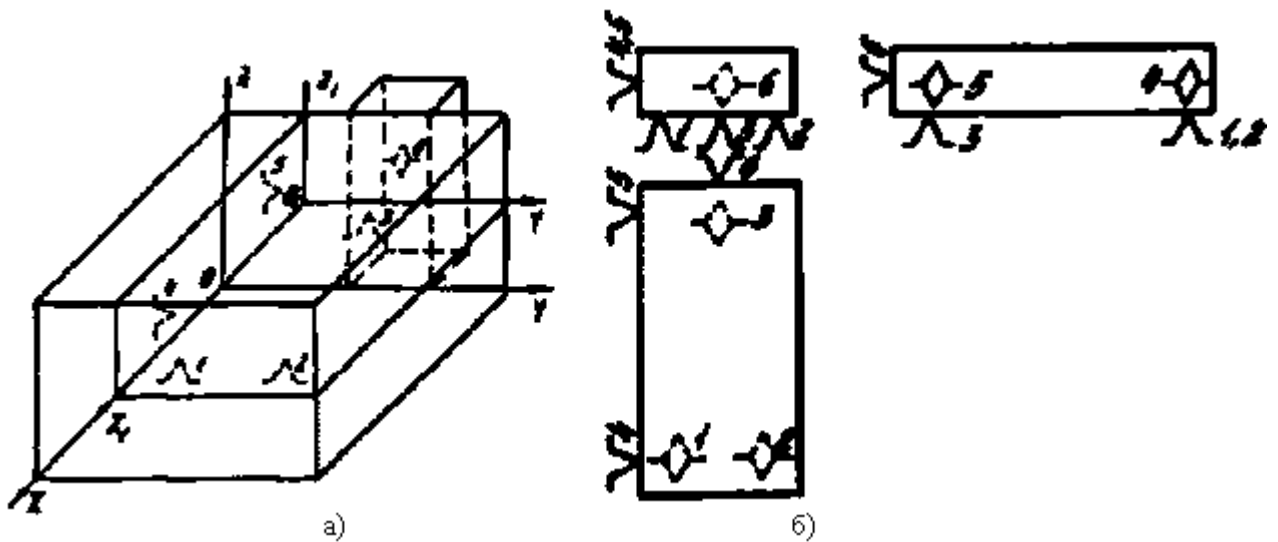


Рис.5.4. Базирование призматической детали: а) – в трехмерном изображении; б) – в проекциях на плоскостях

Базирование призматической детали с использованием двусторонних связей представлено на рис. 7.5.

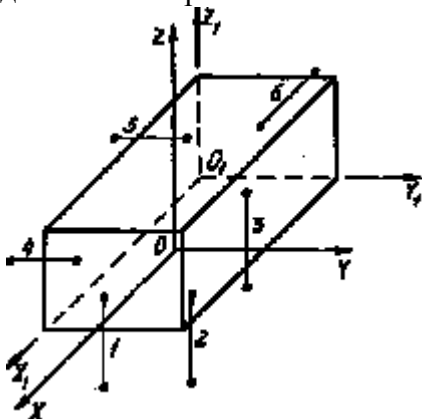


Рис.5.5. Базирование деталей с помощью двусторонних связей

При базировании призматической детали, в качестве баз используются три поверхности, которые образуют комплект баз, включающий в себя установочную, направляющую и опорные базы (рис.5.6.).

Комплект:



Рис.5.6. Комплект баз призматической детали

Установочной базой называется база, которая накладывает на деталь 3 двусторонние связи и, тем самым, лишает деталь трех перемещений. На практических схемах установочная база отображается 3 опорными точками. Например. На рис. 7.5 первая двусторонняя связь (или первая опорная точка) лишает деталь перемещения вдоль оси OZ ; вторая – вращения вокруг оси параллельной OX третья – вращения вокруг оси параллельной OY .

Направляющей базой называется база, которая накладывает на деталь 2 двусторонние связи, лишает деталь 2 перемещений. На практических схемах направляющая база отображается 2 опорными точками. На рис.5.5 четвертая двусторонняя связь (или четвертая опорная точка) лишает деталь перемещения вдоль оси OY ; пятая – вращения вокруг оси параллельной OZ .

Опорной базой называется база, которая накладывает 1 двустороннюю связь и лишает деталь одного перемещения. На практических схемах опорная база отображается 1 опорной точкой. На рис. 5.5 шестая двусторонняя связь (или шестая опорная точка) лишает деталь перемещения вдоль оси OX .

7.2. Базирование цилиндрической детали

Любая цилиндрическая деталь имеет две плоскости симметрии, которые, пересекаясь, образуют ось.

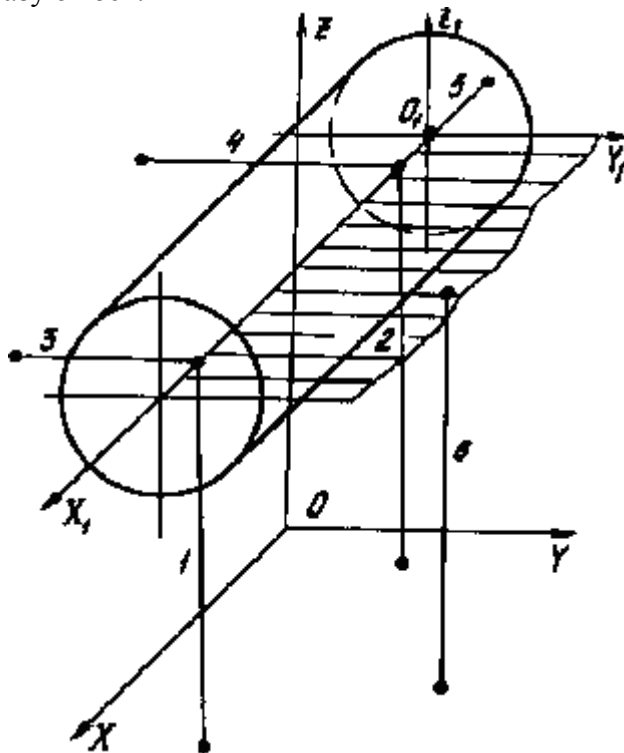


Рис.5.7. Базирование цилиндрической детали

Эта особенность и позволяет использовать при базировании цилиндрической детали в качестве базы ось. Базирование цилиндрической детали с использованием двусторонних связей представлено на рис. 5.7.

При базировании цилиндрической детали в качестве баз используются ось и две плоские поверхности, которые образуют комплект баз, включающий в себя двойную направляющую и две опорные базы (рис.5.8).

Комплект:

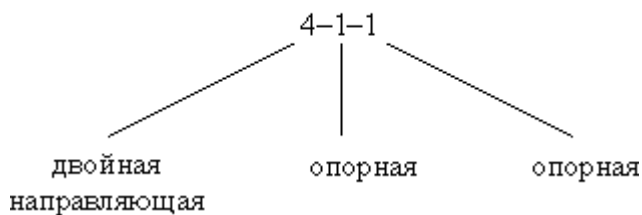


Рис. 5.8. Комплект баз цилиндрической детали

Двойной направляющей базой называется база, которая накладывает 4 двусторонние связи и лишает, тем самым, деталь 4-х перемещений. На практических схемах двойная направляющая база отображается 4 опорными точками. Например. На рис.7.7 первая двусторонняя связь лишает деталь перемещения вдоль оси OZ , вторая – вращения вокруг оси OY , третья — перемещения в вдоль оси OY , четвертая — вращения вокруг оси OZ .

Из двух опорных баз у цилиндрической детали одна лишает деталь перемещения, а другая вращения. На рис.7.7. пятая опорная точка лишает деталь перемещения вдоль оси OX , а шестая – вращения вокруг оси OX .

7.3. Базирование диска

Деталь типа «диск», как правило, имеет две плоскости симметрии, которые, пересекаясь, образуют ось, и хорошо развитые торцовые поверхности. Базирование детали типа «диск» с использованием двусторонних связей приведено на рис. 7.9.

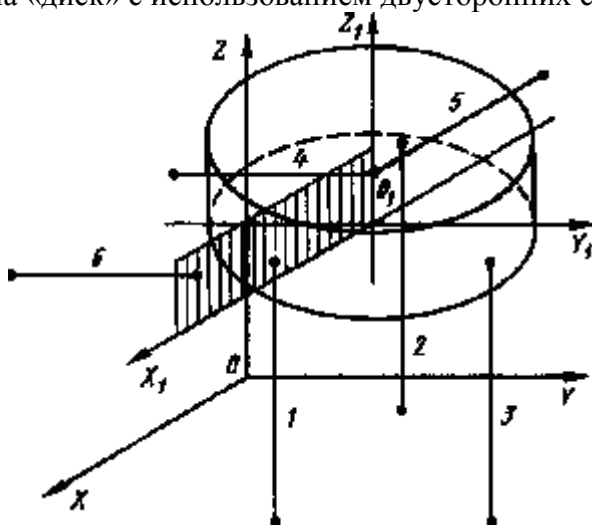


Рис.5.9. базирование детали типа «диск»

При базировании детали типа «диск» в качестве баз используются ось и две плоскости, которые образуют комплект, включающий в себя установочную, двойную опорную и опорную базы (рис.5.10).

Комплект:



Рис.5.10. Комплект баз деталей типа «диск»

Установочная база – лишает деталь трех степеней свободы. Эта база была рассмотрена при базировании призматической детали. У диска эта база выполняет ту же функцию – она лишает деталь одного перемещения и двух вращений.

Первая двусторонняя связь (первая опорная точка) лишает деталь перемещения вдоль оси OY (рис.5.9); вторая – вращения вокруг оси параллельной OZ ; третья – вращения вокруг оси параллельной OX .

Двойной опорной базой называется база, которая накладывает 2 двусторонние связи и лишает деталь 2 перемещений во взаимно перпендикулярных направлениях. Обе двусторонние связи накладываются на оси, но одна в горизонтальной, а другая в вертикальной плоскости симметрии.

Опорная база накладывает одну двустороннюю связь и лишает деталь типа «диск» вращения вокруг своей оси. Располагается такая база как можно дальше от оси в горизонтальной или вертикальной плоскости симметрии. Реализуется в виде паза или лыски на цилиндрической поверхности детали.

Итак, при базировании любой детали действует правило «шести точек». Сущность его такова: для определения положения детали **необходимо и достаточно** лишить ее шести степеней свободы, то есть задать координаты шести точек. При нарушении правила шести точек появляется неопределенность базирования.

Базирование необходимо на всех стадиях создания изделия. Несмотря на разнообразие задач, возникающих при этом, ГОСТом 21495 предусмотрена классификация баз по трем признакам: по решаемым задачам, по числу лишаемых степеней свободы и по конструктивному оформлению. Схематично классификация баз представлена на рис.7.11.

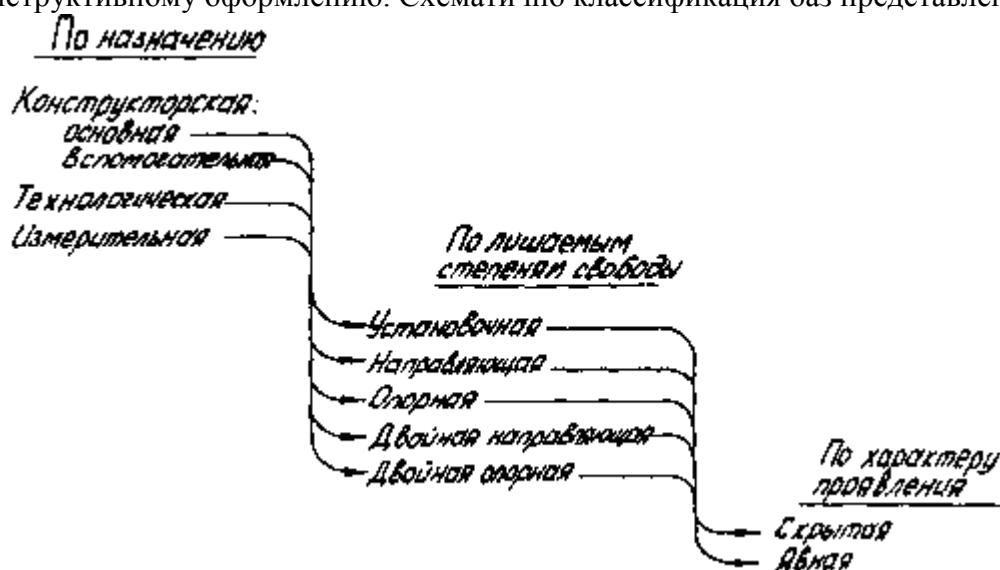


Рис.5.11. Классификация баз

Конструкторской базой называется база, которая определяет положение детали или сборочной единицы (СЕ). Различают конструкторские базы основные и вспомогательные.

Основная база – база, принадлежащая детали и используемая для определения ее положения в изделии.

Вспомогательная база – база, принадлежащая детали используемая для определения положения присоединяемой к ней детали.

Технологическая база называется база, которая определяет положение заготовки или изделия в процессе изготовления и ремонта.

Измерительной базой называется база, которая определяет положение заготовки или изделия и средств измерения.

По числу лишаемых степеней свободы базы различают: установочную, направляющую, опорную, двойную направляющую, двойную опорную. Характеристики этих баз были рассмотрены выше при изучении базирования различных деталей.

По конструкторскому оформлению различают базы явные и скрытые.

Явной базой называется реальная поверхность, разметочная риска или точка пересечения рисок. **Скрытой базой** называется ось, воображаемая поверхность или точка. Схемы базирования при использовании скрытых баз приведены на рис.7.12.

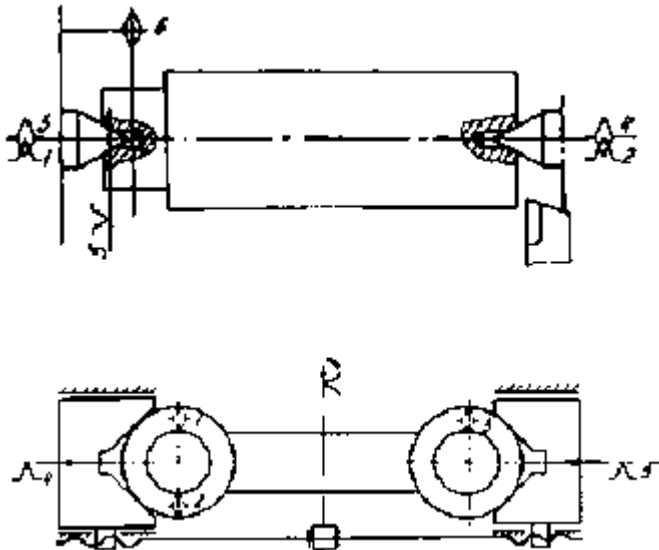


Рис.5.12. Базирование деталей с использованием явных и скрытых б

ЛЕКЦИЯ 6

6. Теория размерных цепей

Размерные цепи отражают объективные размерные связи в конструкции машины, технологических процессах изготовления ее детали и сборки, при измерении, возникающие в соответствии с условиями решаемых задач.

6.1. Основные понятия и определения

Размерная цепь – совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур. Обозначаются размерные цепи прописными буквами русского алфавита ($A, B, B \dots Я$) и строчными буквами греческого алфавита ($\beta, \gamma \dots$, кроме $\alpha, \delta, \xi, \lambda, \varphi$).

Размеры, образующие размерную цепь, называют звеньями размерной цепи. Одно звено в размерной цепи замыкающее (исходное), а остальные – составляющие.

Замыкающим (исходным) звеном размерной цепи называют звено, получающееся последним или первым (исходным) при ее построении. Замыкающее (исходное) звено отличается значком $\Delta - A_{\Delta}$ (рис.6.1).

Составляющим звеном размерной цепи называют звено размерной цепи, функционально связаны с замыкающим звеном. Составляющие звенья, в зависимости от их влияния на замыкающее звено, бывают увеличивающие или уменьшающие:

Увеличивающим звеном называется звено, **при увеличении** которого, замыкающее звено **увеличивается**. Такое звено обозначается стрелочкой слева направо над буквой - \vec{A}_2 (рис.6.1).

Уменьшающим звеном называется звено, **при увеличении** которого, замыкающее звено **уменьшается**. Такое звено обозначается стрелочкой справа налево над буквой - \bar{A}_1, \bar{A}_3 (рис.6.1).

Компенсирующее звено – звено, за счет изменения величины которого, достигается требуемая точность замыкающее звено. Выделяется такое звено заключением его в квадрат (рис.6.1).

Общее звено – звено, одновременно принадлежащее нескольким размерным цепям. В его обозначении используются столько букв, звеньями скольких цепей оно является – $A_1 = B_3 = B_6$.

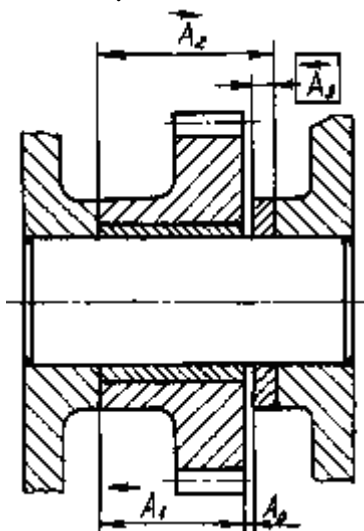


Рис.6.1. Размерная цепь A_1

Размерные цепи удобно классифицировать по характеру решаемой задачи, содержанию, характеру звеньев, геометрическому представлению и виду связи. Схематично классификация представлена на рис.6.2.

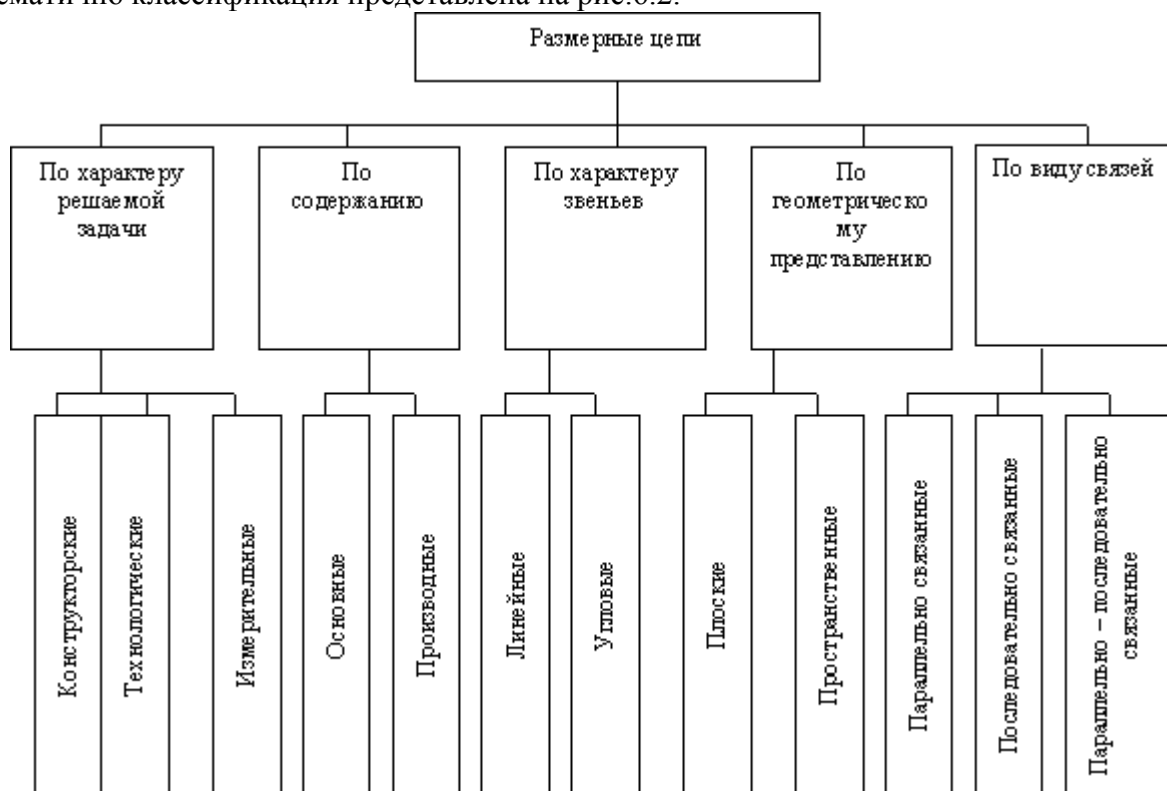


Рис.6.2. Классификация размерных цепей

По характеру решаемой задачи размерные цепи различают конструкторские, технологические, измерительные.

Конструкторская размерная цепь – размерная цепь, определяющая расстояние или относительный поворот поверхностей (осей) в деталях. Примером конструкторской размерной цепи служит размерная цепь, приведенная на рис.6.1.

Технологические размерные цепи – размерные цепи, обеспечивающие требуемые расстояние или относительный поворот поверхностей изделия в процессе их изготовления.

Технологические размерные цепи бывают **первого** и **второго** рода.

К технологическим цепям первого рода относят технологические системы, связывающие между собой оборудование (станок), приспособление, инструмент и деталь – ОПИД. Пример подобной технологической системы приведен на рис.6.3,

где O – оборудование (станок) – B_1, B_2, B_3 ;

Π – приспособление – B_1, B_2, B_3, B_4 ;

I – инструмент – B_5 ;

D – деталь – A_4 .

Замыкающим звеном технологической цепи первого рода (A) является звено, заключенное между режущей кромкой инструмента и базой (или соответствующими осями). Так в цепи, приведенной на рис.8.3, звено A_4 , является замыкающим и принадлежит детали; звеньям B_1, B_2, B_3 принадлежит станку (являются конструктивными элементами станка); звенья B_1, B_2, B_3, B_4 принадлежат приспособлению (являются конструктивными элементами приспособления или другой технологической оснастки); звено B_5 принадлежит инструменту (ширина дисковой фрезы).

Изображать технологическую цепь первого рода можно подробно (рис.8.3 а) или упрощенно (рис.6.3 б).

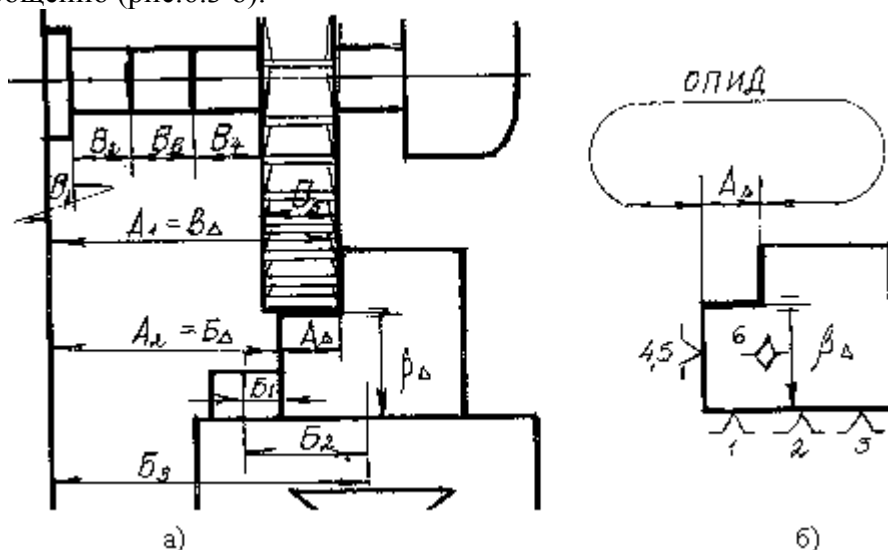


Рис.6.3. Технологическая размерная цепь первого рода: а) – подробное изображение технологической цепи первого рода; б) – упрощенное изображение технологической цепи первого рода

К технологическим цепям второго рода относятся размерные цепи, связывающие отдельные операции, переходы (цепи первого рода). Для того чтобы выявить технологическую цепь второго рода, необходимо проанализировать весь технологический процесс изготовления детали, от операции, на которой заканчивается решение поставленной задачи, до начала технологического процесса. На рис.6.4 представлен анализ технологического процесса изготовления валика, у которого необходимо обеспечить длину ступени $L = A_4$. При изготовлении валика в решении поставленной задачи участвуют цепи первого и второго рода. К цепям второго рода относятся размерная цепь A , которая связывает операции (переходы) получения левой и правой шеек валика; и

размерная цепь B , которая связывает операции (переходы) получения одной из шеек и торцов заготовки. Размерные цепи $B, Г, Д$ являются цепями первого рода.

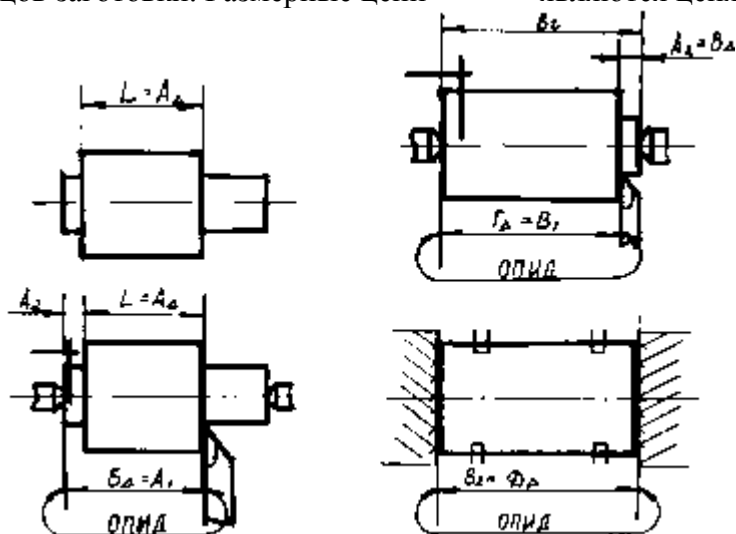


Рис. 6.4. Технологические цепи второго рода

Измерительная размерная цепь – цепь, с помощью которой познается значение измеряемого размера, относительного поворота, расстояния поверхностей или их осей изготовленного или изготавливаемого изделия (рис.8.5).

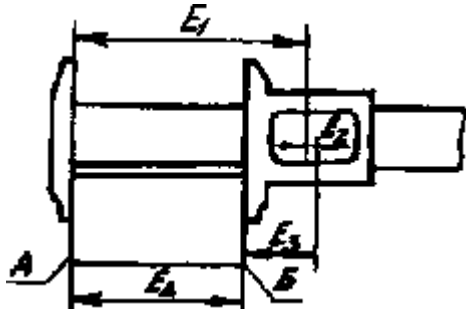


Рис.6.5. Измерительная размерная цепь

Если рассматривать измерение как процесс, то можно встретить цепи первого и второго рода так же, как и в технологическом процессе (рис.6.6).

По содержанию размерные цепи бывают основные и производные.

Основная размерная цепь – цепь, замыкающим звеном которой является размер (расстояние, относительный поворот), обеспечиваемый в соответствии с решением основной задачи (цепь A на рис.8.3).

Производная размерная цепь – цепь, замыкающим звеном которой является одно из составляющих звеньев основной размерной цепи (цепи B и B' на рис.6.3).

Производная размерная цепь раскрывает содержание составляющего звена основной размерной цепи.

По характеру звеньев размерные цепи бывают линейные и угловые.

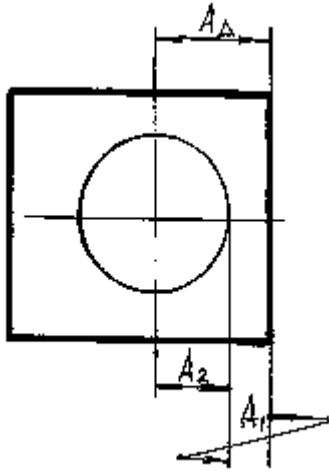


Рис.8.6. Познание размера A_{Δ}

Линейная размерная цепь – цепь, звеньями которой являются линейные размеры. Они обозначаются прописными буквами русского алфавита (A, B, \dots, Z) и двусторонней стрелочкой.

Угловая размерная цепь – цепь, звеньями которой являются угловые параметры. Они обозначаются строчными буквами греческого алфавита (β, γ, \dots) и односторонней стрелочкой (рис. 8.3).

По геометрическому представлению цепи бывают плоские и пространственные.

Плоская размерная цепь – цепь, звенья которой расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях.

Пространственная размерная цепь – цепь, звенья которой расположены в непараллельных плоскостях.

По виду связей размерные цепи бывают параллельные, последовательно и параллельно-последовательно связанные.

Параллельно связанные цепи – цепи, имеющие одно или несколько общих звеньев (рис.6.7 а).

Последовательно связанные цепи – цепи, в которых каждая последующая имеет одну общую базу с предыдущей (рис.6.7 б).

Параллельно последовательно связанные цепи (комбинированные) – цепи, имеющие оба вида связей (рис.6.7 в).

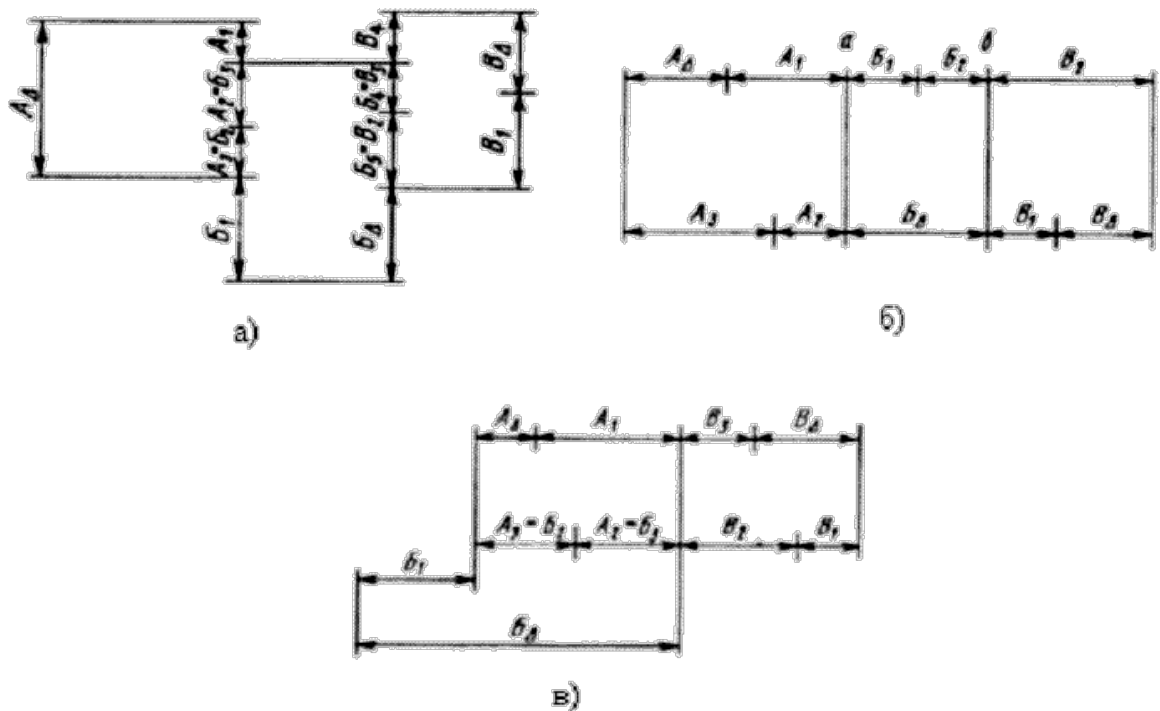


Рис.6.7. Различные виды связей размерных цепей

6.2. Постановка задачи и выявление размерной цепи

Выявление размерной цепи в практике использования теории размерных цепей, является наиболее сложным. Каждой задаче соответствует только одна, единственная размерная цепь.

Выявление любой размерной цепи начинается с нахождения ее замыкающего звена.

Смысл задачи, возникающей при конструировании, изготовлении или измерении изделия связывается с замыкающим звеном.

При конструировании изделия переход от поставленной задачи к нахождению замыкающего звена заключается в выявлении такого линейного или углового размера, от значения которого полностью зависит решение поставленной задачи.

При изготовлении изделия замыкающим звеном размерной цепи является размер, точность которого должна быть обеспечена технологическим процессом.

При измерении замыкающим звеном является измеренный размер.

Допуск замыкающего звена устанавливается следующим образом:

- в конструкторских размерных цепях исходя из служебного назначения;
- в технологических размерных цепях в соответствии с допуском, который необходимо получить в результате осуществления технологического процесса;
- в измерительных размерных цепях исходя из требуемой точности измерения.

Выявив замыкающее звено, приступают к нахождению составляющих звеньев размерной цепи. Составляющими звеньями конструкторских размерных цепей могут быть:

- расстояния (относительные повороты) между поверхностями (их осями) деталей, образующих замыкающее звено, и основными базами этих деталей;
- расстояния (относительные повороты) между поверхностями вспомогательных и основных баз деталей, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи своими размерами.

Для нахождения размерной цепи следует идти от поверхностей (или их осей) деталей, образующих замыкающее звено, к основным базам этих деталей, от них – к основным базам деталей, базирующих первые детали, до образования замкнутого контура (рис.8.8).

Несовпадения (зазоры, несоосности) основных и вспомогательных баз соединяемых деталей учитываются отдельными звеньями.

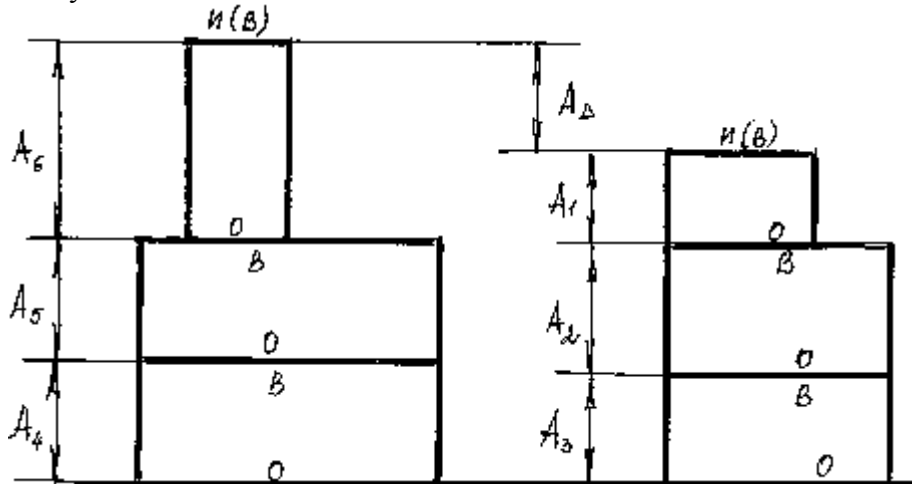


Рис.6.6. Выявление размерной цепи.

ЛЕКЦИЯ 7

7. Достижение требуемой точности деталей в процессе изготовления. Сокращение погрешности установки

Для того, чтобы изготовить деталь ее включают в систему координат станка, которые обычно материализуются поверхностями направляющих станин или другими исполнительными поверхностями (рис.9.1). Однако непосредственно на них детали не устанавливают, а используют специальные детали или узлы (столы, патроны).

Помимо заготовки требуемое положение необходимо придать и режущему инструменту.

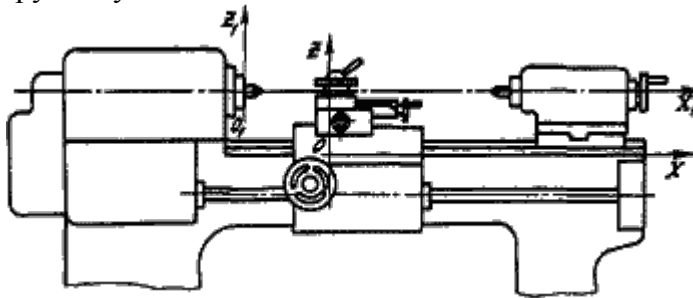


Рис.7.1. Система прямоугольных координат токарно-винторезного станка

Отклонения формы, поворота и расстояний являются следствием причин:

- отклонений в пространстве технологических баз заготовки $(O_1X_1Y_1Z_1)$ и режущего инструмента $(O_2X_2Y_2Z_2)$ от требуемого положения в системе станка $(OXYZ)$;
- деформирование станка, заготовки и инструмента под воздействием разного рода сил и теплоты.

Эти причины потери точности детали в процессе ее изготовления возможны на каждом из этапов выполнения операций. Любая операция технологического процесса изготовления деталей состоит из трех этапов: установки заготовки, статической настройки технологической системы, непосредственной обработки заготовки (динамической настройки). Образование выдерживаемого при выполнении операции размера A_4 схематично представлено на рис.7.2.

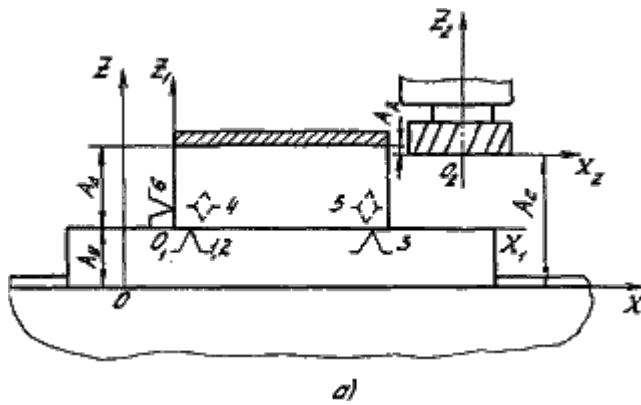


Рис.9.2. Связь трех этапов при выполнении операции

Уравнение размерной цепи имеет вид:

$$A_{\Delta} = -A_y + A_c + A_b,$$

где A_y – характеризует положение заготовки в системе $OXYZ$,

A_c – характеризует положение инструмента в системе $OXYZ$,

A_b – характеризует относительное отклонение в положении заготовки и фрезы, возникающее в процессе обработки.

Выполнение этапов операции сопровождается возникновением погрешностей и погрешность замыкающего звена A_{Δ} равна сумме погрешностей:

$$\omega A_{\Delta} = \omega A_y + \omega A_c + \omega A_b,$$

где

ωA_c — погрешность статической настройки,

ωA_y — погрешность установки,

ωA_b — погрешность динамической настройки.

Следует обратить внимание на то, что уравнение размерной цепи и суммарная погрешность это не математическая зависимость, а лишь схема. Погрешности, возникающие на каждом из этапов операции, являются следствием проявления многих факторов. Установка заготовки включает в себя ее базирование и закрепление. Причинами появления **погрешности установки** являются: неправильный выбор технологических баз; качество технологических баз (точность их формы, относительных поворотов, размеров и расстояний); нарушение правил шести точек; нарушение правил приложения силового замыкания; неправильный выбор измерительных баз, средств и методов измерения; недостаточная квалификация рабочего. Причинами появления **погрешности статической настройки** являются: неправильный выбор технологических и измерительных баз; методов и средств измерения; неправильный выбор метода и средств статической настройки; погрешность установки режущих кромок инструмента и приспособлений относительно координатных плоскостей станка; точность оборудования, приспособления и режущего инструмента; недостаточная квалификация рабочего. Причинами появления **погрешности динамической настройки** являются: качество и однородность обрабатываемого материала; величина и колебание припусков на обработку; качество инструмента, жесткость технологической системы, состояние оборудования и приспособления; температура всех звеньев технологической системы и ее колебание; свойство и количество СОЖ; недостаточная квалификация рабочего.

Сокращение погрешности установки (ω_y)

Влияние на ω_y размеров поверхностей технологических баз. На рис.7.3 рассмотрена установка одной и той же детали на разные по размеру технологические базы. Анализ рисунка 9.3 показывает, что при одной и той же линейной ошибке (стружка), погрешность ω_y будет наименьшей, если в качестве установочной базы использовать поверхность наибольших габаритных размеров. Действительно, $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$.

Аналогичный анализ приводит к выводу, что направляющая технологическая база должна иметь наибольшую протяженность, а опорная – наименьшие размеры.

Определенность и неопределенность базирования заготовки. Для того, чтобы заготовка заняла и сохраняла требуемое положение в процессе обработки относительно базующих поверхностей станка (приспособления) необходимо обеспечить определенность ее базирования.

Определенность базирования характеризуется расположением точек контакта заготовки с деталями станка или приспособления в соответствии со схемой базирования и сохранением этого контакта в процессе обработки. Всякое нарушение этих условий приводит к неопределенности базирования заготовки.

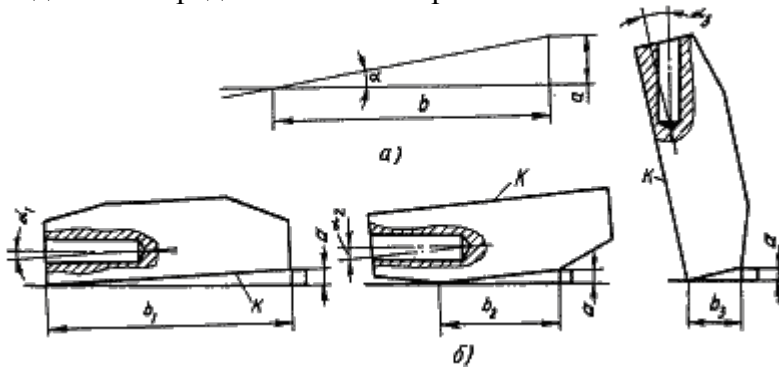


Рис.7.3. Зависимость погрешности установки от размеров поверхностей технологических баз

Неопределенность может вызываться: случайностью подбора и местонахождения точек контакта заготовки и базующих поверхностей станка из-за отклонений формы контактирующих поверхностей (рис.7.4); неполным контактом заготовки с базующими элементами приспособления; деформированием заготовки в процессе закрепления и обработки; недостаточностью сил закрепления.

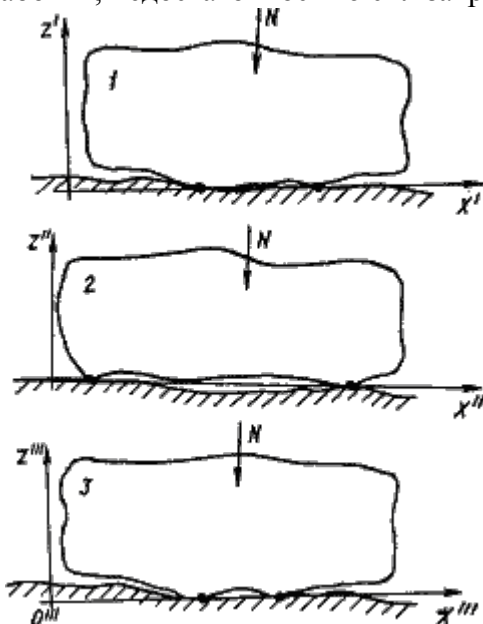


Рис.7.4. Случайное расположение точек контакта заготовки с базирующими элементами станка или приспособления

Так как подбор и местоположение точек контакта заготовки с приспособлением зависит от формы рельефов их контактирующих поверхностей, то одним из мероприятий по обеспечению определенности базирования являются более высокие требования к точности технологических баз заготовки и исполнительных поверхностей приспособлений (станка). Большой определенности местоположения точек контакта способствует определенная направленность отклонения формы поверхности технологических баз (рис.9.5).

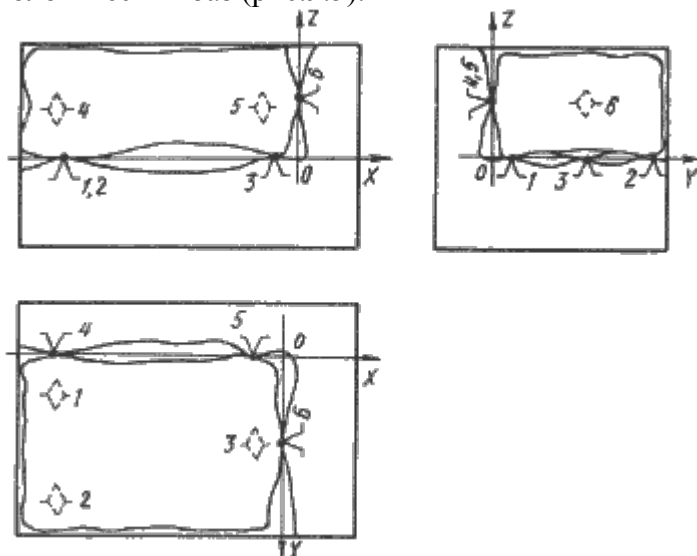


Рис.7.5. Требования к отклонениям формы поверхностей технологических баз

Случайность подбора точек контакта существенно уменьшается, если в приспособлении предусмотреть специальные опоры для базирования заготовки (рис.9.6), устанавливаемые в соответствии с требованиями, предъявляемыми к размерам технологических баз.

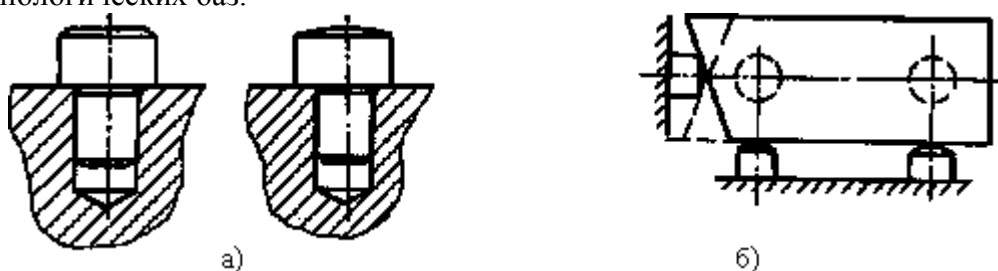


Рис.7.6. Опоры (а) и их установка (б) в приспособлении

Закрепление заготовки может привести к ее деформированию и смене точек контакта (рис.7.7).

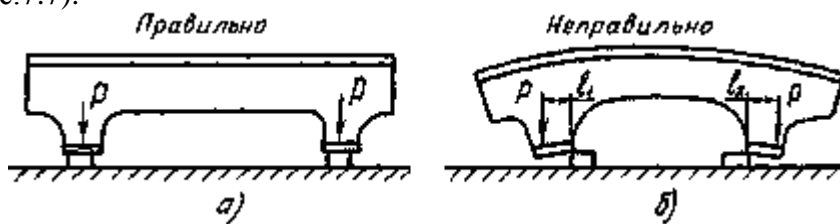


Рис.7.7. Влияние приложения силового замыкания на ω_y

Для сокращения влияния этих факторов необходимо стремиться к тому чтобы, точки приложения силы были расположены строго над опорами, и по нормали к поверхностям опор осуществлялось действие сил; силовое замыкание должно быть приложено ранее сил

воздействия на заготовку и по величине оно должно быть больше. На рис.7.7 показано правильное и неправильное закрепление заготовки. Неправильное приложение силового замыкания привело к возникновению изгибающих моментов $M = Pl$.

При установке нежестких деталей возникает их деформация от действия собственного веса. Поэтому при установке таких деталей стремятся повысить их жесткость за счет дополнительных опор, которые подводятся после установки на основные опоры (рис.7.8).

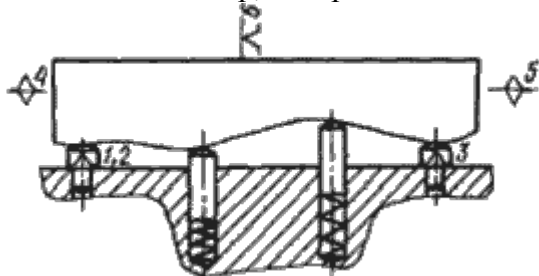


Рис.7.8. Повышение жесткости заготовки за счет использования дополнительных опор

Причиной неопределенности базирования может быть и смена баз. Под сменой баз понимают замену одних баз другими. Она может быть организованной и неорганизованной.

Неорганизованная смена баз возникает, вопреки нашему желанию, как при установке, так и в процессе обработки заготовки. Причинами неорганизованной смены баз являются погрешности формы и относительного поворота баз заготовки (рис.9.9), конструктивные дефекты и изношенность приспособлений, нарушение правил приложения силового замыкания.

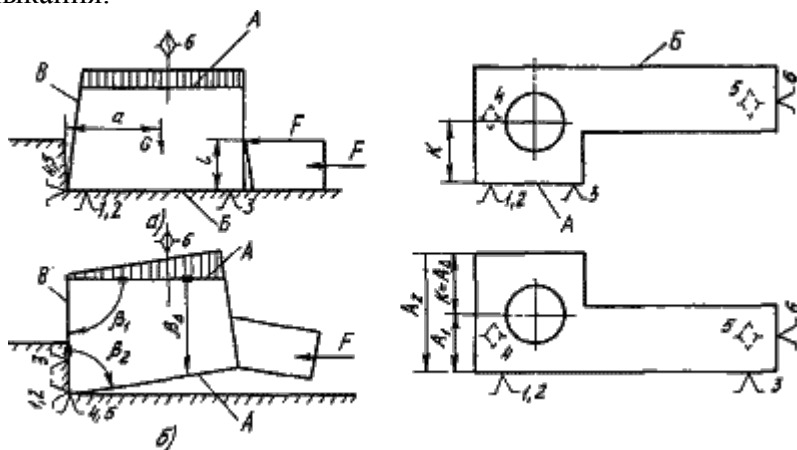


Рис. 7.9. Смена баз у заготовок: а) неорганизованная, б) организованная

Например. Поверхность В заготовки, изображенной на рис.9.9а, неперпендикулярна поверхности А. Поэтому после приложения силового замыкания установочная база с поверхности Б перейдет на поверхность В. В результате чего возрастет значение отклонения от параллельности поверхностей А и Б.

Наряду с неорганизованной сменой баз иногда проводят смену баз преднамеренно. Такую смену баз называют организованной. Необходимость в ней может быть вызвана: малыми размерами поверхностей, от которых заданы размеры; техническими трудностями в реализации нужной схемы базирования; большей экономичностью получения размеров. Например. При изготовлении детали (рис.17.9 б) необходимо обеспечить расстояние К. Из-за малых размеров поверхности А, ее нежелательно использовать в качестве установочной технологической базы. Чтобы обеспечить требуемую точность расстояния К при смене баз необходимо выполнить следующее.

1. Построить размерную цепь, которая установит размерную связь между поверхностью детали, от которой задан размер, и поверхностью, используемой в качестве

технологической базы. А также связь между обрабатываемой поверхностью и отвергнутой технологической базой.

2. Установить поля и координаты середины полей допусков на звенья возникшей размерной цепи, исходя из допуска на выдерживаемый размер:

$$T_{A_2} = T_A + T_{A_2}; \Delta_{0_{A_2}} = -\Delta_{0_{A_1}} + \Delta_{0_{A_2}}$$

Принцип единства баз. Так как, каждая смена баз сопровождается появлением добавочных погрешностей на выдерживаемых размерах деталей, то необходимо стремиться к тому, чтобы все поверхности заготовки обрабатывались от одних и тех же технологических баз, т.е. соблюдался принцип единства баз. В полной мере этот принцип соблюдается при обработке заготовки с одной установки. Например, при обработке заготовки набором фрез (рис.9.10) точность размеров A , B , β и γ не будет зависеть от погрешности установки заготовки.

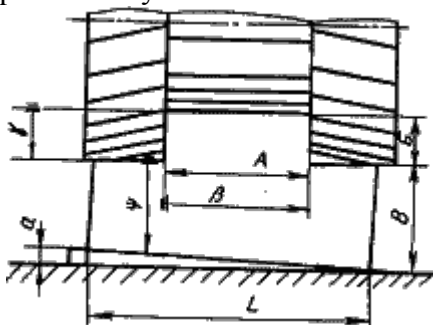


Рис.7.10. Обработка заготовки с соблюдением принципа единства баз

Разрабатывается технологический процесс изготовления детали, обычно на первых операциях стремятся обработать те поверхности заготовки, которые в дальнейшем используются как технологические базы. Преимущество принципа единства технологических баз побуждают вести изготовление детали с одной установки заготовки. Это же послужило причиной появления станков типа «обрабатывающий центр».

Три метода получения и измерения линейных и угловых размеров деталей. При изготовлении и измерения деталей используют три метода получения измерения линейных и угловых размеров: цепной, координатный, комбинированный.

Сущность цепного метода заключается в том, что каждый последующий размер (расстояние или поворот) получают или измеряют от ранее полученного или измеренного. При этом в качестве одной из технологических (измерительных) баз используют связывающую их общую поверхность (рис.7.11).

Основное преимущество метода – независимость погрешности каждого из цепных звеньев от других цепных звеньев.

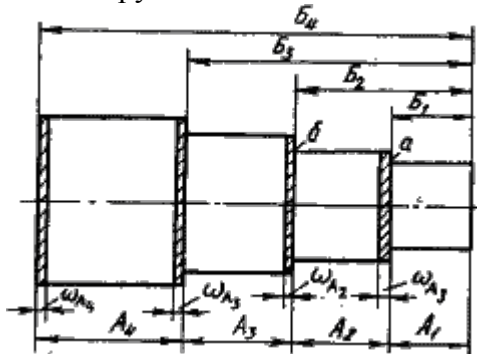


Рис.7.11. Получение размеров A_i цепным методом

Недостатком цепного метода является то, что погрешность координатного звена включает в себя погрешности столько цепных звеньев, сколько образует это звено.

Например, координатные звенья и их погрешности определяются по следующим зависимостям.

$$B_1 = A_1 \rightarrow \omega B_1 = \omega A_1,$$

$$B_2 = A_1 + A_2 \rightarrow \omega B_2 = \omega A_1 + \omega A_2,$$

$$B_4 = A_1 + A_2 + \dots + A_4 \rightarrow \omega B_4 = \omega A_1 + \omega A_2 + \omega A_3 + \omega A_4.$$

Сущность координатного метода заключается в том, что все размеры (повороты) получают и измеряют от одной и той же базы (рис.7.12).

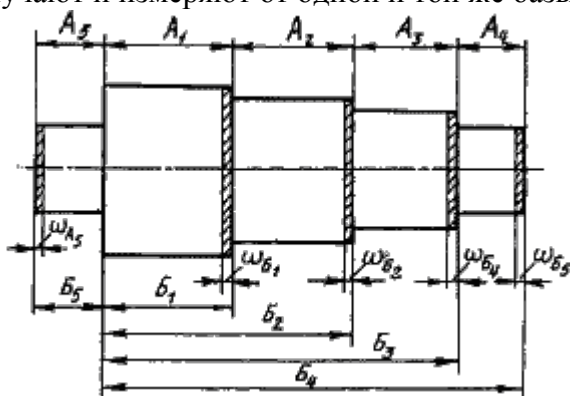


Рис.7.12. Получение размеров B_i координатным методом

Достоинства координатного метода:

1. Независимое получение координатных размеров от других координатных размеров.

2. Погрешность любого цепного звена при координатном методе задания размеров не превышает суммы погрешностей двух звеньев образующих цепное звено:

$$A_1 = B_1 \rightarrow \omega A_1 = \omega B_1$$

$$A_2 = B_1 - B_2 \rightarrow \omega A_2 = \omega B_1 + \omega B_2$$

$$A_3 = B_3 - B_2 \rightarrow \omega A_3 = \omega B_3 + \omega B_2$$

Сущность комбинированного метода заключается в том, что часть размеров у деталей получают цепным, а часть координатным методами.

ЛЕКЦИЯ 8

8. Достижение требуемой точности деталей в процессе изготовления. Сокращение погрешностей статической и динамической настроек

8.1. Настройка и технологической системы

Статическая настройка технологической системы – первоначальное предание требуемого положения режущего инструмента относительно исполнительных поверхностей станка.

Для настройки технологической системы необходимо знать рабочий настроечный размер (A_p). При этом необходимо различать обработку одной детали или партии деталей.

При настройке технологической системы на **обработку одной детали** рабочим настроечным размером выбирается размер, находящейся в границах поля допуска, например A_{Cp} :

$$A_p = A_{Cp} = 0,5 (A^{\min} + A^{\max})$$

Рабочий стремится придерживаться безопасной границы поля допуска, смещая рабочий настроечный размер в ее сторону.

Если при настройке режущую кромку инструмента расположить на расстоянии A_p относительно технологической базы заготовки, то размер, полученный в результате обработки, будет отличаться от A_p на величину размера динамической настройки системы A_d . Поэтому размер A_c (размер статической настройки) технологической системы определяется, как:

$$A_c = A_p - A_d$$

или

$$A_c = A_p - A_d \text{ в зависимости от знака } A_d \text{ (рис.8.1).}$$

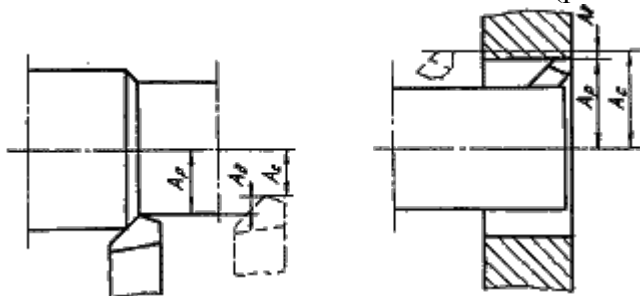


Рис. 8.1 Определение размера статической настройки

Трудность настройки заключается в том, что заранее неизвестно отклонение (Δ_d) размера A_d , так как оно является случайной величиной. Поэтому до сих пор очень широко используется метод пробных проходов.

Задача **настройки** технологической системы для **обработки партии** заготовок заключается в придании такого положения ω_T относительно границ поля допуска T , при котором можно получить наибольшее число годных деталей до поднастройки системы.

Для определения A_p необходимо знать: мгновенное поле рассеяния (ω_T) размеров и характер совокупного воздействия систематических факторов на положение центра группирования $M(x)$ и его смещения во времени.

Если степень влияния систематических факторов, смещающих $M(x)$ (вверх и вниз) равноценна, то рабочим настроечным размером избирается средний размер (рис.8.2 а):

$$A_p = A_{csp}$$

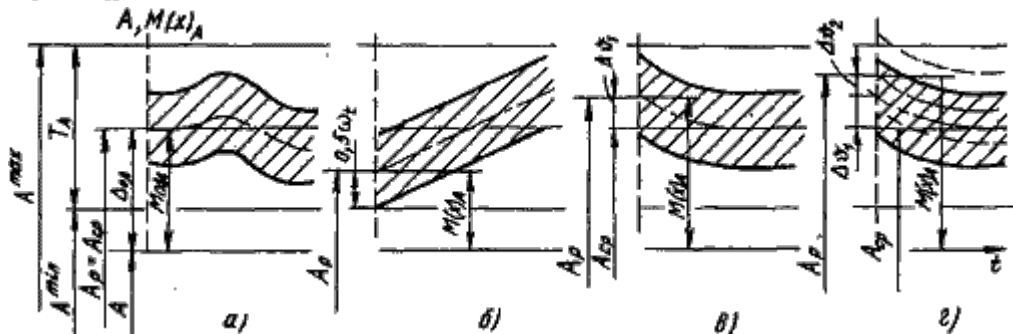


Рис.8.2. Определение A_p для настройки на обработку партии детали

Если в процессе обработки заготовок доминирует размерный износ, то рабочий настроечный размер определяется для охватывающих размеров: $A_p = A_{max} + 0,5\omega_T$, а для охватываемых - $A_p = A_{min} - 0,5\omega_T$ (рис.8.2 б).

Если доминирующими являются тепловые деформации, то рабочий настроечный размер определяется (рис.8.2 в, г): $A_p = A_{ср} + \Delta_{Уг}$.

Целью настройки технологической системы для изготовления партии деталей является совмещение центра группирования $M(x)$ с рабочим настроечным размером A_p .

Неизвестным является местоположение центра группирования $[M(x)]$, как его определить? Если предположить, что доминирует размерный износ, то тогда:

$$A_p = A^{\min} + \alpha + 0,5\omega_T,$$

где A^{\min} - наименьший предельный размер;

α - часть поля допуска, выделенная на случай возникновения, погрешности станка Δ_H (рис.10.3).

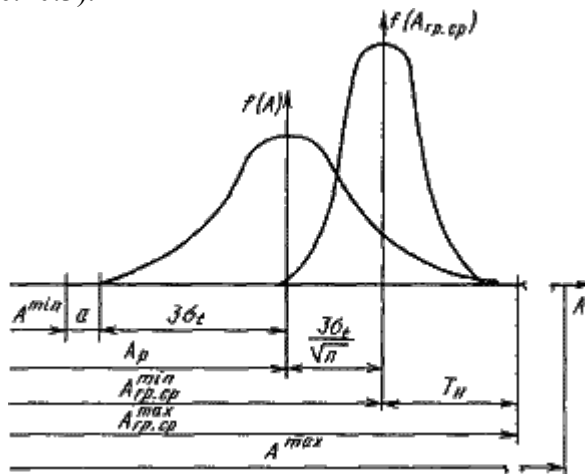


Рис.8.3. Настройка технологической системы

Предположим, что, используя метод пробных проходов, наладчик получил первую деталь с размером близким A_p . Однако по одной детали определить ход процесса не возможно, поэтому обрабатывают небольшую группу деталей и определяют средний групповой размер $A_{гр.ср}$.

Согласно теории вероятности:

$$\sigma_{гр.ср} = \frac{\sigma_T}{\sqrt{n}} \text{ (где } \sigma_{гр.ср} \text{ - среднее квадратичное отклонение групповых средних величин;}$$

σ_T - среднее квадратичное отклонение случайных значений размера A , возможных в пределах $\omega_T = 6\sigma_T$; n - число деталей, составляющих группу) появляется возможность судить о действии систематических факторов (рис.10.4). При настройке технологической системы необходимо обеспечить получение всех деталей годными, поэтому нижнее предельное значение должно определяться по формуле:

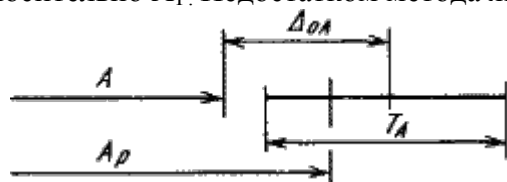
$$A_{гр.ср}^{\min} = A^{\min} + \alpha + 3\sigma_T + \frac{3\sigma_T}{\sqrt{n}}.$$

А верхнее предельное значение должно учитывать допуск T_H , ограничивающей погрешность настройки станка:

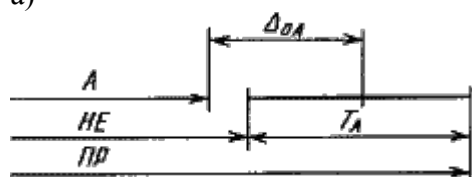
$$A_{гр.ср}^{\max} = A_{гр.ср}^{\min} + T_H$$

Настройка технологической системы по методу пробных деталей. Необходимость определять значения $M(x)$ и его положения относительно A_p привела к появлению следующих методов настройки по пробным деталям.

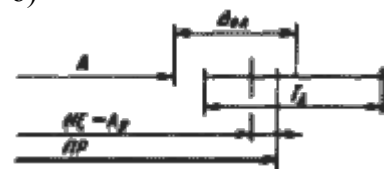
1. **Настройка с помощью универсальных измерительных средств.** Универсальные измерительные средства позволяют измерить размеры деталей, составляющих группу, вычислить $A_{гр.ср.}$ и определить местоположение $M(x)$ относительно A_p . Недостатком метода является высокая трудоемкость (рис.8.5 а).



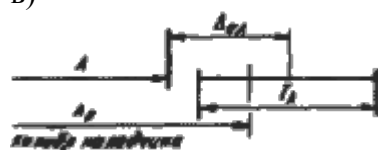
а)



б)



в)



г)

Рис. 8.5 Методы настройки технологической системы по пробным деталям

2. **Настройка по жестким предельным калибрам** (рис.8.5 б). При использовании предельных калибров можно установить лишь находятся или нет размеры пробных деталей в пределах поля допуска.

3. **Настройка по суженным предельным калибрам** (рис.8.5 в). При этом методе наладчик использует специальные калибры, охватывающие допуск на погрешность настройки технологической системы. В этом случае наладчик в состоянии придать ω_1 требуемое положение, и качественно настроить станок.

4. **Настройка по наблюдению за знаками отклонений** (рис.8.5.г). Наладчик использует калибр, размер которого равен A_p . Настройку начинают с получения минусового и плюсового отклонений размеров деталей от размера A_p . Настройку ведут до тех пор пока не будут получены отклонения «--++» или «---++» или «--+++». Метод используется при изготовлении простых и дешевых деталей, так как большой расход заготовок при настройке.

Способы, облегчающие настройку и повышающие ее точность. Настройка технологической системы начинается с установки приспособлений. Для упрощения процесса установки приспособлений на исполнительных поверхностях станков делают пазы. Центрирующие пояски, посадочные гнезда и т.п., а у приспособлений – шпонки, выточки, цилиндрические или конические хвостовики и т.д.

Наиболее простым средством сокращения затрат времени на настройку станка является **ранее изготовленная деталь** или специальный **эталон**. Особенно часто этот способ применяют при обработке заготовок несколькими инструментами. Заключается он в том, что инструмент режущими кромками приводят до соприкосновения с эталоном и закрепляют.

При обработке заготовок сложного профиля, больших габаритных размеров и массы используют, для настройки, специально изготовленные **габариты**. Габарит (рис.10.6 а) представляет собой профиль детали, который изготовляют в виде отливки или сварной конструкции небольшой толщины. Рабочие поверхности защищают калеными накладными пластинками.

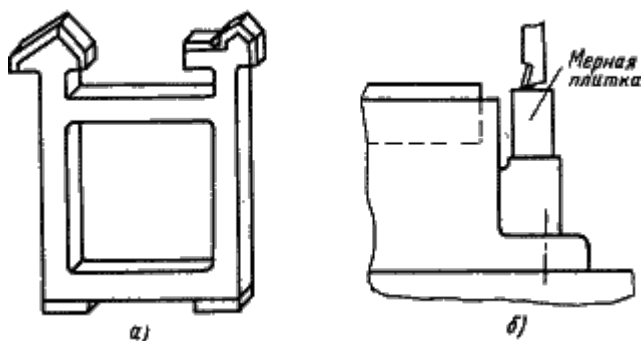


Рис.8.6. Средства, облегчающие настройку станка

При изготовлении деталей простых форм иногда для настройки используют плоскопараллельные меры, которые устанавливают на специальные площадки приспособлений (рис.8.6 б).

Для защиты поверхностей используются шупы или папиросная бумага. Точность настройки по эталонам и габаритам невысока (0,05—0,10 мм). Для повышения точности настройки станки снабжают специальными измерительными средствами. В большей степени точность настройки зависит от квалификации оператора.

8.2. Поднастройка технологической системы

Необходимость поднастройки возникает из-за того, что под воздействием систематических факторов точность первоначальной настройки теряется и возможно появление брака.

Поднастройка – восстановление требуемого положения режущей кромки инструмента относительно системы координат станка. Самым сложным при проведении поднастройки является определение момента поднастройки. При изготовлении деталей в больших количествах периодически берут выборку, состоящую из нескольких деталей, определяют $A_{зр\text{ср}}$, сопоставляют с допуском и отображают на диаграмме групповых средних размеров (рис.8.7). На диаграмме нанесены границы поля допуска на выдерживаемый размер A и контрольные границы, которые не должны переступить значения $A_{зр\text{ср}}$ размеров. Достижения значения $A_{зр\text{ср}}$ одной из контрольных границ служит сигналом для поднастройки. Технологические системы поднастраивают с использованием различных методов достижения точности.

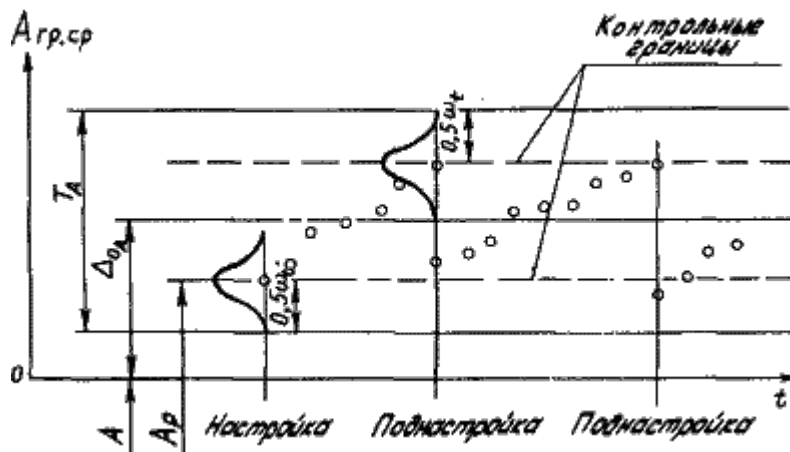


Рис.8.7. Групповые средние размеры

Наибольшее применение имеют методы полной и неполной взаимозависимости регулирования и пригонки.

Методами полной и неполной взаимозависимости осуществляется поднастройка при обработке мерным инструментом (сверлом, разверткой, протяжкой и т.п.). Весь мерный инструмент взаимозаменяемый. Поднастройка сводится к замене износившегося инструмента новым.

Широко применяем **метод регулировки** с использованием подвижных компенсаторов. Роль подвижных компенсаторов выполняют различные устройства (подвижные суппорты, бабки и т. п.).

Характерным примером **метода пригонки** является метод пробных проходов. Для перехода от размера заготовки A_k к размеру детали A_1 в процессе настройки или поднастройки выполняется несколько ходов. Припуск A_2 в данном случае является компенсатором (рис.8.8).

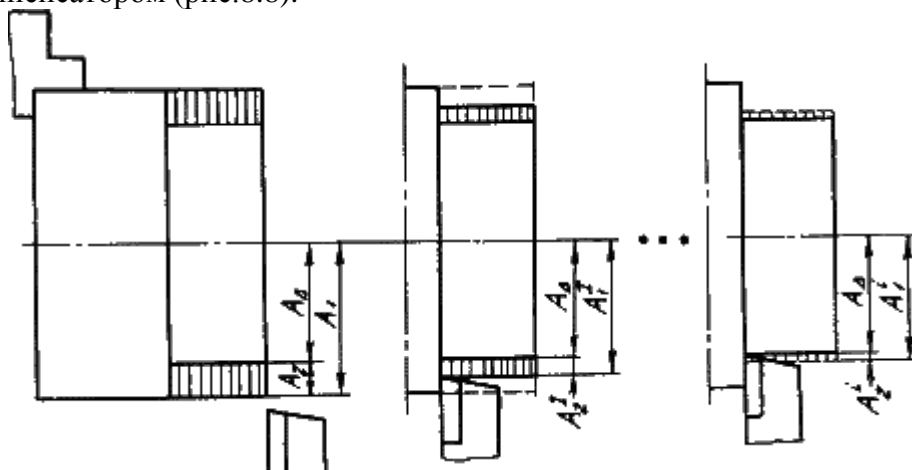


Рис.8.8. Настройка по методу пробных проходов

8.3. Происхождение и сокращение динамической настройки (ω_d) технологической системы

При врезании режущих кромок инструмента в материал заготовки, технологическая система подпадает под воздействием сил резания, перемещающихся масс ее деталей, узлов и заготовки, а также теплоты. Под действием сил, из-за зазоров в стыках деталей технологической системы, контактного и упругого деформирования заготовка и режущий инструмент начинают перемещаться в пространстве в направлениях, не предусмотренных кинематикой процесса обработки.

Перемещение происходит до тех пор, пока силы сопротивления, создаваемые упругими свойствами материала деталей, слоями СОЖ, силами трения, силами тяжести деталей не уравновесят действие внешних сил и пока в технологической системе не создается натяг, необходимый для съема слоя материала с заготовки.

К тому же, по мере нагрева деформируются детали системы СПИД, что также приводит к изменению относительного положения, достигнутого при статической настройке. Перемещения происходят до достижения уровня теплового равновесия.

В процессе обработки заготовки равновесное состояние технологической системы непрерывно нарушается. Причинами являются: непостоянство припуска, колебание свойств материала, изменение режимов обработки, изнашивание режущего инструмента и др.

Это приводит к дополнительным перемещениям в пространстве режущей кромки инструмента и заготовки, к изменениям степени деформирования элементов технологической системы.

Отклонения, возникающие в процессе обработки заготовки, называются погрешностями динамической настройки.

Одним из мощных факторов динамического характера является сила резания P и ее колебания. Из известных формул:

$$P = \sqrt{P_X^2 + P_Y^2 + P_Z^2} \quad \text{и} \quad P = \sqrt{\left(C_R t^{X_R} S^{Y_R} K_M^{U_R}\right)^2 + \left(C_R t^{X_R} S^{Y_R} K_M^{U_R}\right)^2 + \left(C_R t^{X_R} S^{Y_R} K_M^{Z_R}\right)^2},$$

можно определить, что значительное влияние на силу резания оказывает глубина (t) и свойства материала заготовки, характеризуемое коэффициентом K_M . Глубина резания определяется припуском на обработку, колебания значений которого является одним из решающих факторов, влияющих на точность детали.

Отклонения припусков на обработку. Значения и колебания значений припусков зависят в основном от точности заготовок, поступающих на обработку. Причем колебания припуска наблюдаются не только у различных заготовок данного наименования, но и в пределах одной поверхности. Поэтому силы резания могут меняться не только при переходе к обработке другой заготовки, но и при обработке разных участков поверхности одной и той же заготовки. Неравномерный припуск на отдельной поверхности приводит к отклонениям формы поверхности. Колебания припусков в партии заготовок является причиной рассеяния размеров деталей. Избыточный и неравномерный припуск заставляет назначать дополнительные рабочие ходы, что ведет к снижению производительности процесса изготовления детали и повышению ее себестоимости. Необходимо стремиться к уменьшению припусков.

Отклонения свойств материала заготовок. Также как и припуски, неоднородные свойства материала заготовок влияют на точность деталей через изменения сил резания. Связь сил резания принято учитывать коэффициентом K_M , поставленным в зависимость от твердости материала. Например: для горячекатаных и отожженных сталей - $K_M=1$, для алюминия и силумина - $K_M=2$ и т. д.

Значения припусков и характеристики свойств материала в технологическом процессе изготовления детали выступают как случайные величины. Поэтому и сила резания является случайной.

Связь точности изготовления деталей с припусками и свойствами материала заготовок сводится к следующему. Значение припуска и характер свойств материала заготовок определяет значение силы резания.

Сила резания через жесткость технологической системы трансформируется в относительное упругое перемещение режущего инструмента и заготовки, являющееся основной частью Φ_3 . Схематично связь точности детали со свойствами заготовки представлена на рис.10.9.

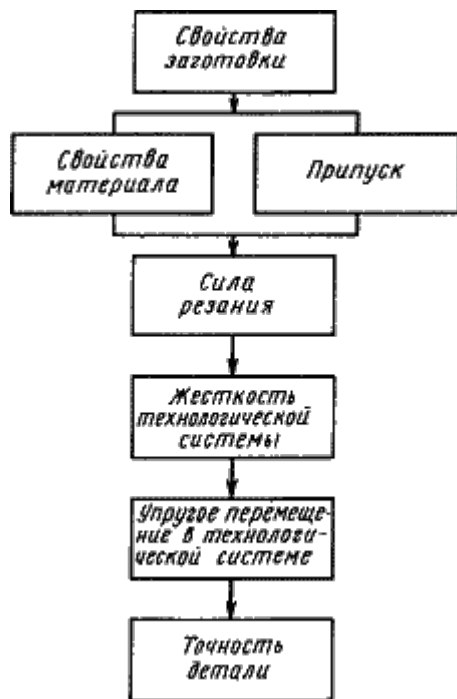


Рис.8.9. Связь точности детали со свойствами заготовки

ЛЕКЦИЯ 9

9. Основы технического нормирования. Пути сокращения затрат времени на выполнение операции

9.1. Основы технического нормирования

Нормой времени называется регламентируемые затраты, необходимые для выполнения данной операции в нормальных производственных условиях.

Норма времени может быть установлена расчетным, укрупненных нормативов, статистическим или опытным методом.

Наиболее прогрессивный метод – **расчетный**, так как он учитывает передовую технологию, современное оборудование, нормальные условия и организацию труда надлежащей квалификации. Для расчета времени используют соответствующие формулы. Например, для токарных, резьбонарезных, сверлильных работ, для зенкерования, развертывания и фрезерования:

$$t_{o.ж} = t_{маш} = \frac{Lk}{S} = \frac{Lk}{nS_{об}}$$

где S – минутная подача, [мм/мин];

n – частота вращения, [мин⁻¹];

$S_{об}$ – подача на 1 оборот шпинделя;

L – длина рабочего хода (рис.9.1), которая определяется по формуле:

$$L = l_1 + L_в + l_2$$

где l_1 – врезание инструмента,

l_2 – выход инструмента,

$L_в$ – длина обрабатываемой поверхности детали.

Расчетный метод трудоемок, поэтому применяется он, в основном, в массовом производстве.

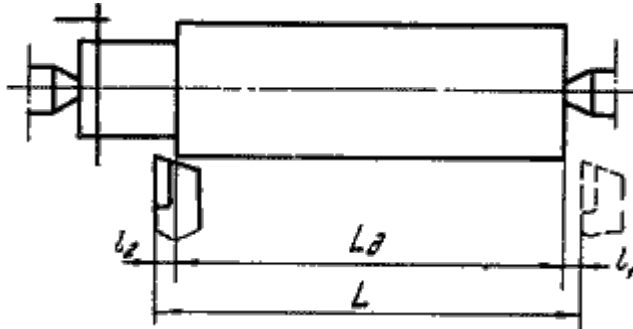


Рис. 9.1. Длина рабочего хода инструмента

Если основное технологическое время является ручным $t_{\text{отн}} = t_{\text{руч}}$, то оно определяется по нормативам, разработанным для различных работ, например, слесарно-сборочных.

Норма вспомогательного времени обычно связана с выполнением перехода вручную. Назначаются затраты времени по нормативам. Нормативы разрабатываются по результатам хронометрирования операций (переходов), выполняемых вручную.

Расчетный метод нормирования трудоемких, вследствие чего его чаще применяют в массовом производстве. В тех случаях, когда число одинаковых изделий, подлежащих изготовлению, невелико пользуются методом **укрупненных нормативов**, создаваемых на базе расчетного метода.

Для разработки таких нормативов детали разбивают на группы (втулки, кольца, зубчатые колеса и т.п.). Используя расчетный метод, нормируют операции технологических процессов изготовления отдельных представителей групп. По полученным результатам строят графики, на которых по оси ординат откладывают затраты времени на выполнение операции, а по оси абсцисс – один из характерных параметров изготавливаемой детали. С помощью такого графика можно установить нормы времени на выполнение операции по изготовлению деталей промежуточных размеров. Если норма времени зависит от двух размеров (рис.11.2), то строят семейство кривых, позволяющих учесть зависимость нормы и от другого размера.

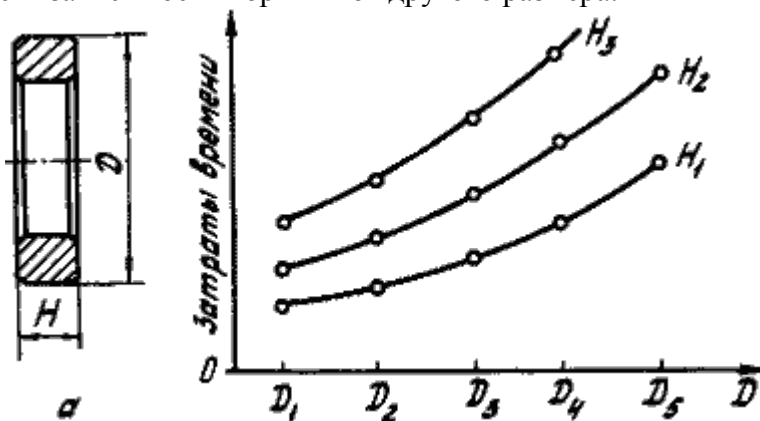


Рис. 9.2. Кольцо (а) и зависимость затрат времени на его изготовление от диаметра D и толщины H(б)

При использовании **статистического** метода норму времени устанавливают на основании статистических данных о затратах времени на выполнение аналогичных операций на станках одинакового типоразмера.

Опытный метод нормирования заключается в том, что нормирование поручается работнику, обладающему большим производственным опытом и использующему его при назначении нормы времени.

Оба последних метода учитывают лишь прошлые достижения. Несмотря на это, статистический и опытный методы нормирования используют в мелкосерийном и единичном производствах, так как они требуют малых затрат времени и расходов на нормирование.

9.2. Пути сокращения затрат времени на выполнение операции

Анализ формул, по определению штучно-калькуляционного времени t :

$$t = t_{\text{нз}} / n + t_{\text{шт}},$$

показывает, что его можно уменьшить либо путем сокращения подготовительно-заключительного ($t_{\text{нз}}$) и штучного времени ($t_{\text{шт}}$), либо увеличением объема партии изготавливаемых изделий n .

9.2.1. Пути сокращения подготовительно-заключительного времени

Затраты времени на подготовку к работе складываются из времени t_o получения и ознакомления рабочего с заданием, t_u получения и установки на станке инструментов и приспособлений (а по окончании работы их съема и сдачи) и времени t_c статической настройки технологической системы:

$$t_{\text{нз}} = t_o + t_u + t_c.$$

Сокращению затрат времени t_o способствует четкость в постановке задачи, исчерпывающе и ясно написанный технологический процесс и легко читаемый чертеж. Обеспечение этих требований ложится на инженерно-технический состав.

Своевременная доставка к рабочему месту чертежей, технологической документации. Управляющих программ, инструментов, приспособлений и заготовок зависит от совершенства организации производства.

Для уменьшения затрат времени на установку приспособлений и инструмента на станке обычно используют методы взаимозаменяемости. Их положение на станке достигается путем соприкосновения поверхностей основных баз приспособления или инструмента с исполнительными поверхностями станка и последующего закрепления.

Значительная доля подготовительно-заключительного времени приходится на статическую настройку технологической системы. Использование различных регулировочных устройств, позволяющих быстро и с достаточной точностью придать требуемое положение относительно рабочих органов станка, существенно облегчает задачу статической настройки.

С целью ускорения процесса настройки технологической системы широко используют сменные резцедержатели, револьверные головки и сменные инструментальные магазины с заранее настроенным инструментом.

9.2.2. Пути сокращения штучного времени

Из анализа формулы штучного времени $t_{\text{шт}}$ следует, что оно может быть сокращено главным образом за счет оперативного времени:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_e,$$

поскольку доля остальных слагаемых в штучном времени не велика. Сокращение $t_{\text{шт}}$ возможно путем либо уменьшения $t_{\text{оп}}$ и t_e , либо полным или частичным совмещением во времени переходов в операции.

Пути сокращения основного технологического времени, если оно является машинным, указывает формула, соответствующая методу обработки детали, например при точении:

$$t_{\text{м}} = \frac{(l_1 + L_0 + l_2) k}{n S_{\text{об}}}$$

Сокращение машинного времени может быть достигнуто за счет уменьшения пути относительного движения с рабочей подачей инструмента и заготовки, сокращения числа рабочих ходов k , повышения режимов обработки, совмещения во времени основных переходов,

Наибольший эффект в уменьшении пути рабочего хода инструмента получается при распределении длины обрабатываемой заготовки между несколькими режущими инструментами. Например, обработка поверхности вала двумя резцами (рис.9.3) дает сокращение $t_{\text{м}}$ почти вдвое по сравнению с обработкой одним резцом.

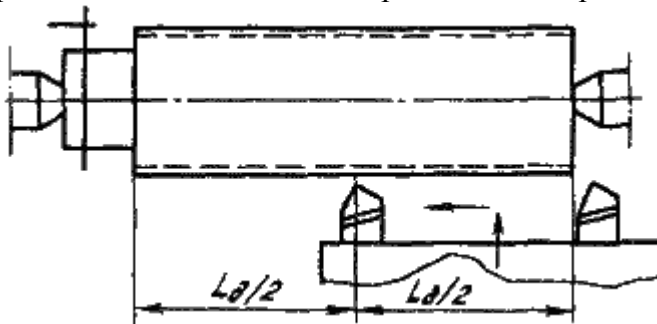


Рис.9.3. Обработка поверхности двумя резцами.

Сокращение пути относительного движения инструмента и заготовки может также осуществляться за счет длин на вход и выход режущего инструмента. На рис.9.4 а показано уменьшение l_1 путем увеличения диаметра фрезы, а на рис.9.4 б - за счет совмещения оси фрезы с плоскостью симметрии заготовки. В обоих случаях $l_1'' < l_1'$.

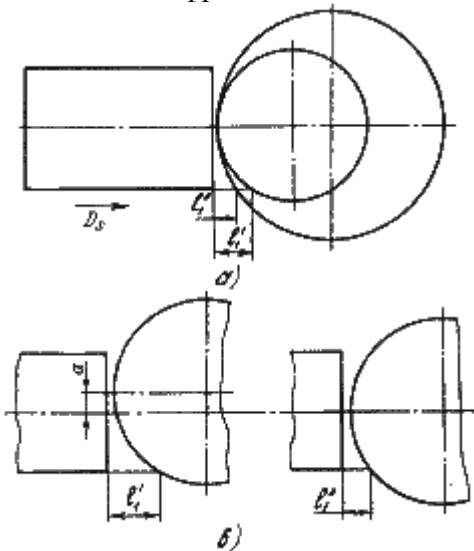


Рис.9.4. Способы уменьшения «недобега» инструмента

Уменьшению длин на вход и выход режущего инструмента способствует повышение точности работы механизмов включения рабочей подачи, точности размеров заготовки в направлении рабочей подачи, точности ее базирования.

Число рабочих ходов k зависит от припуска на обработку, мощности станка и требований к точности получаемых размеров. Достичь сокращения числа рабочих ходов можно приближением размеров и формы заготовок к готовой детали. Использование

устройств адаптивного управления упругими перемещениями в технологических системах также приводит к сокращению k . Стабилизация силы резания при обработке приводит не только к снижению k , но и повышению точности выдерживаемых размеров. Повышение же точности заготовки на предшествующих операциях позволяет сократить k на последующих операциях.

Одним из эффективных средств уменьшения машинного времени является повышение режимов резания. Выбор режимов резания тесно связан с требуемой точностью детали, качеством поверхностных слоев материала и стойкостью режущего инструмента.

Подача лимитируется допускаемой при обработке силой резания, от значения которой зависят упругие перемещения в технологической системе и качество поверхностного слоя обрабатываемой заготовки. Скорость резания лимитируется размерной стойкостью режущего инструмента и количеством образовавшейся в процессе резания теплоты, деформирующей технологическую систему и влияющей также на качество поверхностного слоя.

Значительное сокращение машинного времени при выполнении операции дает совмещение во времени основных переходов. Например, обработка поверхностей различных диаметров заготовки блока зубчатых колес на многолезцовом станке 12-ю инструментами (рис.9.5). Машинное время в этом случае будет равно машинному времени наиболее длительного основного перехода:

$$t_{\text{м}} = t_{\text{о}_i}^{\text{нб}},$$

где $t_{\text{о}_i}$ — затраты времени на выполнение i -го основного перехода.

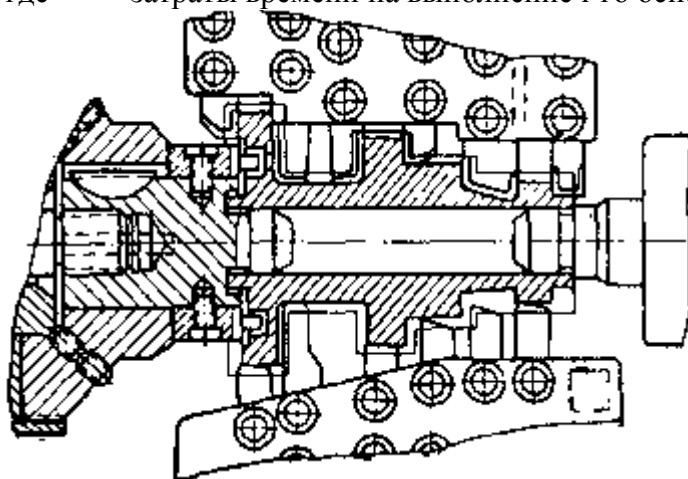


Рис.9.5. Совмещение во времени основных переходов при многолезцовой обработке блока зубчатых колес

Сокращение основного технологического времени. Если оно является ручным, может быть достигнуто механизацией ручного труда.

Доля вспомогательного времени в оперативном времени может быть значительной, а в ряде случаев и превосходить его. Повышение режимов обработки, применение новых видов инструментов, оснащенных твердыми и сверхтвердыми материалами, внедрение более быстроходного и мощного оборудования способствует росту доли вспомогательного времени. Поэтому во многих случаях сокращение вспомогательного времени является решающим фактором в повышении производительности труда.

Вспомогательное время может быть сокращено двумя путями: непосредственным сокращением времени, затрачиваемого на выполнение вспомогательных переходов, и совмещением выполнения вспомогательных переходов с основными.

Непосредственное сокращение $t_{\text{в}}$ возможно за счет уменьшения затрат времени на замену обработанной заготовки; увеличения скорости холостых перемещений;

уменьшения затрат времени на управление оборудованием и приспособлениями; уменьшением времени, затрачиваемого на контроль за ходом технологического процесса.

Установка с требуемой точностью заготовок отнимает много времени (для крупногабаритных деталей иногда занимают 8-10ч). Применение специальных, универсальных оснащенных быстродействующими пневматическими, гидравлическими, электромеханическими зажимами обеспечивает базирование по правилу шести точек с меньшими затратами времени.

Для уменьшения затрат времени на вспомогательные перемещения все современные станки оснащаются механизмами ускоренных перемещений рабочих органов и автоматическими устройствами, обеспечивающими переход к рабочей подаче.

Время, затрачиваемое на управление станком и приспособлением, сокращают в результате концентрации управления в одном месте, а на тяжелых станках пульты дублируют, что позволяет управлять станком с разных точек рабочего места.

Оснащение современных станков измерительными устройствами, устройствами цифровой индикации, диагностика состояния станка и инструментов позволяет сократить затраты времени на контроль за ходом технологического процесса.

К уменьшению оперативного времени приводит полное или частичное **совмещение** вспомогательных переходов с выполнением основных. Примером такого совмещения может служить установка очередной заготовки в конце поворотного стола фрезерного станка в то время, как на другом его конце идет обработка предшествующей заготовки (рис.9.6 а). По окончании обработки стол поворачивается на 180°, начинается обработка очередной заготовки, а на свободном конце стола обработанная заготовка заменяется новой.

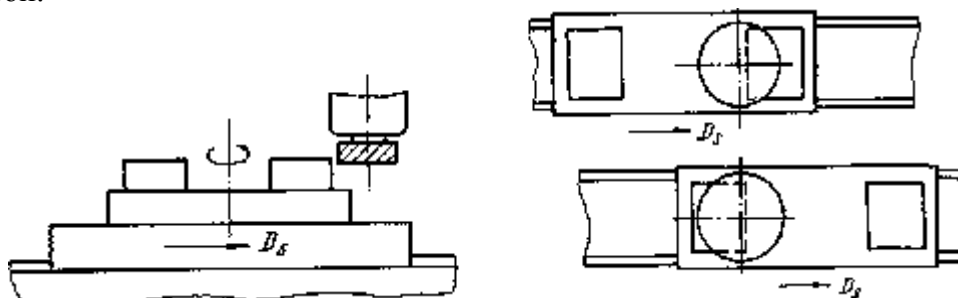


Рис.9.6. Обработка на двухпозиционном станке (а) и «маятниковая» обработка (б)

Совмещение времени установки заготовки с ее обработкой может быть получено и при «маятниковой» обработке (рис.9.6 б).

23.3. Структура временных связей в операциях технологического процесса

Структура оперативного времени в операциях могут отличаться в зависимости от способов выполнения основных переходов, степени совмещения выполнения основных и вспомогательных переходов; числа потоков, дублирующих выполнение одинаковых переходов при изготовлении одноименных изделий.

При осуществлении операции основные переходы могут быть выполнены тремя способами: последовательно; параллельно-последовательно и параллельно (рис.9.7).

При **последовательной** обработке заготовки выполнение основных переходов следует один за другим (рис.9.7 а). Поэтому, время, затраченное на выполнение основных переходов:

$$t_{\text{оп}} = \sum_{i=1}^P t_{\sigma_i},$$

где P – число основных переходов в операции.

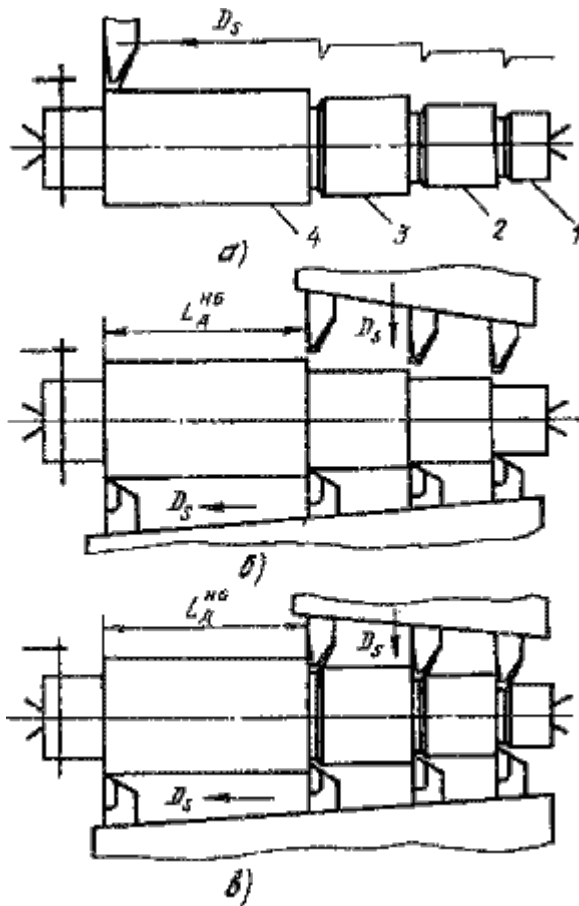


Рис. 9.7. Обработка заготовки вала различными способами

При **параллельно-последовательной** обработке группа инструментов одновременно обрабатывает одни поверхности заготовки, а затем группа этих же (или других) инструментов обрабатывает другие (или те же) поверхности той же заготовки (рис.9.7 б). Время, затраченное на две группы основных переходов, составит сумма времени выполнения наиболее длительных переходов в каждой из групп основных переходов:

$$t_{\text{опт}} = \sum_{i=1}^r t_{\text{опт}}^{i \text{ MS}}$$

где r – число групп основных переходов.

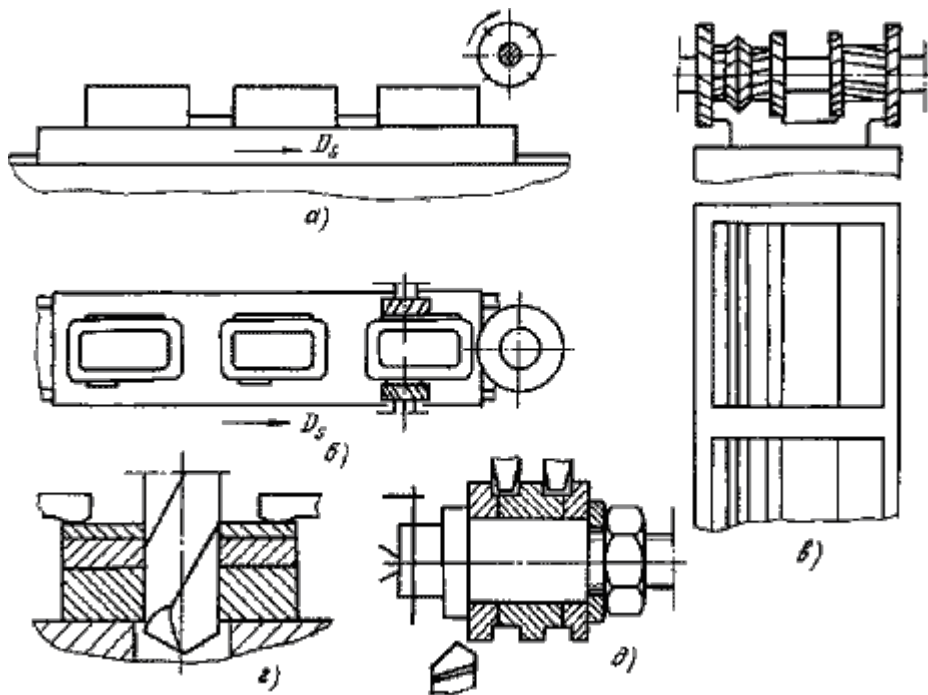


Рис.9.8. Три способа осуществления основных переходов при многоместной обработке

Параллельный способ обработки характеризуется одновременностью обработки поверхности заготовки многими инструментами. Поэтому основное технологическое время равно наибольшему времени обработки одной или нескольких поверхностей равноценных по затратам времени (рис.9.7 в-д):

$$t_{\text{отн}} = t_{\text{отн}}^{\text{НБ}}$$

Все три способа выполнения основных переходов можно вести как при одноместной (рис.22.7), так и при многоместной обработке (рис.9.8).

Оперативное время, приходящееся при многоместной обработке на одну заготовку, будет равно оперативному времени $t_{\text{отн}}^{\text{Н}}$ обработки n заготовок, отнесенному к числу n :

$$t_{\text{отн}} = t_{\text{отн}}^{\text{Н}} / n$$

9.4. Условия труда и его производительность

Производительность труда каждого работника в значительной мере зависит от интереса к выполняемой работе и условий труда. Работа, которая увлекает, делают быстрее, и человек при этом устает меньше, поэтому очень важно, чтобы работник, получающий задание, понимал цель и значение предстоящей работы и был заинтересован в ней. Утомителен труд, сводящийся к чисто механическим однообразным действиям, как это часто бывает в поточном производстве. Так как он притупляет сознание и внимание человека и может привести к травмам. Учитывая это, на заводах массового производства время от времени переставляют рабочих с одних операций на другие.

Условия, в которых человеку приходится трудиться, существенно влияют на утомляемость, а следовательно, и на производительность труда. Удобное положение работающего на рабочем месте, простота и удобство управления процессом, чистота, свежий воздух, нормальная температура воздуха и освещенность помещения, отсутствие излишнего шума, четкая организация производства, удобная одежда, доброжелательные отношения в коллективе напрямую отражаются на производительности труда.

Социологические исследования, проведенные на одном из московских станкостроительных заводов, показали, что наибольшего уровня производительность

труда достигает через 45 мин после начала смены, снижается за 15 мин до обеда, и опять достигает максимума через 15 мин после обеда и постепенно падает за 1 ч до конца смены (рис.22.9). Теми же исследованиями было установлено, что плохое настроение рабочего приводит к снижению производительности его труда на 9—18%.

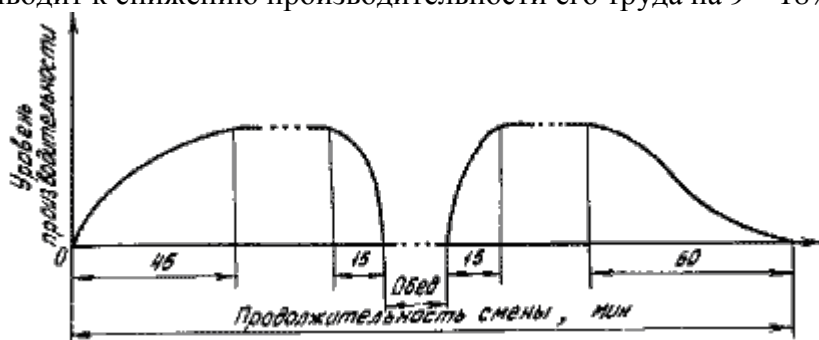


Рис.9.9.Изменение уровня производительности труда в течение смены

Забота о человеке должна лежать в основе разработки технологических процессов, конструкций оборудования и технологической оснастки, планировки оборудования, организации производства и рабочих мест, культурного и бытового обслуживания работающих

ЛЕКЦИЯ 10

10. Технологичность конструкции изделия. Выбор наиболее экономичного варианта технологического процесса

10.1. Технологичность конструкции изделия

Конструкцию машины или детали принято называть технологичной. Если она позволяет в полной мере использовать для изготовления наиболее экономичный технологический процесс, обеспечивающий ее качество при надлежащем количественном выпуске.

Являясь одним из свойств конструкции, технологичность дает возможность снизить трудоемкость изготовления изделия и его себестоимость. Опыт машиностроения показывает, что путем повышения технологичности конструкции машины можно получить дополнительно сокращение трудоемкости ее изготовления на 15—25% и снижения себестоимости на 5-6%. Например, стоимость обработки отверстия диаметром 8 мм на глубину свыше 90 его диаметров в несколько раз превысила бы стоимость всех остальных операций по изготовлению корпуса цилиндра приведенного на рис. 10.1.

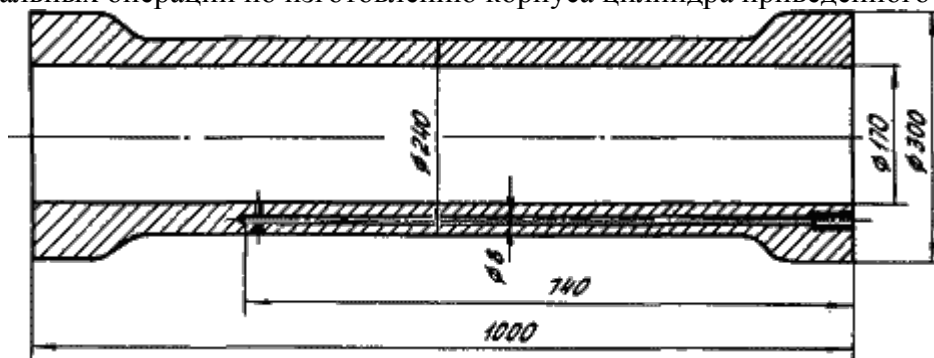


Рис.10.1. Пример нетехнологичной конструкции корпуса гидравлического цилиндра

Из-за специфики конструкций и условий производства невозможно дать всеобъемлющие рекомендации по поводу того, какую конструкцию изделия считать

технологичной или нетехнологичной, поэтому ограничимся несколькими примерами, поясняющими лишь смысл этих представлений.

На рис.10.2. с левой стороны расположены примеры нетехнологического оформления конструкций деталей и их элементов, с правой стороны те же конструкции, но более технологичные.

Обработка отверстия со стороны наклонной и криволинейной поверхности (рис.10.2. а) затруднена тем, что при врезании сверло будет скользить и может сломаться. Без канавки для выхода шлифовального круга (рис.10.2 б) переход от цилиндрической к плоской поверхности получится с закруглением. Долбить шпоночный паз во втулке до упора (рис.10.2 в) невозможно; необходимо отверстие (кольцевая выточка) для выхода резца. Обработка сквозного ступенчатого отверстия проще, чем обработка двух отверстий с противоположных сторон втулки (рис.10.2 г).

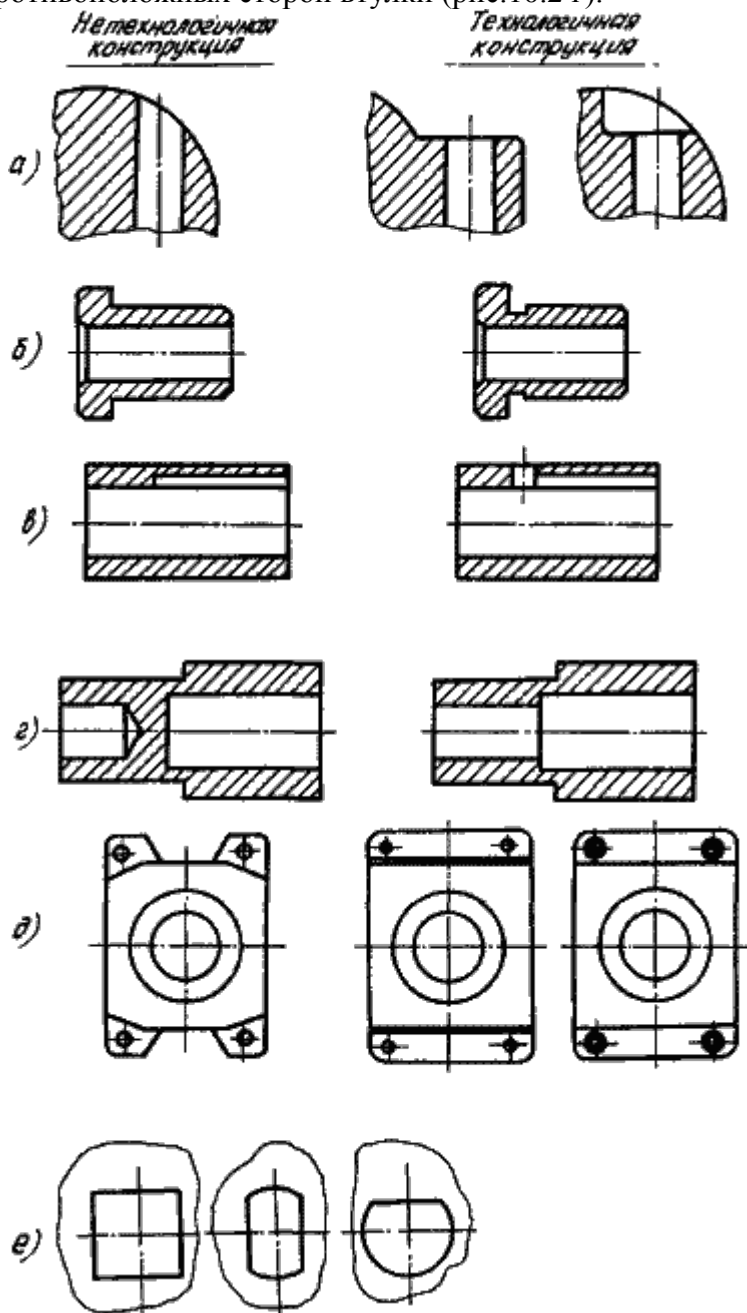


Рис. 10.2. Примеры нетехнологичных и технологичных конструкций деталей

Размещение крепежных отверстий в корпусе на сплошной полке (рис.10.2 д), а не на лапках позволяет обрабатывать поверхность полки на проход и воспользоваться преимуществами многоместной обработки. Если отверстия дополнить цековками, то

необходимость в обработке полки отпадает. Фасонные отверстия (рис.10.2 е) могут быть обработаны только протяжкой и вырубкой в листовом материале, что экономично лишь при большом объеме выпуска изделий.

Вопрос создания технологичных конструкций машин и их деталей необходимо рассматривать комплексно. Например, для валов наиболее технологичной является бесступенчатая цилиндрическая поверхность. Однако такая конструкция вала усложнила бы конструкцию сборочной единицы из-за усложнения конструкции сопрягаемых с валом деталей и введения дополнительных деталей.

Технологичность конструкции машины или детали тесно связана с их количественным выпуском. Объясняется это тем, что при различных объемах выпуска изделий в единицу времени и по неизменным чертежам используют оборудование и технологическую оснастку различной производительности и с разными первоначальными затратами. Например, конструкция оси (рис.10.3) технологичная при ее изготовлении в многоместном приспособлении на горизонтально-фрезерном станке (рис.10.3 а) при увеличении объема выпуска становится нетехнологичной. Возросший объем выпуска привел к использованию карусельного типа оборудования, что потребовало изменения одного из конструктивных элементов оси (рис.10.3 б) – введения криволинейной поверхности определенного радиуса.

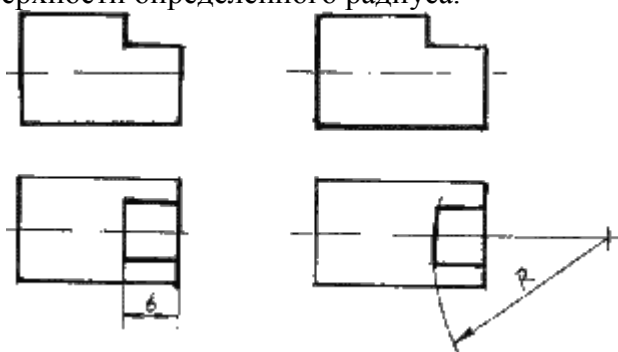


Рис.10.3 Технологичные конструкции оси.

Не редки случаи, когда с понятием о технологичности отождествляется понятие об экономичности конструкции. Так как источники экономии затрат различны, то смешивать эти понятия недопустимо. Более технологичная конструкция может оказаться не экономичной. Так, на рис.10.4. представлены две конструкции подшипника скольжения.

Первая из них будет более технологичной из-за простоты конструкции, а следовательно, и более экономичного технологического процесса изготовления. Технологический процесс изготовления второй втулки более сложен и дорог. Однако то, что втулка первой конструкции целиком изготавливается из дорогостоящей бронзы, а вторая имеет лишь бронзовый вкладыш в стальном корпусе, делает конструкцию последней более экономичной.

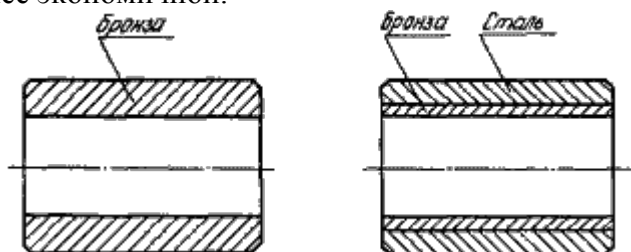


Рис.10.4 Технологичная (а) и экономичная(б). но менее технологичная конструкция подшипника скольжения

Понятие о технологичности конструкции распространяется не только на технологические процессы изготовления, но и на процессы технического обслуживания и ремонта машины.

10.2. Унификация конструкций машин

Под **унификацией машин** понимают использование в различных машинах одних и тех же сборочных единиц и деталей. Унификация позволяет увеличить объем выпуска унифицированных изделий и организовать для их изготовления специальные цеха и заводы с применением передовой технологии и организации производства. Выпуск в больших объемах одинаковых изделий на специализированных заводах открывает возможность использования более дорогого, но более производительного оборудования, инструмента и технологической оснастки, способствующих снижению трудоемкости изготовления изделий. Широко известными унифицированными изделиями являются подшипники качения, электродвигатели, детали и узлы автомобилей и т.д. Например, Горьковский автомобильный завод использовал в грузовых автомобилях ГАЗ-51А –55%, ГАЗ-52-03 – 71%, ГАЗ-53 – 62,3%, ГАЗ-66 – 42,5% унифицированных деталей.

Унификация изделий приводит к существенным экономическим выгодам, получаемым в результате увеличения объемов их выпуска. Установлено, что снижение себестоимости изделий при переходе от мелкосерийного их производства к массовому достигает 75% и более.

10.3. Типизация технологических процессов

Под **типизацией технологических процессов** понимают разработку технологических процессов на изготовление типовых деталей, сборочных единиц и машин в целом, отражающих наиболее передовой опыт и достижения промышленности, науки и техники.

Машины или детали делят на классы. **Классом** называют совокупность изделий (машин, СЕ или деталей), обладающих близостью служебного назначения.

Сходство служебного назначения изделий порождает сходство требований, которым должна удовлетворять машина, СЕ или деталь, близость конструктивных форм, размеров и других качественных показателей.

В каждом классе машин, СЕ и деталей выбирают типовую машину, СЕ или деталь. Типовой называют деталь (машину, СЕ), наиболее полно представляющую служебное назначение данного класса. Типовая деталь (машина, СЕ) должна охватывать все конструктивные элементы, присущие данному классу деталей, отличаться наиболее высокими требованиями к точности размеров, изготавливаться из материала, соответствующего служебному назначению деталей данного класса. В случае, если ни одна деталь данного класса не отвечает в полной мере указанным требованиям, то разрабатывают конструкцию детали-представителя, учитывающую особенности всех деталей, составляющих класс.

При разработке технологии изготовления конкретной детали из технологического процесса типовой детали выбирают операции и переходы, касающиеся ее конструкции, указывают численные значения ее размеров и требований к точности. Порядок же обработки заготовок остается общим для всех деталей, включенных в класс.

Разработку типовых технологических процессов ведут с учетом типа производства. Для разных объемов выпуска изделий будут свои типовые технологические процессы, ориентированные на применение наиболее производительного оборудования и технологической оснастки, экономичных для данного типа производства.

Типовые технологические процессы способствуют следующему:

- облегчению труда технологов и сокращению затрат времени на разработку технологии изготовления новых изделий;
- сокращению циклов подготовки производства новых изделий;
- внедрению в производство наиболее передового опыта и достижений науки и техники;

- выявлению потребностей в новых видах оборудования и технологической оснастки;
- отработке технологичности конструкции машины, СЕ и деталей.

10.4. Метод групповой обработки заготовок деталей

В массовом и крупносерийном производстве увеличение производительности процессов изготовления деталей достигается главным образом за счет применения высокопроизводительных специальных оборудования и технологической оснастки.

В мелкосерийном и единичном производстве, где объемы партий изготавливаемых деталей обычно невелики, обходятся в основном универсальными средствами производства. Специальные приспособления и инструмент применяют лишь в исключительных случаях.

Метод групповой обработки предоставляет возможность расширить применение более производительного оборудования в мелкосерийном и единичном производстве. Его сущность сводится к следующему.

Детали, подлежащие изготовлению, группируют по близости их служебного назначения. Что приводит к общности конструктивных форм, материалов, размеров, требований к точности. В группе выбирают наиболее сложную деталь и для каждой операции ее технологического процесса разрабатывают схему настройки станка. Другие детали, входящие в группу. Могут быть изготовлены на данной операции либо без поднастройки станка и с использованием только части инструмента, установленного на станке, либо с частичной заменой инструмента и частичной поднастройкой станка. Затраты подготовительно-заключительного времени при этом существенно сокращаются. Большая производительность используемых станка и технологической оснастки уменьшает штучное время.

Например, для изготовления каждой из деталей, показанных на рис.24.5, при условии, что объемы партий не будут превышать 10 шт., вероятнее всего будет избран универсальный токарно-винторезный станок. Однако объединение втулок в группу А, колец в группу Б и валиков в группу В позволяет вести изготовление групп деталей на токарном станке с ЧПУ, используя групповые настройки.

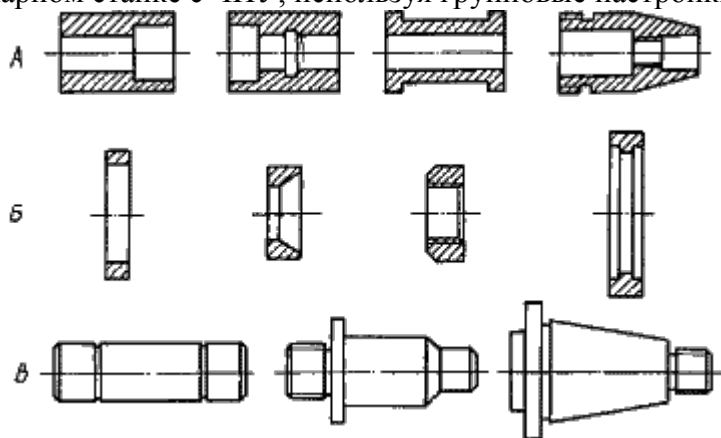


Рис.10.5. Объединение деталей в группу

Метод групповой обработки используют в среднесерийном производстве при создании переналаживаемых агрегатных станков и автоматических линий. Благодаря методу групповой обработки стала возможна автоматизация мелкосерийного и единичного производства и построение ГПС.

10.5. Выбор наиболее экономичного варианта технологического процесса

Для сопоставления двух и большего числа возможных вариантов технологического процесса с целью выбора наиболее экономичного можно использовать графо-аналитический метод. Для этого все расходы, связанные с осуществлением каждого

варианта, делят на две группы: не зависящие и зависящие от числа подлежащих изготовлению изделий.

В первую группу включают расходы на оборудование, приспособления и комплект инструментов. Во вторую группу включают расходы на заработную плату рабочих и наладчиков, расходы на материалы, содержание, эксплуатацию и амортизацию оборудования, приспособлений и инструментов.

Если обозначить первую группу расходов через b , вторую через m и число изделий через x , то себестоимость изготовления x изделий (рис.24.6):

$$C = b + mx$$

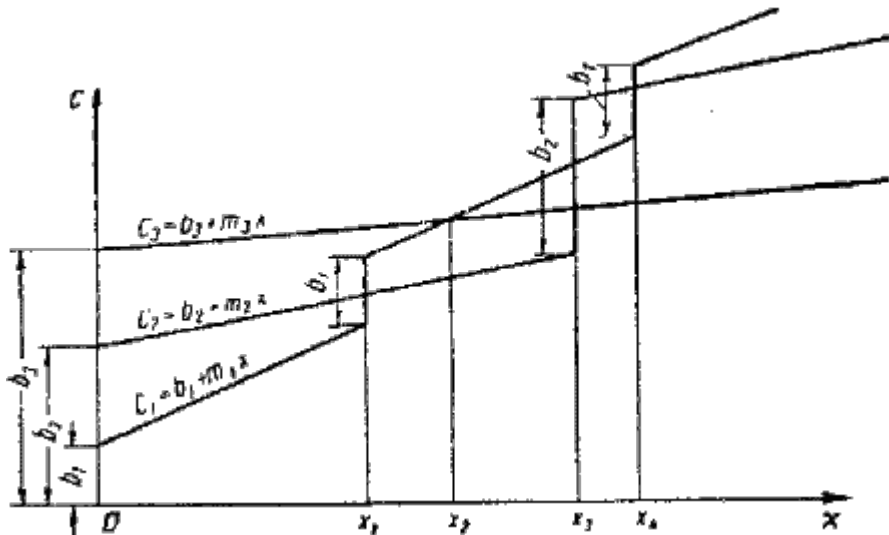


Рис.10.6. Графическое сопоставление себестоимости трех различных вариантов технологического процесса

Для сравнения нескольких вариантов технологического процесса, например трех, необходимо составить три уравнения:

$$C_1 = b_1 + m_1x, C_2 = b_2 + m_2x, C_3 = b_3 + m_3x,$$

каждое из которых действительно при своих предельных значениях x , что и отображает график, приведенный на рис.12.6. Первый вариант технологического процесса будет экономичнее при $0 < x < x_1$ и $x_3 = x < x_4$, второй — при $x_1 = x < x_3$, а третий — при $x = x_3$ и при больших значениях x .

Изложенный метод позволяет правильно и быстро выявлять наиболее экономичный вариант технологического процесса применительно к данным производственным условиям.

10.6. Экономические связи в производственном процессе

Под **экономическими связями** в производственном процессе изготовления машины следует понимать отношения между затратами живого и овеществленного труда, определяющими себестоимость единицы продукции.

Количественную сторону экономических связей наиболее полно отображает формула себестоимости единицы продукции. Слагаемые себестоимости получают первоначальные значения при разработке конструкции машины и построении технологического и производственного процессов ее изготовления.

Выбор материала деталей и разработка их конструктивных форм; выбор методов достижения требуемой точности машины и расчет конструкторских размерных цепей; выбор вида и формы организации производственных процессов сборки машины и изготовления деталей; выбор способов получения заготовок и их обработки; выбор

технологического, транспортного и других видов оборудования; их планировка и т.д. сопровождаются экономической оценкой принимаемых решений.

В процессе производства машины экономические связи проявляются в действиях и подчинены вероятностным законам. Например, расходы по заработной плате рабочих связаны с расходами на материал через величины припусков у заготовок, т.к. больший припуск требует больших затрат времени на его удаление. Большие затраты времени на выполнение операции увеличивают долю амортизационных отчислений по оборудованию, приспособлениям, инструментам, приходящихся на изготовленную деталь, увеличивают расход электроэнергии и используемых при этом материалов.

Ход производственного и технологического процессов находится под воздействием многих факторов, вызывающих отклонение затрат времени на выполнение операции, доставку заготовок и инструментов к рабочим местам, вынужденные простои оборудования, затруднения с наладкой оборудования, сбои в информационном процессе и т.д. В конечном счете, все эти отклонения отражаются на себестоимости изделий.

Если изготовление каждой детали на отдельной операции сопроводить подсчетом себестоимости, то обнаружится рассеяние ее значений. Рассеиваться будут и значения себестоимости деталей, прошедших весь технологический процесс изготовления. Отсюда следует, что процесс формирования себестоимости единицы продукции является случайным процессом, поэтому характеристиками себестоимости партии изделий должны служить ее среднее значение и поле рассеяния.

Для того, чтобы создаваемые машины были экономичны и конкурентоспособны, необходимо проникновение в область экономических связей с тем, чтобы осознанно формировать их при проектировании машины, технологии, производственного процесса и управлять ими в процессе изготовления машины. Особую остроту эти положения приобретают в условиях рыночной экономики, где качество и экономичность изделий определяют саму возможность финансового существования их производителя.

ЛЕКЦИЯ 11

11. Основы разработки технологического процесса изготовления машины. Разработка технологического процесса сборки машины

Разработка технологического процесса изготовления машины представляет собой решение сложной комплексной задачей, охватывающей процессы сборки машины и изготовления деталей, входящих в ее состав.

Для разработки технологического процесса изготовления машины необходимы следующие исходные материалы: описание служебного назначения машины; технические требования и нормы точности, вытекающие из служебного назначения машины; рабочие чертежи машины; число машин, намечаемых к выпуску в единицу времени по неизменным чертежам; условия, в которых предполагается организовать и осуществлять изготовление машины (на действующем или создаваемом заводе, возможности кооперирования с другими заводами, условия снабжения, наличие и перспективы получения кадров); плановые сроки подготовки производства и выпуска машины.

11.1. Последовательность разработки технологического процесса изготовления машины

Задачей каждого технологического процесса является экономичное изготовление машин, отвечающих их служебному назначению. Для успешного решения этой задачи разработку технологического процесса изготовления машины нужно вести в следующей последовательности:

1. изучение служебного назначения машины, технических требований, норм точности и критический анализ их соответствия служебному назначению;
2. ознакомление с намечаемым количественным выпуском машин в единицу времени и по неизменным чертежам;
3. изучение рабочих чертежей машины и их критический анализ с точки зрения возможности выполнения машиной ее служебного назначения, методов достижения точности, заложенных в конструкцию, технологичности конструкции машины;
4. разработка технологии общей сборки машины и сборки ее сборочных единиц;
5. изучение служебного назначения деталей, технических требований, норм точности и критический анализ их соответствия своему случайному назначению, а также анализ технологичности конструкции деталей;
6. выбор наиболее экономичных способов получения заготовок, обеспечивающих требуемое качество деталей;
7. разработка технологических процессов изготовления деталей;
8. планировка оборудования и рабочих мест;
9. оформление заказов на проектирование и изготовление оборудования, приспособлений и инструментов;
10. внесение в технологический процесс корректив и устранение допущенных ошибок и недочетов.

Изучение служебного назначения машины и анализ технических требований и норм точности

Каждая машина предназначена для выполнения определенного процесса, результатом которого является продукция того или иного вида. Поэтому изучение служебного назначения машины надо начинать с ознакомления с результатами ее действия. Например, изучение служебного назначения станка необходимо начинать с ознакомления с формами, с размерами и требованиями к точности детали, для изготовления которых предназначен станок. Далее следует требования к производительности, мощности, надежности станка и т.д.

Формулировка служебного назначения машины должна включать перечень условий, в которых машине предстоит работать и производить продукцию, требуемого качества в необходимых количествах. Любая машина выполняет технологический процесс с помощью различного рода связей (размерных, кинематических, динамических, электрических, гидравлических и др.), действующих между ее исполнительными поверхностями. Возможность осуществления связей заложена в конструкцию машины в виде связей свойств материалов и размерных связей. Поэтому, изучив служебное назначение машины, технологу необходимо выполнить переход от служебного назначения машины техническим требованиям и нормам точности.

Намечаемый выпуск машины. Ознакомление с намечаемым выпуском машины в единицу времени и по неизменным чертежам необходимо для выбора наиболее экономичных видов и форм организации производственных процессов, которые определяют построение технологических процессов, выбор оборудования и технологической оснастки, степень его механизации и автоматизации.

Изучение рабочих чертежей машины. Рабочие чертежи машины изучают с целью ознакомления с ее устройством, функциями узлов (механизмов и деталей) и размерных связей, обеспечивающих исполнение машиной своего служебного назначения. Изучение следует начинать со сборочных чертежей машины. При этом в самом начале надо выявить исполнительные поверхности и связи между ними. Далее следует выявить механизмы и детали, с помощью которых эти связи осуществляются. В результате изучения рабочих чертежей должны быть разработаны схемы размерных цепей. В качестве примера на рис.13.1. показаны схемы некоторых размерных цепей токарного станка.

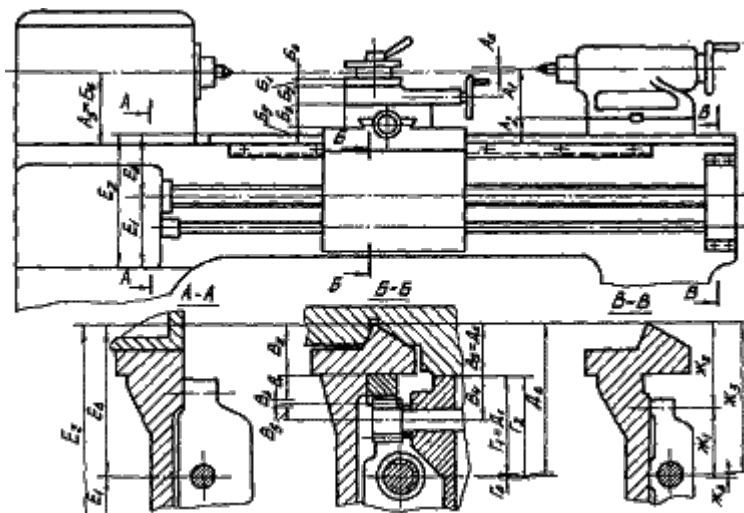


Рис.11.1. Размерные цепи токарного станка

11.2. Разработка технологического процесса сборки машины

Выбор вида и формы организации производственного процесса сборки машины.

Решающим фактором при выборе вида и формы организации процесса сборки машины является число машин, подлежащих изготовлению в единицу времени и по неизменным чертежам. Целесообразность выбора тех или иных вида и формы организации процесса сборки должна быть обоснована технико - экономическим расчетом. При большом количестве выпускаемых машин или сборочных единиц наиболее экономичной является поточная сборка.

С уменьшением количества выпускаемых машин поточная сборка становится неэкономичной, следует применять непоточный вид сборки с перемещающимися объектами. При изготовлении машин в малых количествах приходится использовать стационарную сборку.

Выбор методов достижения требуемой точности машины. Корректировка рабочих чертежей. Выбирая метод достижения требуемой точности замыкающего звена, технолог должен: выявить наличие в чертежах размеров, являющихся ее составляющими звеньями; ознакомиться с допусками, ограничивающими отклонения составляющих звеньев размерной цепи; проанализировать соответствие допусков составляющих звеньев, установленных конструктором, допуску замыкающего звена, решив для этого обратную задачу, и выявить метод достижения точности, избранный конструктором; оценить, удачен ли в экономическом отношении сделанный конструктором выбор метода при заданном объеме выпуска машин; принять решение о методе достижения требуемой точности замыкающего звена и, если необходимо, рассчитать допуски согласно избранному методу; выявить наличие компенсаторов при использовании методов пригонки и регулировки; при необходимости совместно с конструктором внести коррективы в чертежи (изменить простановку размеров, изменить значение допусков, ввести компенсаторы и др.).

В процессе сборки машины ее точность достигается через технологические размерные цепи, совпадающие с конструкторскими только в тех случаях, когда точность замыкающих звеньев достигается с применением одного из методов взаимозаменяемости. При использовании методов пригонки и регулирования технологические размерные цепи отличны от конструкторских. Для их выявления следует вскрыть все этапы проведения пригонки или регулировки и выбрать средства, необходимые для выполнения этих работ.

Разработка последовательности сборки машины. В зависимости от сложности конструкции сборочные единицы подразделяют на комплекты, подузлы и узлы (рис.25.2).

Под **комплексом** понимают СЕ, базирующие детали которой присоединены одна или несколько других деталей.

Подузлом называют СЕ, на базирующую деталь которой установлены несколько деталей и не менее одного комплекта.

Узлом первого порядка называется СЕ, на базирующую деталь которого установлен хотя бы один подузел, несколько комплектов и деталей.

Узлом второго порядка называется СЕ, на базирующую деталь которого установлен хотя бы один узел первого порядка, несколько подузлов, комплектов и деталей

В машинах встречаются узлы более высоких порядков. Последней наиболее сложной СЕ является сама **машина**, на базирующей детали которой смонтированы не менее чем узел высшего порядка, узлы, подузлы, комплекты и детали. Примером машины может служить токарный станок.

Общую сборку машины надо начинать с установки базирующей детали, роль которой обычно выполняют рама, станина, основание т.п. С установки базирующей детали начинается сборка любой СЕ, если только ее монтаж не осуществляется непосредственно в машине. После установки базирующей детали на нее последовательно устанавливаются все СЕ и детали. Существует некоторые общие положения, которых надо придерживаться, разрабатывая технологию сборки конкретной машины.

1. Сборку следует начинать с формирования тех размерных цепей, с помощью которых в машине решаются наиболее ответственные задачи.

2. При наличии параллельно связанных размерных цепей их построение следует начинать с установки деталей, размеры которых являются общими звеньями.

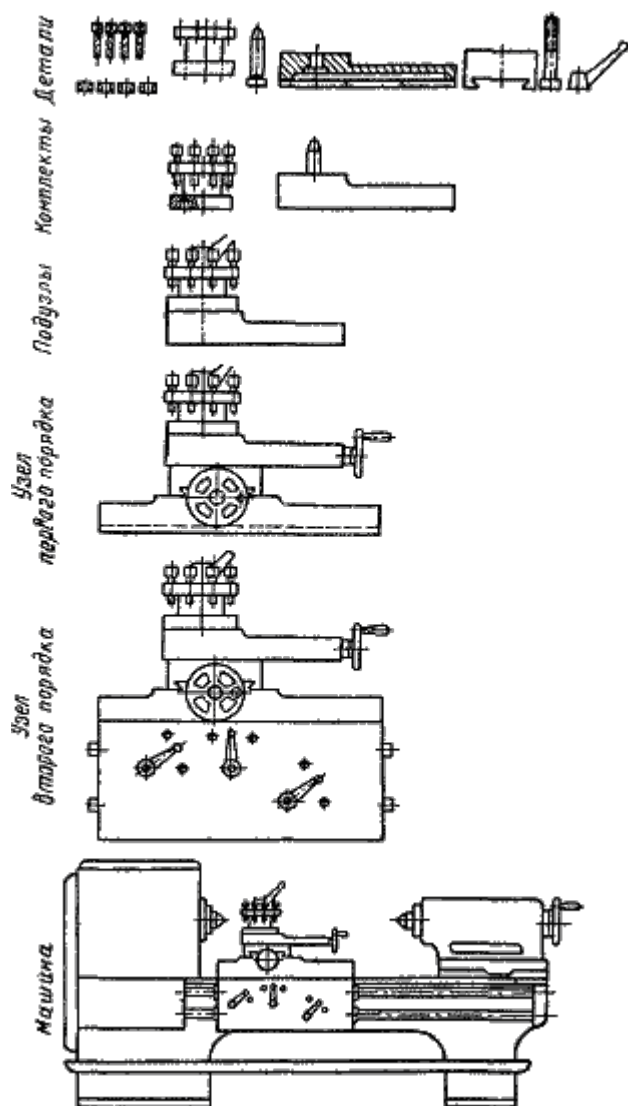


Рис.11.2. Виды сборочных единиц

3. При сборке СЕ последовательность установки детали должна быть таковой, что ранее смонтированные детали не мешали установке последующих деталей.

4. Необходимо стремиться к тому, чтобы в процессе сборки машины были минимальными частичные разборки СЕ.

5. При использовании метода пригонки пригоночные работы можно выполнять вне собираемого объекта.

6. Последовательность сборки машины и ее СЕ должна соответствовать избранному виду и форме организации производственного процесса.

Последовательность сборки изделия удобно отображать графически в виде схемы сборки. На рис.25.3 изображена задняя бабка токарного станка, установленная на плите, а на рис.11.4. приведен фрагмент схемы ее сборки.

Местоположение условных обозначений и относительное смещение вертикальных линий отражают последовательность установки деталей и сборочных единиц в процессе сборки.

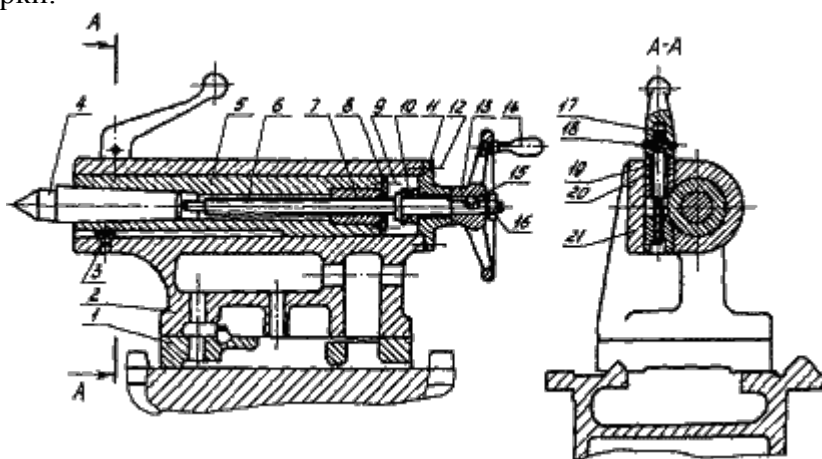


Рис.11.3. Задняя бабка токарного станка

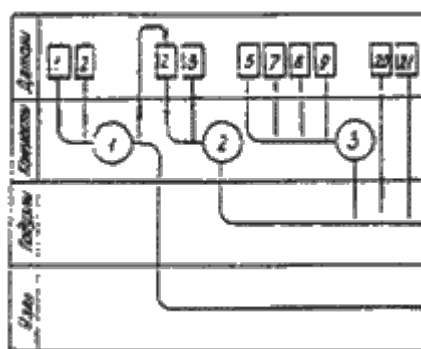


Рис. 11.4. Схема сборки задней бабки токарного станка

Содержание и последовательность выполнения технологического процесса сборки изделия применяемые приспособления и инструменты, разряд работы, нормы времени и т.д. отражают в технологических документах: операционных и маршрутных картах, ведомостях операции и др. Требования к формам и заполнению технологических документов регламентированы ГОСТ 3.1118, ГОСТ 3.1119, 3.1121, 3.1407 и др.

Выбор средств облегчения труда и увеличения его производительности. На сборку машины приходится до 60% общей трудоемкости ее изготовления. Поэтому облегчение труда сборщиков и повышение их производительности являются важнейшими задачами, которые приходится решать при разработке технологии сборки машин.

Средствами, облегчающими труд должен быть охвачен весь комплекс работ, выполняемый при сборке машин: комплектование и транспортирование деталей и СЕ к местам сборки; транспортирование объектов сборки; координирование заданной

точности, соединение, фиксация и проверка достигнутого положения, монтируемых деталей и СЕ; регулирование, пригонка, испытания отдельных узлов и машины в целом, очистка, окраска и т.д.

Для доставки к рабочим местам деталей и СЕ, используют ручные тележки и электрокары, различного вида краны и конвейеры. Большие удобства создают конвейеры, оснащенные устройствами для адресования транспортируемых деталей и СЕ.

Наибольшие трудности вызывает механизация и автоматизация работ, связанных с координированием деталей и СЕ и их соединением с требуемой точностью. Операции и переходы, связанные с выполнением подобных работ нуждаются в приспособлениях, устраняющих возможность возникновения отклонений в относительном положении соединяемых деталей.

Трудоемкими и потому нуждающимися в механизации являются работы, связанные со сборкой резьбовых и прессовых соединений. Оснащение рабочих мест стационарными или подвесными винто -, гайко -, шпильковертами, по возможности многошпindelными не только увеличивает производительность труда сборщиков, но и повышает качество резьбовых соединений. Установка на рабочих местах прессов принадлежащем их оснащению дает те же результаты.

Нормирование, определение трудоемкости сборки, формирование операций. Заключительным этапом разработки технологического процесса сборки машины являются нормирование сборочных работ, определение трудоемкости сборки и компоновка операций из переходов.

Нормирование переходов процесса сборки ведется по формулам, рассмотренным выше, и с использованием нормативов времени на слесарно-сборочные работы. Установленные нормы времени на сборку отдельных СЕ и машины в целом дают возможность определить трудоемкость их сборки как сумму затрат времени на выполнение отдельных переходов.

Затем необходимо определить число рабочих или бригад рабочих нужных для сборки комплектов, подузлов, узлов и общей сборки машины. Знание трудоемкости переходов и потребного числа рабочих дает возможность объединить переходы и тем самым сформировать операции. Компоновку переходов необходимо вести с учетом избранных видов и формы организации производственного процесса сборки машины.

Для определения длительности (цикла) сборки машин строят циклограмму. В избранном масштабе циклограмма отражает не только последовательность затрат времени на выполнение операции, но и совмещение во времени этих затрат. Циклограмма позволяет найти пути сокращения цикла сборки, что важно для уменьшения объема незавершенного производства.

Испытания машин. Машины и СЕ после их сборки подвергают различного рода испытаниям. Целью испытания является проверка качества машины, достигнутого в результате всего производственного процесса ее изготовления. В зависимости от вида, назначения и объема выпуска машины проходят испытания на холостом ходу, под нагрузкой, на производительность, жесткость, мощность и качество производимой продукции.

При испытании на холостом ходу проверяют правильность работы органов управления и механизмов машины, надежность блокировки и безотказность работы автоматических устройств. Вместе с тем проверяют соблюдение норм работы подшипников, зубчатых колес, и других ответственных элементов конструкции машины.

Испытания под нагрузкой должны выявить качество работы машины в производственных условиях.

Испытаниям на производительность подвергают машины специального назначения.

На жесткость испытывают главным образом станки. Нормы жесткости и методы испытаний широкого круга станков стандартизованы.

Испытаниям на мощность подвергают все машины при единичном производстве и все или выборочно машины, изготавливаемые серийно.

Машины производящие, сортирующие, измеряющие, проверяют на качество производимой продукции. Порядок испытания, образцы и требования к качеству продукции регламентированы государственными стандартами.

Для испытания машин и СЕ средних размеров и массы создают специальные испытательные стенды.

ЛЕКЦИЯ 12

12. Разработка технологических процессов изготовления деталей

Задача разработки технологического процесса изготовления детали заключается в нахождении для данных производственных условий оптимального варианта перехода от полуфабриката, поставляемого на машиностроительный завод, к готовой детали. Выбранный вариант должен обеспечивать требуемое качество детали при наименьшей ее себестоимости. Технологический процесс изготовления детали рекомендуется разрабатывать в следующей последовательности:

1. изучить по чертежам служебное назначение детали и проанализировать соответствие ему технических требований и норм точности;
2. выявить число деталей, подлежащих изготовлению в единицу времени и по неизменяемому чертежу, наметить вид и форму организации производственного процесса;
3. выбрать полуфабрикат, из которого должна быть изготовлена деталь;
4. выбрать технологический процесс получения заготовки, если неэкономично или физически невозможно изготавливать деталь непосредственно из полуфабриката;
5. обосновать выбор технологических баз и установить последовательность обработки поверхностей заготовки;
6. выбрать способы обработки поверхностей заготовки и установить число переходов по обработке каждой поверхности исходя из требований к качеству детали;
7. рассчитать припуски и установить межпереходные размеры и допуски на отклонения всех показателей точности детали;
8. оформить чертеж заготовки;
9. выбрать режимы обработки, обеспечивающие требуемое качество детали и производительность;
10. пронормировать технологический процесс изготовления детали;
11. сформировать операции из переходов и выбрать оборудование для их осуществления;
12. выполнить размерный анализ технологического процесса;
13. выявить необходимую технологическую оснастку для выполнения каждой операции и разработать требования, которым должен отвечать каждый вид оснастки;
14. разработать другие варианты технологического процесса изготовления детали, рассчитать их себестоимость и выбрать наиболее экономичный вариант;
15. оформить технологическую документацию;
16. разработать технические задания на конструирование нестандартного оборудования, приспособлений, режущего и измерительного инструмента.

При разработке технологического процесса изготовления детали используют чертежи сборочной единицы, в состав которой входит деталь, чертежи самой детали, сведения о количественном выпуске деталей, стандарты на полуфабрикаты и заготовки, типовые и групповые технологические процессы, технологические характеристики оборудования и инструментов, различного рода справочную литературу. Руководящие материалы, инструкции, нормативы.

Технологический процесс разрабатывают либо с привязкой к действующему, либо для создаваемого производства. В последнем случае технолог обладает большей свободой в принятии решений по построению технологического процесса и выбору средств для его осуществления.

12.1. Изучение служебного назначения детали. Анализ технических требований и норм точности

Разработка технологического процесса изготовления любой детали должна начинаться с глубокого изучения ее служебного назначения и критического анализа технических требований и норм точности, заданных чертежом.

Деталь является элементарной частью сборочной единицы. Поэтому, приступая к формулировке ее СН, необходимо изучить чертеж и СН сборочной единицы, в которую входит данная деталь.

Формулируя СН детали, необходимо не только четко сформулировать задачи, для решения которых предназначена деталь, но и описать условия, в которых деталь должна выполнять свое СН в течение всего срока службы.

Выясняя служебное назначение детали и ее роль в работе СЕ, необходимо разобраться в функциях, выполняемых ее поверхностями, которые могут быть: исполнительными, основными, вспомогательными или свободными. Предположим, деталь — зубчатое колесо (рис. 12.1).

В первую очередь необходимо “отыскать” исполнительные поверхности детали. Это те поверхности, которыми деталь выполняет свое СН и ради которых она создается. У зубчатого колеса это боковые поверхности зубчатого венца (поверхность 7 рис.12.1).

Затем выявляются основные поверхности, определяющие положение детали в СЕ, ее базы. Таких поверхностей несколько, и они должны создавать координатный угол своим расположением (поверхности 1, 15, 13 на рис. 12.1).

Вспомогательные поверхности определяют положение других деталей, присоединяемых к данной. Они служат базами присоединяемых деталей, так же, как и основные, часто объединяются в комплект баз. Комплектов вспомогательных баз бывает столько, сколько деталей присоединяется к данной. Деталь может иметь и лишь одну вспомогательную поверхность (рис. 12.1, поверхность 14).

Назначение свободных поверхностей - завершить конструктивное оформление детали.

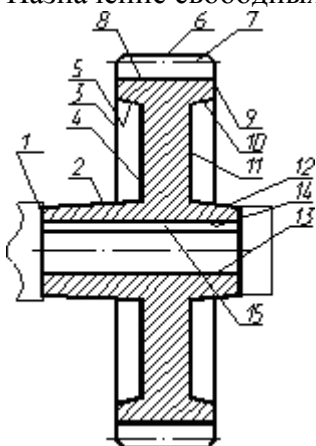


Рис.12.1.Функциональное назначение поверхностей детали: 1, 5, 13–основные поверхности; 7 – исполнительные поверхности; 14 – вспомогательные поверхности; 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15 – свободные поверхности

Для того чтобы деталь могла экономично выполнять свое СН, она должна обладать необходимым качеством. Важнейшим и самым трудоемким при достижении показателем

качества детали, как и СЕ, является ее точность. Характеризуется она рядом технических требований (Т.Т).

Учитывая значимость Т.Т, служащих основанием для принятия важнейших решений при проектировании технологического процесса изготовления детали, необходимо каждое Т.Т проанализировать с учетом решений, принятых при разработке технологического процесса сборки СЕ, в которую входит данная деталь. Таким образом, при анализе Т.Т на деталь необходимо учитывать: СН сборочной единицы, Т.Т на СЕ, методы достижения требуемой точности по каждому Т.Т на СЕ, ТП сборки СЕ.

Анализ и корректировку Т.Т на деталь удобно выполнять в несколько этапов. На первом этапе анализируется и корректируется номенклатура ТТ, которая условно состоит из 2 групп. К одной группе относятся показатели, характеризующие точность каждой поверхности детали: точность размеров (длина, \varnothing , высота и т.п.); точность формы (макроотклонение, волнистость, микроотклонения); твердость, покрытие и т.п.

Ко второй группе относятся показатели, характеризующие относительное расположение всех поверхностей детали (параллельность, симметричность, соосность и т.п.).

Выявленные неточные или неправильные формулировки ТТ корректируются, а недостающие ТТ формулируются заново.

На втором этапе анализируются и корректируются, в случае необходимости, численные значения всех ТТ.

Для сокращения затрат времени можно использовать вычислительную технику.

12.2. Выбор вида и формы организации производственного процесса изготовления детали

Вид и форма организации производственного процесса изготовления детали зависят от программы ее выпуска в год и по неизменным чертежам.

Непрерывно-поточное производство целесообразно организовывать тогда, когда технологическое оборудование можно полностью загрузить изготовлением детали одного наименования, т. е. при массовом типе производства.

При изготовлении малотрудоемких деталей в относительно небольших количествах (крупносерийное, серийное производство) целесообразно организовывать переменнопоточное производство. При этом детали объединяют в группы по признакам близости СН, конструктивных форм, размеров, Т.Т, материалов и разрабатывается групповая технология.

Изготовление незначительного числа одноименных деталей целесообразно организовывать на технологически замкнутых участках с использованием высокопроизводительного оборудования и технологической оснастки, например, участок валов, зубчатых колес и т.п.

В мелкосерийном и единичном производстве организуются участки, объединяющие оборудование со сходным СН, например, участок токарных станков, фрезерных и т.п.

12.3. Выбор исходной заготовки и метода ее получения

Основными факторами, влияющими на решения, принимаемые на данном этапе разработки технологического процесса изготовления детали, являются: конструкция детали, материал, служебное назначение, технические требования, программы выпуска в год (N_T) и по неизменным чертежам ($N_{н.ч.}$); тип производства, вид и форма организации производства, стоимость материала (полуфабриката), себестоимость исходной заготовки, получаемой тем или иным методом; расход материала, себестоимость изготовления детали из исходной заготовки.

Выбор исходной заготовки и метода ее получения должен обеспечивать минимальную себестоимость детали. Исходная заготовка – заготовка перед первой технологической операцией механической обработки (ГОСТ 3.1109).

Для того чтобы проще представить последовательность выбора исходной заготовки, на рис. 12.2 приведена схема.

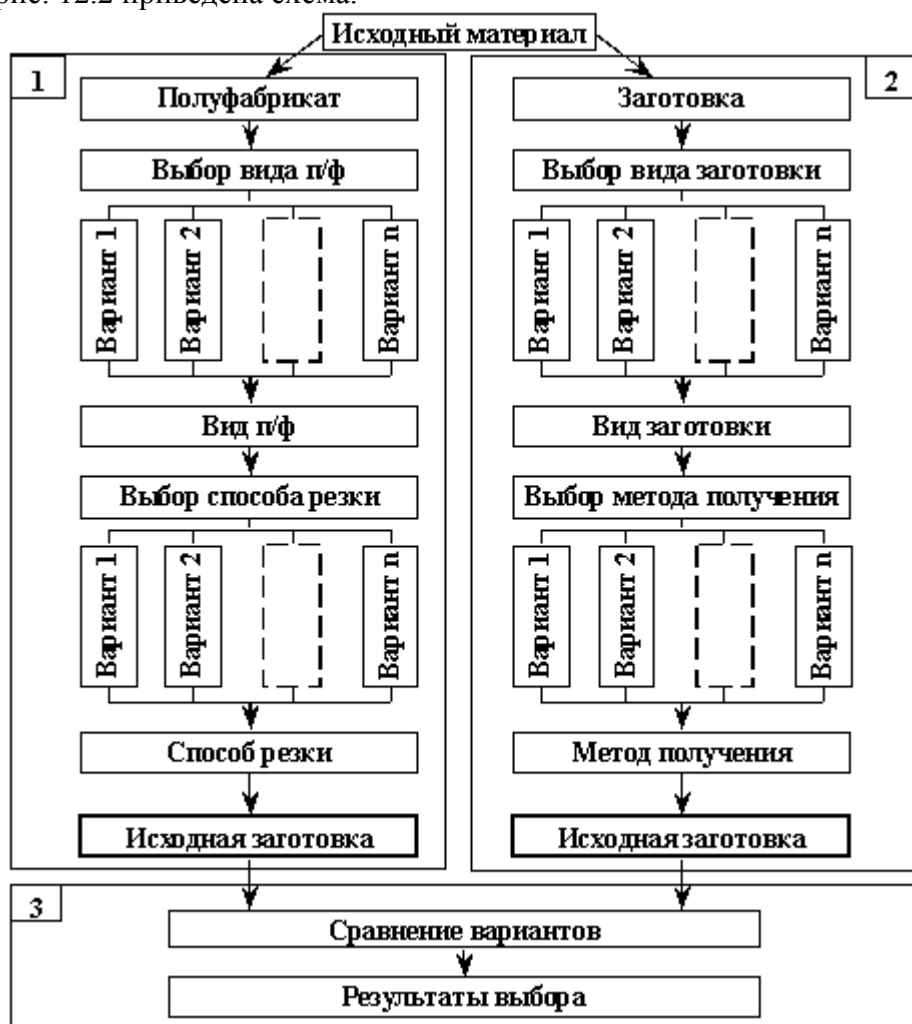


Рис. 12.2. Схема выбора исходной заготовки

Себестоимость самих исходных заготовок, полученных разными методами, колеблется в широких пределах. Для получения заготовок используют разнообразные технологические процессы и их сочетания: различные способы литья, пластического деформирования металлов, резка, сварка, комбинированные способы: штамповки-сварки, литья – сварки; порошковой металлургии.

12.4. Выбор технологических баз и определение последовательности обработки заготовки

Основанием для выбора технологических баз является служебное назначение поверхностей детали и установленные между ними размерные связи.

Выбор технологических баз зависит: от ТТ, характеризующих точность размеров, расположения и макрогеометрию поверхностей детали (за исключением случаев их обработки мерным инструментом); от возможностей существующего парка оборудования и технологической оснастки.

Выбор технологических баз выполняют в два этапа:

- выбирают технологические базы, необходимые для получения наиболее ответственных показателей точности детали и используемые при обработке большинства поверхностей заготовки;

- выбирают технологические базы на первой (первых) операции технологического процесса.

Выбор технологических баз для обработки большинства поверхностей заготовки определяет те поверхности, с которых необходимо начинать ее обработку. Выбор технологических баз на первой (первых) операции связан с решением двух групп задач:

1. установлением связей между обрабатываемыми и остающимися необработанными поверхностями;

2. распределением припусков между обрабатываемыми поверхностями.

Обычно возможны несколько вариантов. Каждый вариант базирования обеспечивает прямое (кратчайшее), т.е. наилучшее решение лишь одной задачи из всей совокупности. Поэтому нужно выбрать тот вариант, который обеспечивает все Т.Т в пределах допускаемых отклонений и менее сложен в реализации схем базирования.

Определение последовательности обработки поверхностей заготовки. Выбранный вариант базирования служит основой при определении последовательности обработки поверхностей заготовки. Вместе с тем, определяя последовательность обработки, учитывают: конструктивные особенности детали; требования к ее качеству; методы получения размеров, свойства заготовки (материал, масса, размеры, припуски на обработку); возможности оборудования, необходимость в термической обработке; организацию производственного процесса и др.

Обработку заготовки начинают обычно с подготовки технологических баз. В комплекте баз в первую очередь обрабатывают поверхность (или сочетание поверхностей), лишаящую заготовку большего числа степеней свободы (установочная или двойная направляющая база). Базирование заготовки по необработанным поверхностям в направлении выдерживаемых размеров допустимо лишь один раз.

В начале технологического процесса обычно стремятся снять с заготовки наибольшие припуски с тем, чтобы создать лучшие условия для перераспределения остаточных напряжений в заготовке и вскрыть возможные дефекты на ранней стадии обработки.

Высокие требования к точности формы, размеров и относительного положения поверхностей детали заставляют вести обработку заготовки в несколько переходов. В отдельных случаях предварительную и окончательную обработку поверхности выполняют последовательно при одной установке заготовки. Чаще эти этапы разделяют, относя окончательную обработку поверхностей на конец технологического процесса.

В конец технологического процесса выносят обработку легкоповреждаемых поверхностей (например, наружных резьб).

На последовательность обработки поверхностей заготовки влияют термическая (ТО) и химико-термическая обработка (ХТО). Неизбежное деформирование заготовки в результате такой обработки вынуждает предусматривать в технологическом процессе предварительную и окончательную обработку и начинать последнюю с “правки” технологических баз. Поверхности, исправление которых после ТО затруднительно (например, крепежные отверстия в корпусных деталях), обрабатывают после ее выполнения. Некоторые виды ХТО усложняют процесс механической обработки. Так, при цементации, если требуется науглеродить только отдельные поверхности заготовки, остальные защищают либо омеднением, либо дополнительным припуском, удаляемым после цементации, но до закалки.

Влияет на последовательность обработки поверхностей и необходимость соблюдения очередности в образовании различных конструктивных элементов детали. Например, крепежные резьбовые отверстия нужно обрабатывать после того, как будет окончательно обработана поверхность заготовки, с которой они сопряжены. В противном случае резьбы в отверстиях будут испорчены.

Все перечисленное служит основой для разработки технологического процесса механической обработки заготовки.

12.5. Выбор способов обработки и определение количества необходимых переходов

В этом разделе после того, как установлена последовательность обработки всех поверхностей заготовки, выбираются способы и средства обработки каждой из них.

Выбор способа обработки и необходимого количества переходов зависит от технических требований на деталь, вида и качества заготовки, N_z и $N_{\text{н.к}}$, технико-экономических показателей способов обработки.

При выборе способа обработки стремятся обеспечить кратчайший и наиболее экономичный путь превращения выбранной заготовки в деталь требуемого качества.

Видимо, самый короткий путь можно было бы обеспечить при получении каждой поверхности требуемого качества за один переход, выполнение которого должно обеспечивать определенную величину уточнения:

$$\varepsilon = \frac{T_z}{T_d},$$

где

T_z – допускаемое отклонение показателей точности заготовки;

T_d – допускаемое отклонение показателя точности детали.

К сожалению, существующие способы обработки чаще всего не обеспечивают требуемую величину уточнения. Поэтому обработку поверхностей приходится вести в несколько технологических переходов и уточнение при этом определять по формуле

$$\varepsilon_{\text{общ}} = \prod_{i=1}^n \varepsilon_i,$$

где

$\varepsilon_{\text{общ}}$ – общее уточнение, получаемое при обработке заготовок для достижения требуемой точности детали по каждой из поверхностей;

ε_i – уточнение, обеспечиваемое каждым переходом;

n – количество переходов, необходимое для достижения требуемой точности детали.

Выбор способа обработки следует начинать с поиска такой технологической системы,

которая позволит экономичным путем достичь требуемого качества детали (T_d). Однако выбранная технологическая система способна обеспечить определенное качество детали (T_d') лишь при определенном качестве исходной заготовки (T_z'). Если $T_z' \geq T_z$, то рассматриваемая система обеспечит получение поверхности требуемого качества из выбранной заготовки (T_z). Если же $T_z' \leq T_z$, то необходимо продолжить выбор системы и найти такую, которая обеспечит на выходе T_z' , и т.д. Схема определения необходимого количества переходов по обработке поверхностей заготовки приведена на рис.26.3. Значения $T_z^1, T_z^2, \dots, T_z^{i-1}, T_z^i$ выбираются по справочной литературе.

В связи с тем, что требуемое качество отдельной поверхности детали может быть достигнуто при обработке ее различными способами, следует сопоставить возможные варианты по производительности и экономичности. Для этого по каждому варианту необходимо определить трудоемкость и себестоимость обработки заготовки. Однако сделать это окажется возможным после выбора режимов и проведения технического нормирования затрат времени на нее.

Поэтому решение о способах и количестве переходов обработки поверхностей заготовки, принятое на данной стадии разработки технологического процесса, может быть скорректировано в дальнейшем.

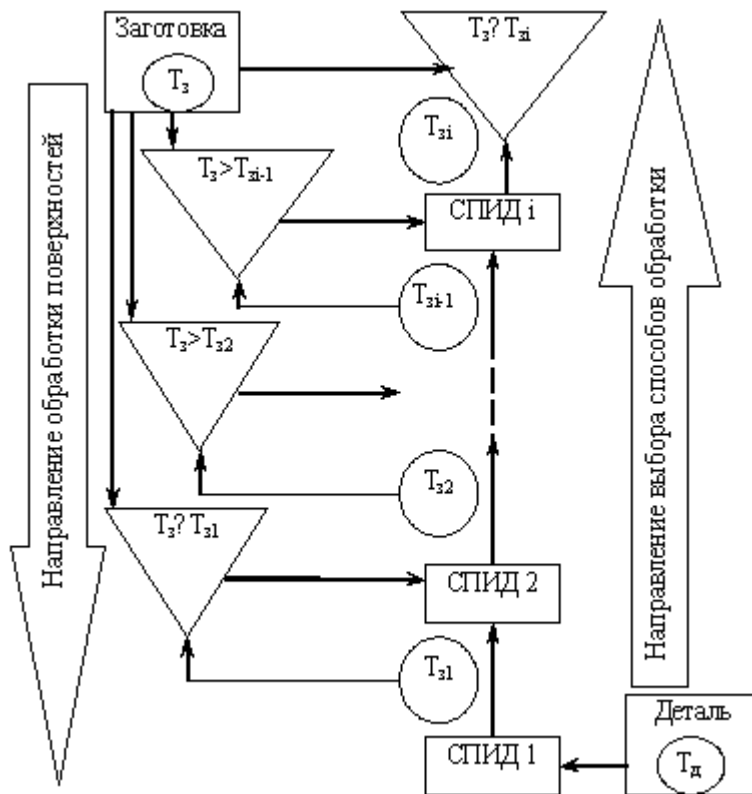


Рис. 12.3.Схема определения необходимого количества переходов по обработке поверхности заготовки

ЛЕКЦИЯ 13

13. Расчет припусков, режимов резания. Оформление документации

13.1. Расчет припусков, межпереходных размеров и допусков

Общепринято припуском считать слой материала, **удаляемый** с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности.

Однако современный взгляд на припуск предполагает припуском считать слой материала, **подлежащий удалению** с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности. Такое понятие припуска в большей мере соответствует его назначению. Различие заключается в разном понимании максимального припуска Z_{\max} (рис.13.1).

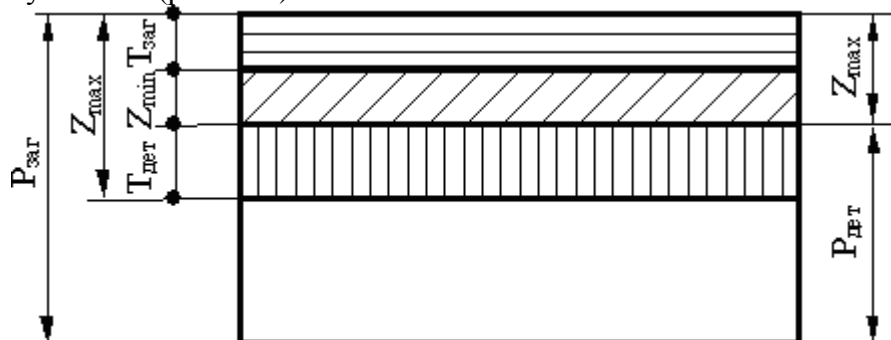


Рис. 13.1. Схематичное отображение различия в толковании понятия “припуск”

Таким образом, прежнее понимание –; новое понимание – $Z_{\max} = Z_{\min} + T_{\text{заг}}$, где

Z_{\max} – максимальный припуск;

Z_{\min} – минимальный припуск;

$T_{дет}$ – поле допуска на выдерживаемый размер детали $P_{дет}$;

$T_{заг}$ – поле допуска, ограничивающее отклонение размера заготовки.

Припуски различают по ряду признаков, которые приведены на схеме (рис.15.2).

Определение припуска является важной технико-экономической задачей.

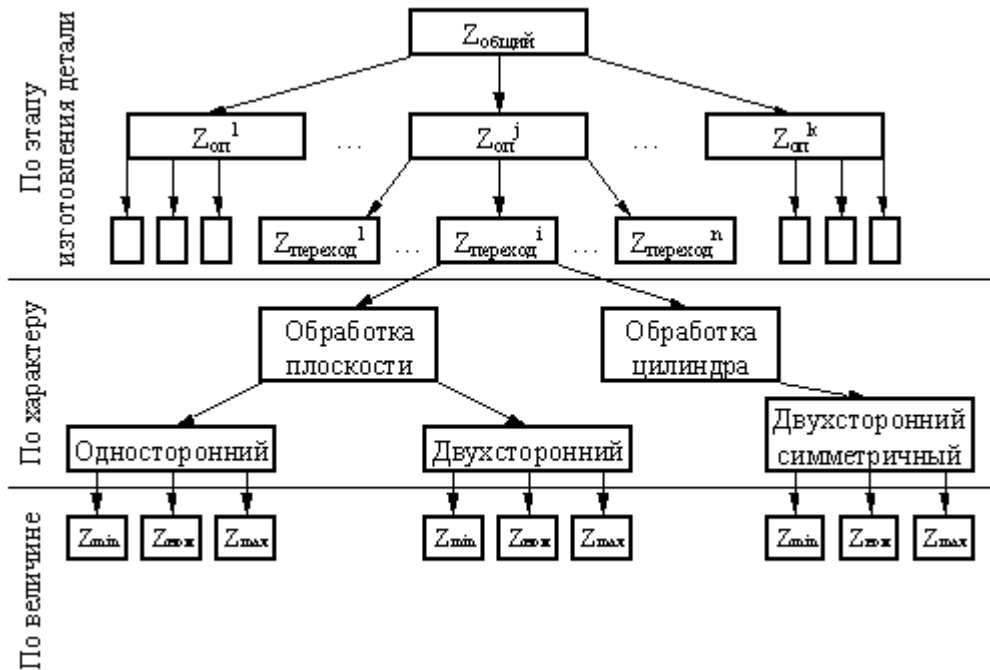


Рис. 13.2. Классификация припусков

Таблицы и ГОСТы позволяют определять припуски независимо от технологического процесса обработки заготовки и условий его осуществления. Величина припуска, как правило, в этом случае является завышенной.

Колесание размера обрабатываемой поверхности заготовки в пределах допуска на ее изготовление вызывает колебание величины припуска. Поэтому и различают припуск минимальный (Z_{\min}), номинальный ($Z_{ном}$), максимальный (Z_{\max}).

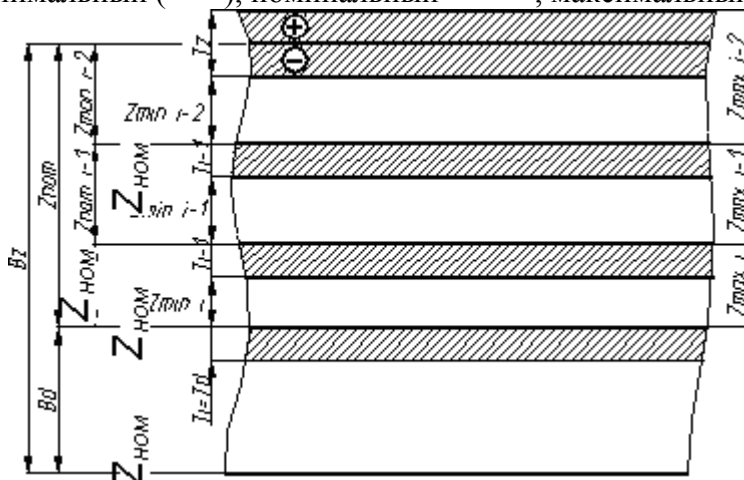


Рис.13.3. Схема припусков и допусков размеров

$$Z_{ном i} = Z_{мин i} + T_{i-1}; \quad Z_{макс i} = Z_{ном i},$$

На рисунке индекс Z относится к заготовке;

$$Z_{\text{ном}i-2} = Z_{\text{мин}i-2} + |eI_{\text{за}2}|; \quad Z_{\text{макс}i-2} = Z_{\text{мин}i-2}$$

d – к детали

Из схемы (рис.13.3) видно, следующее:

$Z_{\text{ном}}$ - разность номинальных размеров заготовки до и после обработки;

$Z_{\text{макс}}$ - максимальный слой материала, подлежащий удалению. В ряде случаев на некоторых переходах $Z_{\text{макс}}$ и $Z_{\text{мин}}$ могут совпадать;

$Z_{\text{мин}}$ - минимальный слой материала, необходимый для устранения дефектов заготовки и обеспечения возможности перехода от заготовки к детали при наличии погрешности установки заготовки и того распределения припусков на поверхностях, подлежащих обработке, которое произошло в результате выбора технологических баз для первой операции.

В зависимости от того, какая поверхность обрабатывается а) наружная (рис.13.4); б) внутренняя (рис.13.5); как располагается поле допуска на выдерживаемый размер а) “в тело” (рис.13.4,а), (рис.13.5,а); б) симметрично (рис.13.4 б), (рис.13.5,б); – номинальный и максимальный припуски определяются по-разному.

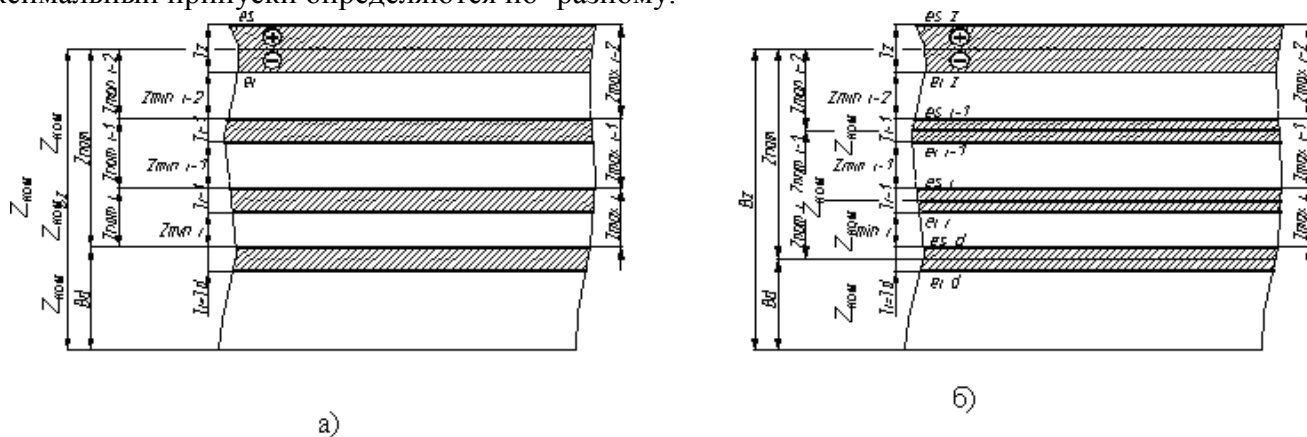


Рис.13.4Схема определения припусков при обработке наружной поверхности:

$$Z_{\text{ном}i} = Z_{\text{мин}i} + T_i; \quad Z_{\text{макс}i} = Z_{\text{ном}i};$$

$$Z_{\text{ном}i-1} = Z_{\text{мин}i-1} + T_{i-1}; \quad Z_{\text{макс}i-1} = Z_{\text{ном}i-1};$$

$$а) \quad Z_{\text{ном}i-2} = Z_{\text{мин}i-2} + |eI_{\text{за}2}|; \quad Z_{\text{макс}i-2} = Z_{\text{мин}i-2} + T_{\text{за}2};$$

$$Z_{\text{ном}i} = Z_{\text{мин}i} + eS_{\text{деф}} + |eI_i|; \quad Z_{\text{макс}i} = Z_{\text{мин}i} + T_i;$$

$$Z_{\text{ном}i-1} = Z_{\text{мин}i-1} + eS_i + |eI_{i-1}|; \quad Z_{\text{макс}i-1} = Z_{\text{мин}i-1} + T_{i-1};$$

$$б) \quad Z_{\text{ном}i-2} = Z_{\text{мин}i-2} + eS_{i-1} + |eI_{\text{за}2}|; \quad Z_{\text{макс}i-2} = Z_{\text{мин}i-2} + T_{\text{за}2};$$

Следует отметить, что основу и $Z_{\text{ном}}$, и $Z_{\text{макс}}$ составляет $Z_{\text{мин}}$. Поэтому расчетной величиной является минимальный припуск.

В настоящее время считается, что для определения минимального припуска необходимо пользоваться формулой, более полно учитывающей факторы, действующие при обработке поверхности детали:

$$Z_{\text{мин}} = R_z + T + II + \Phi + Y + P,$$

где

R_z – высота микронеровностей поверхности заготовки после ее обработки на предшествующем переходе;

T – глубина дефектного поверхностного слоя, полученная на предшествующем переходе;

Π – погрешность смещения и поворота поверхности заготовки относительно ее технологических баз;

Φ – погрешность формы поверхности заготовки, допущенная при ее обработке на предшествующем переходе;

\mathcal{Y} – погрешность установки заготовки на данном переходе;

P – отклонение положения поверхности заготовки, подлежащей обработке, относительно ее технологических баз, возникшее в результате распределения припусков при подготовке технологических баз на первых операциях.

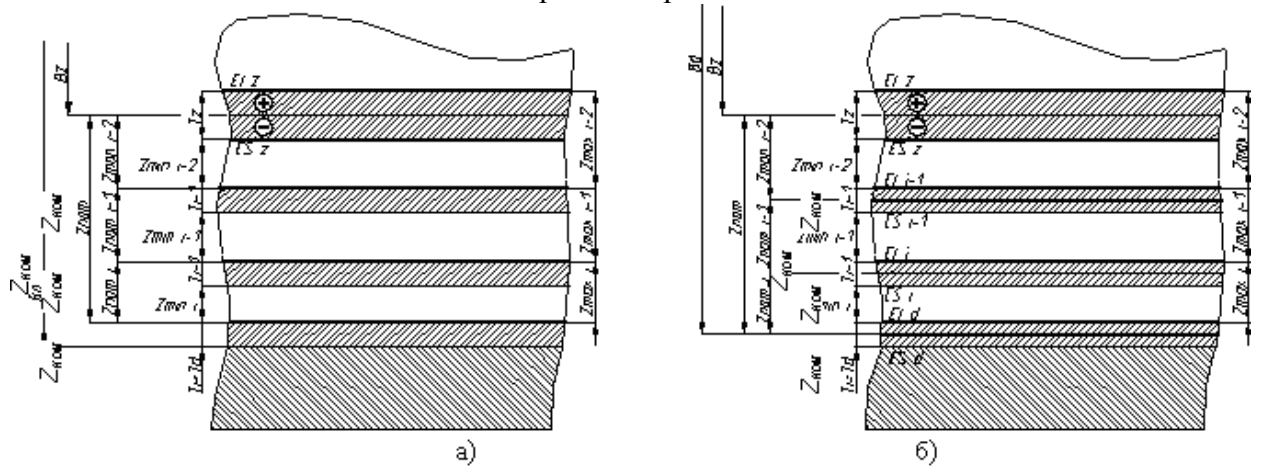


Рис. 13.5. Схема определения припусков при обработке внутренней поверхности:

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{нолд}} &= Z_{\text{мини}} + T_i; & Z_{\text{мак}} &= Z_{\text{нолд}}; \\
 Z_{\text{нолд-1}} &= Z_{\text{мини-1}} + T_{i-1}; & Z_{\text{мак-1}} &= Z_{\text{нолд-1}}; \\
 \text{a) } Z_{\text{нолд-2}} &= Z_{\text{мини-2}} + |ES_{\text{за2}}|; & Z_{\text{мак-2}} &= Z_{\text{мини-2}} + T_{\text{за2}}; \\
 Z_{\text{нолд}} &= Z_{\text{мини}} + ES_i + |EI_{\text{дем}}|; & Z_{\text{мак}} &= Z_{\text{мини}} + T_i; \\
 Z_{\text{нолд-1}} &= Z_{\text{мини-1}} + ES_{i-1} + |EI_i|; & Z_{\text{мак-1}} &= Z_{\text{мини-1}} + T_{i-1}; \\
 \text{б) } Z_{\text{нолд-2}} &= Z_{\text{мини-2}} + ES_{\text{за2}} + |EI_{i-1}|; & Z_{\text{мак-2}} &= Z_{\text{мини-2}} + T_{\text{за2}};
 \end{aligned}$$

Метод и необходимые данные для расчета $Z_{\text{мин}}$ достаточно подробно представлены в справочной литературе, при этом введены следующие обозначения:

$$T = h_{i-1}; \quad \Pi + \Phi = \Delta_{\Sigma_{i-1}}; \quad \mathcal{Y} = \varepsilon_i.$$

Формулы, рекомендуемые для расчета $Z_{\text{мин}}$, имеют следующий вид:

- при обработке отдельной поверхности (односторонний припуск) на i -м переходе:

$$Z_{\text{мини}} = (R_z + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i;$$

- при параллельной обработке противоположных поверхностей (двусторонний припуск):

$$2Z_{\text{мини}} = 2 \left((R_z + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i \right);$$

- при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения:

$$2Z_{\text{мини}} = 2 \left((R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2} \right);$$

Знание величины $Z_{\text{мак}}$ необходимо при определении режимов резания, так как именно этот припуск принимают в качестве глубины резания.

В том случае, когда поверхность обрабатывается (в соответствии с планом обработки) за несколько переходов, припуски определяются в направлении “от детали к заготовке”. В

первую очередь определяют припуск на отделочный переход, затем чистовой и, наконец, черновой.

Зная количество переходов и припуски, необходимые для выполнения каждого перехода по обработке поверхности заготовки, можно определить межпереходные размеры, размер исходной заготовки и значение общего припуска на обработку. Выполнить это проще с помощью схем (рис.13.6, 13.7).

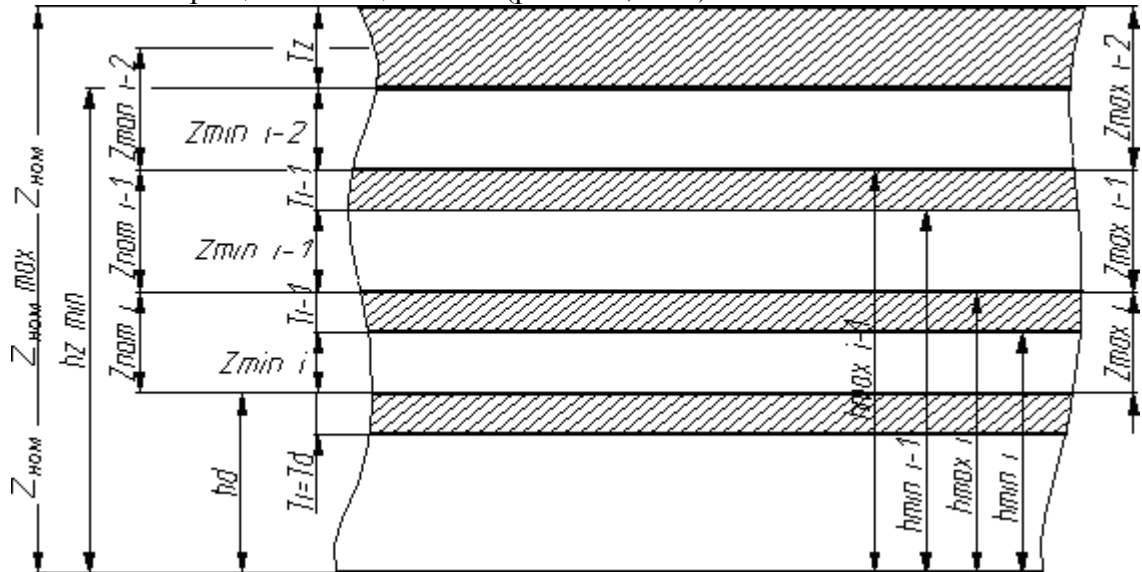


Рис.13.6.Схема связей между межпереходными размерами, припусками и допусками для охватываемых поверхностей

В соответствии со схемой (рис.15.6) предельные значения межпереходных размеров равны:

$$h_{\min i} = h_{\delta} + Z_{\min i}; \quad h_{\max i} = h_{\delta} + Z_{\max i};$$

$$h_{\min i-1} = h_{\max i} + Z_{\min i-1}; \quad h_{\max i-1} = h_{\max i} + Z_{\max i-1};$$

$$h_{\min i-2} = h_{\max i-1} + Z_{\min i-2}; \quad h_{\max i-2} = h_{\max i-1} + Z_{\max i-2}.$$

Предельные размеры заготовки можно представить в общем виде:

$$h_{\min i-2} = h_{\delta} + Z_{\max}^{\text{общ}} - T_{i-2};$$

$$h_{\max i-2} = h_{\delta} + Z_{\max}^{\text{общ}}.$$

Предельные значения припуска исходной заготовки:

$$Z_{\min}^{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n Z_{\max i} - T_{i-2};$$

$$Z_{\max}^{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n Z_{\max i}^i,$$

где

n – количество переходов по обработке поверхности заготовки;

T_{i-2} – допуск, ограничивающий отклонение размера исходной заготовки.

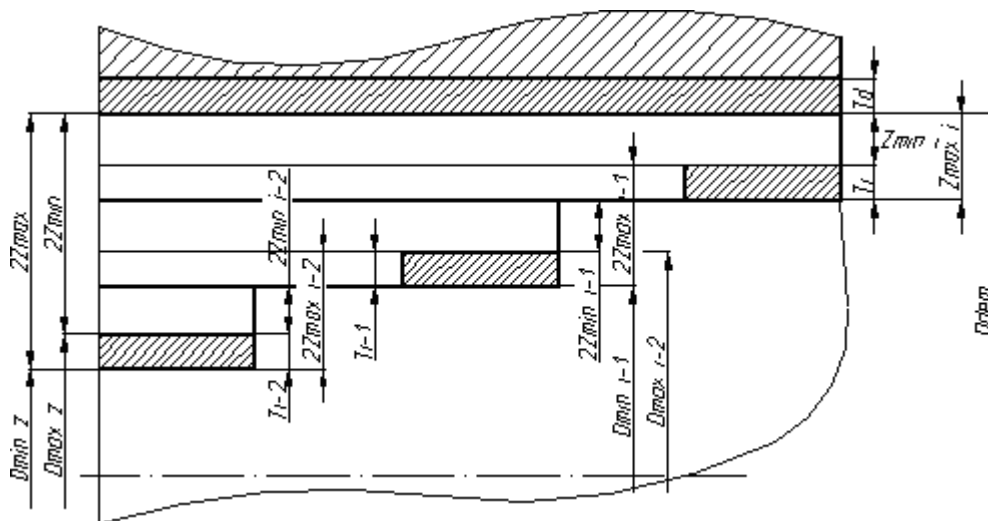


Рис. 13.7.Схема связей между межпереходными размерами, припусками и допусками для охватывающих поверхностей

Например, предельные значения диаметра отверстия исходной заготовки равны:

$$D_{\text{min.ззз}} = D_{\delta} - 2Z_{\text{max}}^{\text{общ}};$$

$$D_{\text{max.ззз}} = D_{\delta} - 2Z_{\text{max}}^{\text{общ}} + T_{\text{ззз}}.$$

Наряду с рассмотренным расчетно-аналитическим методом определения припусков существует так называемый “табличный” метод. В этом случае расчеты ведутся с использованием табличных значений общего припуска и припусков на отдельные виды обработки поверхности, приводимых в соответствующих ГОСТах и справочной литературе.

13.2. Выбор режимов обработки заготовки

На выбор режима резания влияют требования к качеству детали, свойства материала заготовки, свойства материала и геометрия режущей части инструмента, возможности выбранного оборудования.

Режим обработки поверхности заготовки характеризуется: глубиной резания (t); подачей (s); скоростью резания (v) и рассчитывается в последовательности, приведенной ниже.

1. Устанавливается глубина резания. Глубина резания определяется, главным образом, величиной припуска. При этом необходимо стремиться каждый переход выполнять за один рабочий ход (проход). Глубина резания в этом случае будет соответствовать Z_{max} . Обработку за несколько проходов применяют чаще всего на черновых переходах, при больших припусках и напусках, а также при недостаточной жесткости и прочности технологической системы, недостаточной мощности станка.

2. Выбирается по нормативам величина подачи, максимально технологически допустимая. При черновой обработке подача лимитируется прочностью и жесткостью технологической системы, а при чистовой – точностью получаемого размера и формы обрабатываемой поверхности. Выбранную величину подачи необходимо скорректировать по паспортным данным станка.

3. Определяется скорость резания одним из двух методов:

- расчетно-аналитическим (по эмпирическим формулам);
- табличным (по нормативам режимов резания с внесением поправок на условия резания, не учитываемые нормативами).

Выбор режимов обусловлен необходимостью обеспечения требуемого качества изготавливаемых деталей при максимальном уровне производительности и минимальной себестоимости процесса обработки.

13.3. Формирование операций из переходов

Факторы, влияющие на формирование операции, можно подразделить на три группы. К **первой** группе относятся факторы, от которых зависит обеспечение качества детали (деление технологического процесса на предварительную и окончательную обработку, смену технологических баз, выполнение обработки нескольких поверхностей с одной установки заготовки, выделение в самостоятельную операцию переходов, связанных с достижением особо высокой точности и т.п.). **Вторую** группу составляют факторы, определяющие физическую возможность объединения переходов в операцию (невозможность объединения в операцию процессов обработки, отличающихся своей физической сущностью, отсутствие свободного доступа к различным поверхностям при обработке заготовки). К **третьей** группе относятся организационно-экономические факторы (тип производства, вид и форма его организации).

На формирование операций оказывает влияние организация и планирование производства, стремление к уменьшению протяженности путей транспортирования и числа транспортных операций, межцеховая кооперация и другие факторы.

Размерный анализ технологического процесса является завершающим этапом разработки технологического процесса механической обработки детали. Он позволяет установить соответствие параметров точности детали, изготовленной с помощью разработанного технологического процесса, с требованиями чертежа и определить достаточность припусков, назначенных на обработку детали.

13.4. Оформление документации

Разработанный технологический процесс оформляют документально в соответствии с требованиями ЕСТД. В зависимости от объема выпуска изделия документация имеет различные формы. Ею могут быть маршрутная и операционная карты, карты эскизов и др.

Назначение технологической документации заключается в том, чтобы дать исчерпывающую информацию исполнителям о строении технологического процесса, оборудовании, инструментах, режимах обработки, трудоемкости операций, разрядах работ и их расценках. Технологические карты, ведомости оснастки, комплектовочные карты и пр. являются оперативными документами в планировании и управлении производством. Одновременно с разработкой технологического процесса разрабатывают технические задания на проектирование специального оборудования, приспособлений, режущего и измерительного инструмента, штампов.

Техническое задание должно содержать подробное описание служебного назначения объекта проектирования

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Практическое занятие № 1.

Определение сил, действующих при точении, и мощности.

Цель работы: изучить методику расчета сил резания и мощности, затрачиваемой на резание, аналитическим способом.

Ознакомиться и приобрести навыки работы со справочной литературой.

Общие сведения

Для изучения действия силы сопротивления резанию принято ее раскладывать на три взаимно перпендикулярные составляющие силы, направленные по осям координат станка: P_x - осевая сила; P_y - радиальная сила; P_z - тангенциальная сила, которую обычно называют силой резания [1].

Осевая сила P_x действует вдоль заготовки, при продольном точении противодействует механизму подачи.

Радиальная сила P_y - отжимает резец, ее реакция изгибает заготовку.

Сила резания P_z направлена по касательной к поверхности резания, определяет расходуемую мощность на резание N_p .

Составляющие силы резания при точении рассчитывают по аналитической формуле :

$$P_{z(x,y)} = 10C_p t^x S^y V^n K_p, \text{ Н}$$

где C_p - коэффициент, учитывающий условия обработки;

x, y, n - показатели степени;

t - глубина резания, мм;

S - подача, мм/об;

V - скорость резания, м/мин;

K_p - обобщенный поправочный коэффициент, учитывающий изменение условий по отношению к табличным.

$$K_p = K_{\mu p} K_{\phi p} K_{\lambda p} K_{z p} K_{\gamma p},$$

где $K_{\mu p}$ - поправочный коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала;

$K_{\gamma p}, K_{\phi p}, K_{\lambda p}, K_{z p}$ - коэффициенты, учитывающие соответствующие геометрические параметры резца.

Мощность резания рассчитывают по формуле

$$N = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт}$$

где P_z - сила резания, Н;

V - скорость резания, м/мин.

Пример решения задачи

Определить силы, действующие при продольном точении заготовки из стали 40Х с пределом прочности $\sigma_b = 700 \text{ МПа}$, резцом с пластиной из твердого сплава Т5К10. Определить мощность резания. Глубина резания $t=3$ мм, подача $S=0,8$ мм/об, скорость резания $V=67$ м/мин.

Геометрические параметры резца: форма передней поверхности - радиусная с фаской; $\phi = 60^\circ$; $\phi_1 = 15^\circ$; $\gamma_\phi = -5^\circ$; $\alpha = 12^\circ$; $\lambda = 0$; $r = 1 \text{ мм}$.

Решение

1. Силы резания при точении

$$P_{z(x,y)} = 10C_p t^x S^y V^n K_p$$

1.1 Определяем значения постоянной и показателей степени [2],

$$C_{P_z} = 300 \quad x=1,0 \quad y=0,75 \quad n= - 0,15$$

$$C_{P_x} = 339 \quad x=1,0 \quad y=0,5 \quad n= - 0,4$$

$$C_{P_y} = 243 \quad x=0,9 \quad y=0,6 \quad n= - 0,3$$

1.2 Определяем значения поправочных коэффициентов

$$K_p = K_{\mu p} K_{\varphi p} K_{\lambda p} K_{rp} K_{\gamma p}$$

$$K_{mp_z} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n ; n=0,75 [2],$$

$$K_{mp_z} = \left(\frac{700}{750} \right)^{0,75} = 0,95.$$

$$K_{mp_x} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n ; n=1 [3],$$

$$K_{mp_x} = \left(\frac{700}{750} \right)^1 = 0,93.$$

$$K_{mp_y} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n ; n=1,35 [2],$$

$$K_{mp_y} = \left(\frac{700}{750} \right)^{1,35} = 0,91.$$

Поправочные коэффициенты, учитывающие геометрию резца [2],

$$K_{\varphi p_z} = 0,94; \quad K_{\varphi p_x} = 1,11; \quad K_{\varphi p_y} = 0,77;$$

$$K_{\gamma p_z} = 1,25; \quad K_{\gamma p_x} = 2; \quad K_{\gamma p_y} = 2;$$

$$K_{\lambda p_z} = K_{\lambda p_x} = K_{\lambda p_y} = 1;$$

K_{rp} - учитывается только для резцов из быстрорежущей стали

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 3^1 \cdot 0,8^{0,75} \cdot 67^{-0,15} \cdot 0,95 \cdot 0,94 \cdot 1,25 = 4050 \text{ Н}$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 3^1 \cdot 0,8^{0,5} \cdot 67^{-0,4} \cdot 0,93 \cdot 1,11 \cdot 2 = 1685,5 \text{ Н}$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 3^{0,9} \cdot 0,8^{0,6} \cdot 67^{-0,3} \cdot 0,91 \cdot 0,77 \cdot 2 = 1611 \text{ Н}$$

2. Мощность резания

$$N = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60} = \frac{4050 \cdot 67}{60 \cdot 1020} = 4,43 \text{ кВт}$$

Задание на практическое занятие №1

Выполнить расчет силы резания (P_z) и мощности, затрачиваемой на резание по заданному варианту.

Исходные данные приведены в таблице 1.

Порядок выполнения работы

1. Пользуясь инструкцией и литературой [1,2], изучить методику и выполнить расчет по заданию.
2. Составить отчет по форме 1.

Форма 1

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Расчет силы резания и мощности, затрачиваемой на резание.

Таблица 1

Варианты задания к практическому занятию 1

Номер варианта	Материал заготовки	Режим резания			Геометрические параметры резца*					
		t, мм	S, мм	V, м/мин	φ°	α°	γ°	λ°	r, мм	Форма передней поверхности
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Сталь 20, $\sigma_B=550$ МПа	4	0,7	140	45	8	10	5	1	Радиусная с фаской
2	Серый чугун СЧ10, НВ 160	5	0,78	60	60	8	5	1 0	1	Плоская
3	Сталь 12Х18Н9Т; НВ180	1	0,21	265	90	12	10	0	2	Радиусная с фаской
4	Сталь 14Х17Н2; НВ200	1,5	0,195	250	90	12	10	0	2	
5	Серый чугун СЧ30, НВ 220	1,5	0,26	150	45	10	5	-5	2	Плоская
6	Серый чугун СЧ20, НВ 210	2	0,35	155	45	10	12	0	1	Радиусная с фаской
7	Сталь 38ХА, $\sigma_B=680$ МПа	3	0,61	120	60	8	10	5		
8	Сталь 35, $\sigma_B=560$ МПа	1,5	0,2	390	60	12	15	0		
9	Серый чугун СЧ15, НВ 170	4,5	0,7	65	90	8	5	0		Плоская
10	Серый чугун СЧ10, НВ 160	3,5	0,6	65	45	10	10	5	2	Радиусная с фаской
11	Сталь 40ХН, $\sigma_B=700$ МПа	1,5	0,3	240	60	12	10	-5		
12	Сталь Ст3, $\sigma_B=600$ МПа	5	0,8	240	60	10	5	0		
13	Сталь 40Х, $\sigma_B=750$ МПа	1,0	0,15	240	90	12	10	-5		
14	Сталь Ст5, $\sigma_B=600$ МПа	3,5	0,52	130	45	8	10	5	1	Плоская
15	Серый чугун СЧ20, НВ 180	4,0	0,87	75	60	8	5	1 0		
16	Серый чугун СЧ20, НВ 200	2,5	0,25	100	45	10	5	0		

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
17	Сталь 20Х, $\sigma_B=580$ МПа	1,0	0,125	180	45	12	15	0	2	Радиусная с фаской
18	Сталь 50, $\sigma_B=750$ МПа	2,0	0,25	150	60	10	12	5		
19	Бронза Бр АЖН 10-4, НВ170	1,5	0,15	130	60	6	20	1 0	1	Плоская с фаской
20	Латунь ЛМцЖ 52-4-1, НВ100	2,5	0,3	80	90	8	25	-5		
21	Серый чугун СЧ30, НВ 220	1,5	0,1	130	45	10	8	0	15	Плоская
22	Серый чугун СЧ20, НВ 200	3	0,4	90	90	8	10	-5		
23	Сталь 30ХН3А, $\sigma_B=800$ МПа	5	0,8	110	60	12	12	-5		

24	Сталь 30ХМ, $\sigma_B=780$ МПа	2,5	0,2	100	45	10	10	2	2	фаской
25	Сталь 45, $\sigma_B=650$ МПа	4	1,2	90	60	8	15	0		
26	Сталь 15Х, $\sigma_B=687$ МПа	2,0	0,35	100	45	6	8	5		
27	Ковкий чугун КЧ30, НВ 163	3,0	0,5	120	90	8	10	0	1	Плоская
28	Сталь 20ХНР, $\sigma_B=700$ МПа	4,5	0,06	80	60	12	5	-5		
29	Сталь 30Г, $\sigma_B=550$ МПа	1,5	0,35	120	45	10	12	1 0		
30	Сталь 35ХГСА, $\sigma_B=700$ МПа	2,5	0,05	140	90	8	5	0		

* Для всех вариантов принять резец с пластиной из твердого сплава.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

Расчет режима резания при точении аналитическим способом

Цель работы: изучить методику расчета режима резания аналитическим способом. Ознакомиться и приобрести навыки работы со справочной литературой.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Обработка заготовки точением осуществляется при сочетании двух движений: равномерного вращательного движения детали - движения резания (или главное движение) и равномерного поступательного движения резца вдоль или поперек оси детали - движение подачи. К элементам режима резания относятся: глубина резания t , подача S , скорость резания V .

Глубина резания - величина срезаемого слоя за один проход, измеренная в направлении, перпендикулярном обработанной поверхности, т.е. перпендикулярном направлению подачи. При черновой обработке, как правило, глубину резания назначают равной всему припуску, т.е. припуск срезают за один проход

$$t = h = \frac{D - d}{2}, \text{ мм}$$

где h - припуск, мм;

D - диаметр заготовки, мм;

d - диаметр детали, мм.

При чистовой обработке припуск зависит от требований точности и шероховатости обработанной поверхности.

Подача - величина перемещения режущей кромки инструмента относительно обработанной поверхности в направлении подачи за единицу времени (минутная подача S_m) или за один оборот заготовки. При черновой обработке назначают максимально возможную подачу исходя из жесткости и прочности системы СПИД, прочности пластинки, мощности привода станка; при чистовой обработке - в зависимости от требуемой степени точности и шероховатости обработанной поверхности.

Скорость резания - величина перемещения точки режущей кромки инструмента относительно поверхности резания в направлении движения резания за единицу времени. Скорость резания зависит от режущих свойств инструмента и может быть определена при точении по таблицам нормативов [4] или по эмпирической формуле

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v,$$

где C_v - коэффициент, учитывающий условия обработки;

m, x, y - показатели степени;

T - период стойкости инструмента;

t - глубина резания, мм;

S - подача, мм/об;

K_v - обобщенный поправочный коэффициент, учитывающий изменения условий обработки по отношению к табличным

$$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{uv} K_{\varphi v} K_{rv},$$

где K_{mv} - коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки;

K_{nv} - коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки;

K_{uv} - коэффициент, учитывающий материал инструмента;

$K_{\varphi v}$ - коэффициент, учитывающий главный угол в плане резца;

K_{rv} - коэффициент, учитывающий радиус при вершине резца - учитывается только для резцов из быстрорежущей стали.

При настройке станка необходимо установить частоту вращения шпинделя, обеспечивающую расчетную скорость резания.

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D}, \text{ об/мин} \quad (2.3)$$

Основное технологическое (машинное) время - время, в течение которого происходит снятие сружки без непосредственного участия рабочего

$$T_0 = \frac{L}{S \cdot n} \cdot i, \text{ мин} \quad (2.4)$$

где L - путь инструмента в направлении рабочей подачи, мм;

i - количество проходов.

$$L = l + y + \Delta, \text{ мм}$$

где l - размер обрабатываемой поверхности в направлении подачи;

y - величина врезания, мм;

Δ - величина перебега, мм, $\Delta = 1 \div 2$ мм.

$$y = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi,$$

где t - глубина резания;

φ - главный угол в плане резца.

Пример решения задачи

На токарно-винторезном станке 16К20 производится черновое обтачивание на проход вала $D=68$ мм до $d=62$ мм. Длина обрабатываемой поверхности 280 мм; длина вала $l_1=430$ мм. Заготовка - поковка из стали 40Х с пределом прочности $\sigma_b=700$ МПа. Способ крепления заготовки - в центрах и поводковом патроне. Система СПИД недостаточно жесткая. Параметр шероховатости поверхности $Ra=12,5$ мкм. Необходимо: выбрать режущий инструмент, назначить режим резания; определить основное время.

Решение

1. Выполнение эскиза обработки.

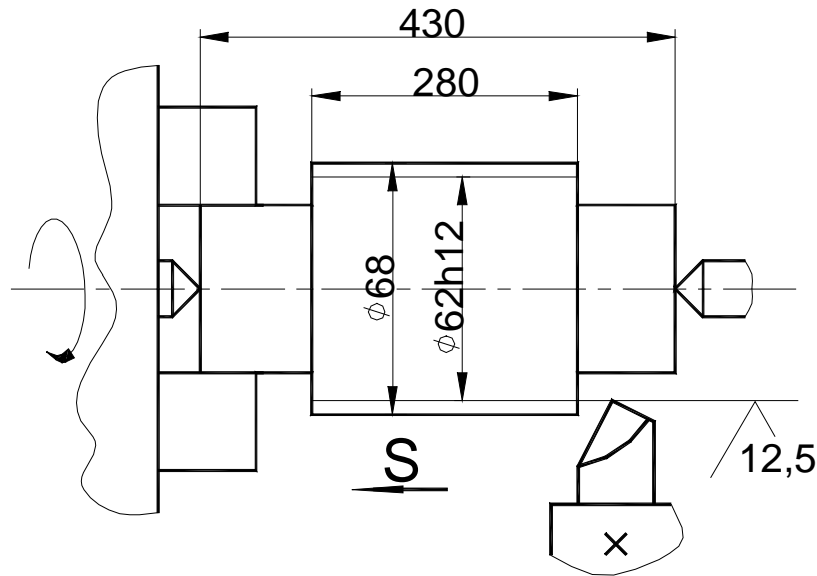


рис. 1

2. Выбор режущего инструмента

Для обтачивания на проход вала из стали 40Х принимаем токарный проходной резец прямой правый с пластиной из твердого сплава Т5К10 [2] или [3]. Форма передней поверхности радиусная с фаской [3]; геометрические параметры режущей части резца:

$$\begin{aligned} \gamma &= 15^0; \alpha = 12; \lambda = 0 \text{ [3]}, \\ \varphi &= 60^0; \quad \varphi_1 = 15^0; \text{ [3]}, \\ r &= 1 \text{ мм}; \quad f = 1 \text{ мм}; \text{ [3]}. \end{aligned}$$

3. Назначение режимов резания

3.1. Глубина резания. При черновой обработке припуск срезаем за один проход, тогда

$$t = h = \frac{D - d}{2} = \frac{68 - 62}{2} = 3 \text{ мм}.$$

3.2. Назначаем подачу. Для черновой обработки заготовки из конструкционной стали диаметром до 100 мм резцом сечением 16x25 (для станка 16К20) при глубине резания до 3 мм:

$$S = 0,6 \div 1,2 \text{ мм/об [2], [3]}.$$

В соответствии с примечанием 1 к указанной таблице и паспортным данным станка (см. Приложение 1 к данным методическим указаниям) принимаем $S = 0,8 \text{ мм/об}$.

3.3. Скорость резания, допускаемая материалом резца

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v, \text{ м/мин}$$

где $C_v = 340$; $x = 0,15$; $y = 0,45$, $m = 0,2$, $T = 60 \text{ мин}$ [2], [3]

Поправочный коэффициент для обработки резцом с твердосплавной пластиной

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\varphi v}$$

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_\sigma} \right)^{n_v}, \text{ [2], [3]},$$

где $K_r = 1$; $n_v = 1$ [2],

тогда
$$K_{mv} = \left(\frac{750}{700} \right)^{-1} = 1,07$$

$K_{nv}=0,8$ [2] или [3],

$K_{uv}=0,65$ [2] или [3],

$K_{fv}=0,9$ [2] или [3].

$$V = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 1,07 \cdot 0,8 \cdot 0,65 \cdot 0,9 = 70,6 \text{ м/мин}$$

3.4. Частота вращения, соответствующая найденной скорости резания

$$n = \frac{1000V}{\pi \cdot D}, \text{ об/мин}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 70,6}{3,14 \cdot 68} = 330,6 \text{ об/мин.}$$

Корректируем частоту вращения шпинделя по паспортным данным станка
 $n_d=315$ об/мин.

3.5. Действительная скорость резания

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ м/мин; } V_d = \frac{3,14 \cdot 68 \cdot 315}{1000} = 67,3 \text{ м/мин.}$$

4. Основное время

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i, \text{ мин}$$

Путь резца $L=l+y+\Delta$, мм

Врезание резца $y=t \cdot \text{ctg}\varphi=3 \cdot \text{ctg } 60^\circ=3 \cdot 0,58=1,7$ мм

Пробег резца $\Delta=1,3$ мм.

Тогда $L=280+1,7+1,3=383$ мм.

$$T_o = \frac{283}{315 \cdot 0,8} = 1,12 \text{ мин.}$$

Задание на практическое занятие №2

Выполнить расчет режимов резания аналитическим способом (по эмпирической формуле) по заданному варианту для обработки на токарно-винторезном станке 16К20.

Исходные данные приведены в таблице 2.

Порядок выполнения работы

1. Пользуясь инструкцией и дополнительной литературой, изучить методику определения режима резания. Ознакомиться со справочником [2] или [3]. Ознакомиться с условием задания.
2. Выполнить эскиз обработки.
3. Выбрать режущий инструмент.
4. Назначить глубину резания.
5. Определить подачу.
6. Рассчитать скорость резания.
7. Определить частоту вращения шпинделя и скорректировать по паспорту станка.
8. Определить действительную скорость резания.
9. Рассчитать основное технологическое время.
10. Составить отчет по форме 2.

Таблица 2

Номер варианта	Заготовка, материал и его свойства	Вид обработки и параметр шероховатости	D, мм	d, мм	l, мм
1	2	3	4	5	6
1	Прокат. Сталь 20, $\sigma_B=500$ МПа	Обтачивание на проход Ra=12,5 мкм	90	82h12	260
2	Отливка с коркой. Серый чугун СЧ 20, HB160	Обтачивание на проход Ra=12,5 мкм	120	110h12	310
3	Поковка. Сталь 12X18H9T, HB180	Обтачивание в упор Ra=1,6 мкм	52	50e9	400
4	Прокат. Сталь 14X17H2, HB200	Растачивание в упор Ra=3,2 мкм	90	93H11	30
5	Отливка без корки СЧ30, HB220	Растачивание на проход Ra=3,2 мкм	80	83H11	50
6	Отливка с коркой. Серый чугун СЧ 20, HB210	Растачивание на проход Ra=12,5 мкм	120	124H12	100
7	Прокат. Сталь 38XA, $\sigma_B=680$ МПа	Обтачивание на проход Ra=12,5 мкм	76	70h12	315
8	Обработанная. Сталь 35, $\sigma_B=560$ МПа	Растачивание на проход Ra=3,2 мкм	97	100H11	75
9	Отливка с коркой. Серый чугун СЧ 15, HB170	Обтачивание в упор Ra=12,5 мкм	129	120h12	340
10	Обработанная. Серый чугун СЧ 10, HB160	Подрезание сплошного торца Ra=12,5 мкм	80	0	3,5
11	Поковка. Сталь 40XH, $\sigma_B=700$ МПа	Растачивание на проход Ra=3,2 мкм	77	80H11	45
12	Обработанная. Сталь Ст3, $\sigma_B=600$ МПа	Подрезание сплошного торца Ra=12,5 мкм	90	0	5
13	Прокат. Сталь 40X, $\sigma_B=750$ МПа	Обтачивание в упор Ra=0,8 мкм	68	62e9	250
14	Обработанная. Сталь Ст5, $\sigma_B=600$ МПа	Растачивание на проход Ra=12,5 мкм	73	80H12	35
15	Отливка с коркой. Серый чугун СЧ 20, HB180	Обтачивание на проход Ra=12,5 мкм	62	58h12	210
16	Отливка с коркой. Серый чугун СЧ 20, HB200	Подрезание втулки Ra=3,2 мкм	80	40	2,5
17	Поковка. Сталь 20X, $\sigma_B=580$ МПа	Растачивание сквозное Ra=1,6 мкм	48	50H9	50
18	Обработанная. Сталь 50, $\sigma_B=750$ МПа	Подрезание торца втулки Ra=3,2 мкм	60	20	2,0
19	Отливка с коркой. Бронза Бр АЖН 10-4, HB170	Обтачивание на проход Ra=1,6 мкм	88	85e12	140
20	Прокат. Латунь ЛМцЖ 52-4-1, HB220	Растачивание в упор Ra=3,2 мкм	48	53H11	65

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
21	Обработанная. Серый чугун СЧ 30, HB220	Подрезание торца Ra=1,6 мкм	65	0	1,5
22	Обработанная. Серый чугун СЧ 20,	Обработка в упор Ra=3,2	74	80H11	220

	HB220	мкм			
23	Поковка. Сталь 30ХН3А, $\sigma_b=800$ МПа	Обработка на проход Ra=12,5 мкм	105	115Н1 2	260
24	Прокат. Сталь 30ХМ, $\sigma_b=780$ МПа	Подрезание торца Ra=1,6 мкм	80	0	2,5
25	Обработанная. Сталь 45, $\sigma_b=650$ МПа	Обработка на проход Ra=1,6 мкм	72	80Н9	100
26	Прокат. Сталь ШХ15, $\sigma_b=700$ МПа	Растачивание на проход Ra=3,2 мкм	90	95Н11	60
27	Поковка. Ковкий чугун КЧ30, HB163	Обтачивание на проход Ra=12,5 мкм	115	110h7	150
28	Отливка с коркой. Серый чугун СЧ 15, HB163	Обтачивание в упор Ra=6,3 мкм	150	142h8	70
29	Прокат. Бронза БрАЖ 9-4, $\sigma_b=500$ МПа	Растачивание в упор Ra=12,5 мкм	60	69Н11	50
30	Прокат. Сталь 35Г2, $\sigma_b=618$ МПа	Подрезание торца втулки Ra=6,3 мкм	100	80	3,0

Практическое занятие №3

Расчет режимов резания при токарных работах с помощью нормативно-справочной литературы

Цель работы: Изучить методику назначения режима резания по таблицам нормативов. Ознакомиться и приобрести навыки работы с нормативами.

Общие положения

Точение широко распространенный метод обработки резанием тел вращения. Применяется для удаления наружных, внутренних и торцовых поверхностных слоев заготовок (цилиндрических, конических и фасонных). Рассматривают следующие виды точения:

- 1) черновое точение ("обдирка") - удаление дефектных слоев заготовки, разрезка, отрезка и подрезка торцов заготовки. Срезается поверхностная "корка" и основная ($\approx 70\%$) часть припуска на обработку, позволяет получать шероховатость 50...12,5 Ra;
- 2) полустачное точение - снятие 20...25% припуска и позволяет получать шероховатость 6,3...3,2 Ra и точность 10...11-го квалитетов. Заготовка получает форму, близкую к детали.
- 3) чистовое точение - обеспечивает получение шероховатости 3,2...1,6 Ra и точность 7-9-го квалитетов. Деталь получает окончательную форму и размеры;
- 4) тонкое точение - позволяет при срезании очень тонких стружек получать на поверхностях детали шероховатость 0,40..0,20 Ra и точность 5-7-го квалитетов.

Определение режимов резания состоит в выборе по заданным условиям обработки наиболее выгодного сочетания глубины резания, подачи и скорости резания, обеспечивающих наименьшую трудоемкость и себестоимость выполнения операции.

Режимы резания устанавливаются в следующем порядке:

1. Определение глубины резания t мм и числа проходов i . При черновом точении весь припуск целесообразно снимать за один проход (в ряде случаев, когда имеется лимит мощности станка, бывает выгодно снимать припуск за несколько проходов). Целесообразность этого должна определяться сравнительным расчетом продолжительности оперативного времени. Деление припусков на несколько проходов производится также при полустачном и чистовом точении, а также при обработке резцами с дополнительной режущей кромкой ($\phi_1=0$).

2. Выбор подачи S мм/об. Подача выбирается в зависимости от площади сечения державки резца, диаметра обработки и глубины резания. Выбранная подача проверяется

на допустимость по мощности электродвигателя, прочности державки резца, прочности пластин из твердого сплава и от заданной чистоты поверхности.

3. Определение нормативной скорости резания V_m /мин. И соответствующей ей частоты вращения n , мин^{-1} . По значению скорости выбирается необходимая частота вращения шпинделя, которая корректируется по паспорту станка.

4. Определяются усилия и мощности резания по выбранным значениям t, S и V .

5. Проверка возможности осуществления выбранного режима резания на заданном станке по его эксплуатационным данным. Если найденный режим не может быть осуществлен на заданном станке, а выбранная подача удовлетворяет, необходимо уменьшить скорость резания. Уменьшение скорости V осуществляется вводом поправочного коэффициента изменения скорости K_v в зависимости от отношения мощности на шпинделе, допустимой станком, к мощности по нормативам.

6. Корректировка выбранного режима по станку в соответствии с его паспортными данными.

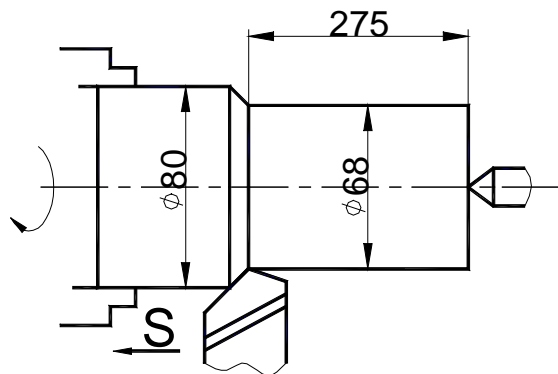
Пример решения задачи

Рассчитать режим резания при предварительной обточке детали типа вал на станке 16К20.

Исходные данные: род и размер заготовки - прокат, сталь 45; $\sigma_b=550$ МПа; $D=80$ мм; $d=68$ мм; $l=275$ мм; условия выполнения операции - заготовка устанавливается в самоцентрирующийся патрон с поджатием центра задней бабки.

Решение

1. Выполнение эскиза обработки.



2. Выбор режущего инструмента.

Для обтачивания вала из стали 45 принимаем токарный проходной резец прямой правый с пластиной из твердого сплава Т5К10 [2] или [3] $\phi=45^\circ$; $\phi_1=10^\circ$; $s=4$ мм (толщина пластинки); $V_x H=25 \times 25$ (сечение державки); $I_p=1,5$ Н (вылет резца).

3. Назначение режимов резания.

Расчет режимов резания выполним в традиционной последовательности с использованием данных работы [7].

3.1 Глубина резания. При черновой обработке припуск срезаем за один проход, тогда

$$t = h = \frac{D - d}{2} = \frac{80 - 68}{2} = 6 \text{ мм}$$

3.2 Назначаем подачу. Для державки резца сечением 25×25 мм, диаметра обработки до 100 мм и глубины резания до 8 мм рекомендуется подача $S=0,5 \dots 0,7$ мм/об;

Проверим допустимость рекомендуемой подачи по мощности электродвигателя, прочности державки резца и прочности пластинки твердого сплава.

Для глубины резания $t=6$ мм, мощности электродвигателя $N_d=8$ кВт и для резца $\varphi_1 > 0^\circ$ допускается подача $S=0,7$ мм/об. Для стали с пределом прочности $\sigma_B=550$ МПа (55 кг/мм²) поправочный коэффициент $K_{MS}=1,07$. Следовательно, подача, допускаемая мощностью электродвигателя (из условий обеспечения работы для твердого сплава со скоростью не ниже 50 м/мин) $S=0,7 \cdot 1,07=0,75$ мм/об.

Для резца с державкой сечением 25×25 мм и глубиной резания $t=6$ мм находим подачу $S=3$ мм/об. Умножив эту подачу на поправочный коэффициент $K_{MS}=1,07$, соответствующий стали с пределом прочности $\sigma_B=550$ МПа (55 кг/мм²), и $K_{MS}=0,58$, соответствующий вылету резца $l=1,5$ Н, найдем подачу, допустимую прочностью державки резца: $S=3 \cdot 1,07 \cdot 0,58=1,86$ мм/об.

Для резца с главным углом в плане $\varphi=45^\circ$, толщиной пластинки твердого сплава $s=4$ мм и для глубины резания $t=6$ мм находим подачу $S=1,11$ мм/об.

С учетом поправочного коэффициента для стали ($\sigma_B=550$ МПа), $K_{MS}=1,07$, допускается подача по прочности пластинки твердого сплава

$$S=1,11 \cdot 1,07=1,19 \text{ мм/об.}$$

Из сопоставления подач $S=0,7$ мм/об, $S=1,86$ мм/об и $S=1,19$ мм/об, видим, что величину подачи лимитирует мощность электродвигателя. Подача, допустимая мощностью электродвигателя, не ограничивает максимальную подачу $S=0,7$ мм/об. Такая подача имеется на станке (согласно паспортным данным), следовательно, ее и примем для выполнения технологического перехода обработки $\varnothing 68$.

3.3. Скорость резания и частота вращения шпинделя. Для глубины резания $t=6$ мм резца проходного прямого с главным углом в плане $\varphi=45^\circ$ для $S=0,7$ мм/об соответствует $V=100$ м/мин, $P_z=6630$ Н, $N_3=10,7$ кВт.

Определяем поправочные коэффициенты для измененных условий резца. В данном примере необходимо учесть только поправочный коэффициент в зависимости от предела прочности обработанного материала σ_B . Для $\sigma_B=550$ МПа находим $K_{mv}=1,18$, $K_{mpz}=0,92$, $K_{mN_3}=1,09$.

Следовательно, для заданных условий обработки нормативные значения V , P_z и N_3 составляют: $V=100 \cdot 1,18=118$ м/мин; $P_z=6630 \cdot 0,92=6100$ Н; $N_3=10,7 \cdot 1,09=11,6$ кВт.

Найденный режим не может быть осуществлен на заданном станке, так как эффективная мощность, потребная на резание $N_3=11,6$ кВт, выше мощности на шпинделе, допустимой номинальной мощностью электродвигателя ($7,5$ кВт по паспорту станка). Необходимо уменьшить скорость резания. Коэффициент изменения скорости резания зависит от отношения мощности на шпинделе, допускаемой станком, к мощности по нормативам.

В данном примере это отношение будет $7,5/11,6=0,6$.

Для этого соотношения коэффициент изменения скорости резания: $K_v=0,55$ м/мин. Скорость резания, установленная по мощности станка,

$$V=118 \cdot 0,55=65 \text{ м/мин}$$

Частота вращения шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 65}{3,14 \cdot 80} = 258 \text{ об/мин}$$

По паспорту станка выбираем $n=250$ об/мин. Тогда фактическая скорость резания

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 250}{1000} = 62,8 \text{ м/мин.}$$

Окончательно для перехода обработки $\varnothing 80$: глубина резания $t=6$ мм, подача $S=0,7$ мм/об, $n=250$ об/мин, $V_\phi=62,8$ м/мин.

4. Основное время

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i = \frac{281}{250 \cdot 0,7} \cdot 1 = 1,6 \text{ мин.}$$

где L - путь резца

$$L=l+l_1=275+6=281 \text{ мм}$$

здесь l_1 - величина врезания резца (для данного примера). Для глубины резания $t=6$ мм и главном угле в плане $\varphi=45^\circ$ находим $l_1=6$ мм;

l - длина обработанной поверхности.

Задание на практическое занятие №3.

Определить режимы резания по таблицам нормативов (по заданному варианту) для обработки на токарно-винторезном станке 16К20.

Исходные данные приведены в таблице 3.

Порядок выполнения работы

1. Пользуясь инструкцией и дополнительной литературой, изучить методику определения режима резания. Ознакомиться со справочником [7].
2. Выполнить эскиз обработки.
3. Выбрать режущий инструмент, выполнить эскиз.
4. Назначить глубину резания.
5. Определить подачу.
6. Определить скорость, силу и мощность затрачиваемую на резание.
7. Определить частоту вращения шпинделя и скорректировать по паспорту станка.
8. Определить действительную скорость резания.
9. Определить основное технологическое время.

Таблица 3

№	Заготовка, материал и его свойства	Вид обработки и параметр шероховатости	D, мм	d, мм	l, мм
1	2	3	4	5	6
1	Прокат. Сталь 45, $\sigma_B=600$ МПа	Растачивание на проход, Ra=3,2 мкм	97	100H10	120
2	Прокат. Сталь 2X13, $\sigma_B=600$ МПа	Обтачивание на проход, Ra=3,2 мкм	80	70h10	300
3	Прокат. Сталь ШХ15, $\sigma_B=700$ МПа	Растачивание в упор, Ra=12,5 мкм	90	95H12	50
4	Отливка с коркой. Серый чугун СЧ 15, HB197	Обтачивание в упор, Ra=12,5 мкм	100	94h12	150
5	Прокат. Латунь ЛМцЖ 52-4-1 HB220	Растачивание на проход, Ra=12,5 мкм	48	54H12	70
6	Отливка. Чугун ВЧ 60-2. HB240	Растачивание, Ra=3,2 мкм	70	63h10	60
7	Прокат. Сталь 40X, $\sigma_B=700$ МПа	Обработка в упор, Ra=12,5 мкм	66	70H12	100
8	Обработанная. СЧ 24, HB207	Обработка в упор, Ra=3,2 мкм	120	114h10	250
9	Поковка. Чугун КЧ33 HB163	Обработка на проход, Ra=12,5 мкм	110	116H12	150
10	Обработанная. Сталь 20X, $\sigma_B=550$ МПа	Обработка в упор, Ra=1,6 мкм	80	70h7	200
11	Прокат. Сталь 40XH, $\sigma_B=700$ МПа	Обработка на проход,	74	80H10	75

		Ra=3,2 мкм			
12	Прокат. Сталь 18ХГТ, $\sigma_B=700$ МПа	Обработка на проход, Ra=12,5 мкм	170	155h12	125
13	Обработанная.Сталь65Г, $\sigma_B=700$ МПа	Обработка в упор, Ra=12,5 мкм	62	70H12	80
14	Отливка с коркой. Серый чугун СЧ 21, HB205	Обработка в упор, Ra=12,5 мкм	125	113h12	275
15	Поковка. Чугун КЧ35 HB163	Обработка на проход, Ra=3,2 мкм	138	150H10	100
16	Обработанная.Сталь1Х13, $\sigma_B=500$ МПа	Обтачивание на проход, Ra=3,2 мкм	90	81h10	175
17	Прокат. Сталь 1Х18Н9Т, $\sigma_B=550$ МПа	Обработка в упор, Ra=12,5 мкм	42	50H12	90
18	Отливка с коркой. Бронза БрАЖН 10-4. HB170	Обтачивание на проход, Ra=1,6 мкм	105	100h7	85
19	Отливка с коркой. Серый чугун СЧ 40, HB210	Обработка на проход, Ra=3,2 мкм	60	69H12	45
20	Обработанная.Сталь35, $\sigma_B=560$ МПа	Обработка на проход, Ra=1,6 мкм	115	100h7	280
21	Прокат. Сталь 38ХА, $\sigma_B=680$ МПа	Обработка на проход, Ra=1,6 мкм	85	90H7	110
22	Отливка с коркой. Сталь35ХГСЛ, $\sigma_B=800$ Мпа	Обтачивание, Ra=12,5мкм	95	90h12	70
23	Прокат. Сталь 20, $\sigma_B=420$ МПа	Обработка на проход, Ra=1,6 мкм	65	70H7	50
24	Обработанная.Сталь50, $\sigma_B=900$ МПа	Обработка в упор, Ra=12,5 мкм	55	51h12	35
25	Обработанная.Сталь50Х, $\sigma_B=650$ МПа	Обработка в упор, Ra=3,2 мкм	32	35H10	20
26	Отливка с коркой. Сталь30Л, $\sigma_B=480$ МПа	Обработка на проход, Ra=1,6 мкм	100	92h7	195

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6
27	Прокат. Сталь 30ХМ, $\sigma_B=1000$ МПа	Обработка на проход, Ra=12,5 мкм	75	80H12	120
28	Прокат. Сталь 30, $\sigma_B=600$ МПа	Обработка в упор, Ra=3,2 мкм	116	98h10	115
29	Отливка с коркой. Чугун ЖЧХ, HB250	Обработка на проход, Ra=12,5 мкм	95	115H12	180
30	Прокат. Сталь 65Г, $\sigma_B=700$ МПа	Обработка на проход, Ra=12,5 мкм	150	128h12	300

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

Назначение режима резания при сверлении, зенкерования и развертывании

Цель работы: изучить методику назначения режимов резания по таблицам нормативов. Ознакомиться и приобрести навыки работы с нормативами.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Наиболее распространенный метод получения отверстий резанием – сверление.

Движение резания (главное движение) при сверлении – вращательное движение, движение подачи – поступательное. В качестве инструмента при сверлении применяются сверла. Самые распространенные из них – спиральные, предназначены для сверления и рассверливания отверстий, глубина которых не превышает 10 диаметров сверла. Шероховатость поверхности после сверления $Ra=12,5\div 6,3$ мкм, точность по 11-14 качеству. Градация диаметров спиральных сверел должна соответствовать ГОСТ 885-64. Для получения более точных отверстий (8-9 качество) с шероховатостью поверхности $Ra=6,3\div 3,2$ мкм применяют зенкерование. Исполнительные диаметры стандартных зенкеров соответствуют ГОСТ1677-75. Развертывание обеспечивает изготовление отверстий повышенной точности (5-7 качество) низкой шероховатости до $Ra=0,4$ мкм.

Исполнительные размеры диаметров разверток из инструментальных сталей приведены в ГОСТ 11174-65, с пластинками из твердого сплава в ГОСТ 1173-65.

Отличительной особенностью назначения режима резания при сверлении является то, что глубина резания $t=D/2$, при рассверливании, зенкерования и развертывании.

$$t = \frac{D - d}{2}, \text{ мм.}$$

При рассверливании отверстий подача, рекомендуемая для сверления, может быть увеличена в 2 раза.

Порядок назначения остальных элементов режима резания аналогичен назначению режимов резания при токарной обработке.

Средние значения припусков на диаметр, снимаемых зенкерами и развертками см. в приложении 4.

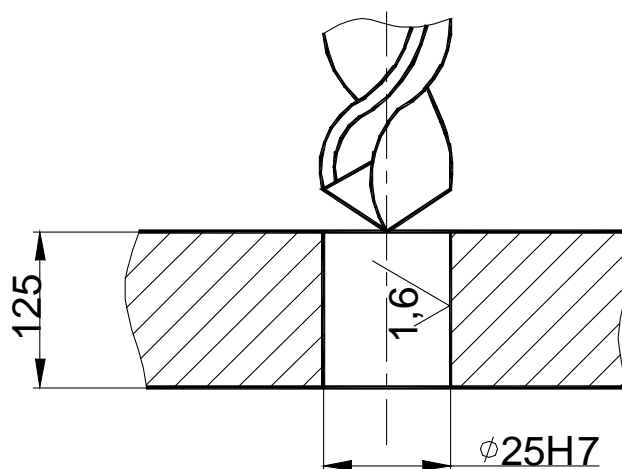
Пример решения задачи

На вертикально-сверлильном станке 2Н125 обработать сквозное отверстие диаметром 25H7 ($Ra=1,6$ мкм), $l=125$ мм. Материал заготовки СЧ18, HB210.

Необходимо: выбрать режущий инструмент, назначить режим резания по таблицам нормативов, определить основное время.

Решение:

Эскиз обработки



1. Выбор инструмента.

Согласно исходных данных операция выполняется в три перехода: сверление, зенкерование и развертывание.

Для сверления чугуна СЧ18 HB210 согласно [7] выбираем сверло $D=22$ мм из стали P18, заточенное по методу В.И. Жирова, $2\varphi = 118^\circ$; $2\varphi_0 = 70^\circ$; для зенкерования – цельный зенкер $D=24,9$ мм из стали P18; $\varphi = 45^\circ$; $\alpha_p = 10^\circ$; для развертывания – цельную развертку $D=25$ мм, $\varphi = 5^\circ$ из стали P18.

2. Выбор режима резания.

Расчет режимов резания выполним в традиционной последовательности с использованием данных работы [7].

Первый переход. Выбор подачи. Для сверления чугуна HB210 сверлом диаметром 22 мм выбираем подачу $S=0,65 \div 0,75$ мм/об. С учетом поправочного коэффициента на длину сверления $K_{l_s} = 0,9$ получаем расчетные величины подач

$$S = 0,59 \div 0,68 \text{ мм/об.}$$

По паспорту станка устанавливаем ближайшую подачу к расчетной $S=0,56$ мм/об. Выбор скорости и числа оборотов.

Исходя из диаметра сверла 22 мм и установленной подачи $S=0,56$ мм/об, методом двойной интерполяции определяем нормативные скорость резания и число оборотов (быстрее и удобнее вести расчет только по числу оборотов).

$$n_n = 396 \text{ об/мин.}$$

Учитывая поправочные коэффициенты на заточку сверла по методу В.И. Жирова (ЖДП) $K_{f_v} = 1,05$, на длину сверления ($l=5D$), $K_{l_v} = 0,75$ и на механические свойства серого чугуна HB210 $K_{M_v} = 0,88$, получаем расчетное число оборотов в минуту

$$n = n_n \cdot K_{f_v} \cdot K_{l_v} \cdot K_{M_v} = 396 \cdot 1,05 \cdot 0,75 \cdot 0,88 = 274 \text{ об/мин.}$$

Ближайшее число оборотов по паспорту станка $n=250$ об/мин. Тогда фактическая скорость резания будет равна

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 22 \cdot 250}{1000} = 17,3 \text{ м/мин.}$$

Проверка выбранного режима по осевому усилию и мощности.

Для установленных условий сверления $D=22$ мм, $S=0,56$ мм/об и $n=250$ об/мин методом двойной интерполяции получаем осевое усилие $P_n = 6010$ Н и крутящий момент $M_{кр} = 6572$ кг·мм.

С учетом поправочного коэффициента на обрабатываемый материал $K_{M_m} = K_{M_p} = 1,06$ и заточки по методу Жирова (ЖДП) $K_{f_p} = 0,66$ и $K_{f_m} = 1$ получим

$$P = P_n \cdot K_{M_p} \cdot K_{f_p} = 6010 \cdot 1,06 \cdot 0,66 = 4205 \text{ Н}$$

По паспорту станка наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, равно 15000 Н.

$$M = M_{кр_n} \cdot K_{M_m} \cdot K_{f_m} = 6572 \cdot 1,06 \cdot 1 = 6966 \text{ кг·мм.}$$

Пользуясь графиком определяем при $M_{кр} = 6966$ кг·мм и $n=250$ об/мин мощность, потребную на резание: $N_{рез} = 1,6$ кВт.

По паспорту станка мощность на шпинделе

$$N_\Sigma = N_\Delta \cdot \eta = 4,5 \cdot 0,8 = 3,6 \text{ кВт; } N_\Sigma = 3,6 > N_{рез} = 1,6 \text{ кВт.}$$

Следовательно, станок не лимитирует выбранного режима резания.

Второй переход. Выбор подачи.

Для зенкерования отверстия в сером чугуне HB210 зенкером диаметром 24,9 мм (25 мм) при последующей обработке отверстия одной разверткой рекомендуется подача $S=0,55 \div 0,6$ мм/об. Ближайшая подача по паспорту станка $S=0,56$ мм/об.

Выбор скорости резания и числа оборотов.

Исходя из диаметра зенкера $D=24,9$ (25) мм, для подачи $S=0,56$ мм/об путем интерполяции определяем число оборотов $n_n = 329$ об/мин.

С учетом поправочного коэффициента на обрабатываемый материал $K_{M_v}=0,88$ число оборотов будет равно $n=n_n \cdot K_{M_v}=329 \cdot 0,88=289$ об/мин. Ближайшее число оборотов по паспорту станка $n=250$ об/мин. Фактическая скорость резания

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 24,9 \cdot 250}{1000} = 19,6 \text{ м/мин.}$$

Третий переход. Выбор подачи.

Для развертывания отверстия в сером чугуна $HB>200$ механической разверткой $D=25$ мм с чистой поверхности отверстия $Ra=1,6$ мкм рекомендуется подача $S=1,9$ мм/об. Ближайшая подача по паспорту станка $S=1,6$ мм/об.

Выбор скорости резания и числа оборотов.

Для развертывания отверстия диаметром 25 мм с подачей 1,6 мм/об рекомендуется число оборотов $n_n=105$ об/мин. С учетом поправочного коэффициента на обрабатываемый материал серый чугун $HB>200$ $K_{M_n}=0,88$. Тогда

$$n=n_n \cdot K_{M_n}=105 \cdot 0,88=92 \text{ об/мин}$$

Ближайшее число оборотов по паспорту станка

$$n=90 \text{ об/мин.}$$

Фактическая скорость резания

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 25 \cdot 90}{1000} = 7 \text{ м/мин.}$$

Определение основного (технологического) времени.

Величина врезания и перебега инструментов l_1 при работе на проход для сверла с двойной заточкой равна 12 мм; для зенкера 5 мм и для развертки 30 мм.

При длине отверстия $l=125$ мм основное (технологическое) время каждого перехода равно

$$t_{01} = \frac{l + l_1}{S \cdot n} = \frac{125 + 12}{0,56 \cdot 250} = 0,98 \text{ мин}$$

$$t_{02} = \frac{l + l_1}{S \cdot n} = \frac{125 + 5}{0,56 \cdot 250} = 0,93 \text{ мин}$$

$$t_{02} = \frac{l + l_1}{S \cdot n} = \frac{125 + 30}{1,6 \cdot 90} = 1,0 \text{ мин}$$

Основное время операции

$$T_0=t_{01}+t_{02}+t_{03}=0,98+0,93+1,0=2,91 \text{ мин.}$$

Задание на практическое занятие №4.

Выполнить расчет режима резания по таблицам нормативов для обработки сквозного отверстия на вертикально-сверлильном станке 2Н135 по заданному варианту. Исходные данные в таблице 4.

Порядок выполнения работы аналогичен предыдущей.

Таблица 4

№	Материал заготовки и его характеристики	Диаметр отверстия D мм, параметр шероховатости, мкм	Длина отверстия l, мм
1	2	3	4
1	Сталь 12ХН2, $\sigma_B=800$ МПа	18Н7, $Ra=1,6$	50

2	Сталь 12ХН3А, $\sigma_B=950$ МПа	25Н5, Ra=0,4	60
3	Серый чугун СЧ30, НВ200	30Н5, Ra=0,4	80
4	Серый чугун СЧ20, НВ210	35Н7, Ra=1,6	90
5	Сталь 38ХА, $\sigma_B=680$ МПа	28Н7, Ra=1,6	55
6	Сталь 35, $\sigma_B=560$ МПа	38Н8, Ra=6,3	75
7	Серый чугун СЧ15, НВ170	45Н9, Ra=3,2	45
8	Серый чугун СЧ10, НВ160	17Н7, Ra=1,6	50
9	Сталь 40ХН, $\sigma_B=700$ МПа	45Н9, Ra=6,3	100
10	Сталь Ст3, $\sigma_B=600$ МПа	50Н9, Ra=6,3	60
11	Сталь 40Х, $\sigma_B=750$ МПа	22Н5, Ra=0,4	95
12	Сталь Ст5, $\sigma_B=600$ МПа	16Н5, Ra=0,4	30
13	Серый чугун СЧ20, НВ180	38Н9, Ra=6,3	85
14	Серый чугун СЧ20, НВ200	50Н9, Ra=3,2	50
15	Сталь 20Х, $\sigma_B=580$ МПа	20Н5, Ra=0,4	40
16	Сталь 50, $\sigma_B=750$ МПа	30Н7, Ra=1,6	60

Продолжение табл. 4

1	2	3	4
17	Бронза Бр АЖН 10-4, НВ170	28Н7, Ra=1,6	55
18	Латунь ЛМцЖ 52-4-1, НВ220	40Н9, Ra=3,2	80
19	Серый чугун СЧ30, НВ220	23Н5, Ra=0,4	45
20	Серый чугун СЧ20, НВ220	32Н7, Ra=1,6	35
21	Сталь 30ХН3А, $\sigma_B=800$ МПа	20Н7, Ra=1,6	60
22	Сталь 30ХМ, $\sigma_B=780$ МПа	55Н8, Ra=3,2	110
23	Сталь 45, $\sigma_B=650$ МПа	48Н9, Ra=6,3	96
24	Сталь 20, $\sigma_B=500$ МПа	50Н8, Ra=3,2	100
25	Силумин АЛ4, НВ50	35Н7, Ra=1,6	60
26	Чугун КЧ35, НВ163	42Н9, Ra=6,3	50
27	Сталь 38ХС, $\sigma_B=950$ МПа	22Н5, Ra=0,4	45
28	Сталь 50, $\sigma_B=900$ МПа	37Н9, Ra=6,3	70
29	Чугун ЖЧХ, НВ280	32Н7, Ra=1,6	65
30	Чугун ВЧ60, НВ250	27Н5, Ra=0,4	55

Практическое занятие №5

Расчет режима резания при фрезеровании

Цель работы: Изучить методику назначения режима резания по таблицам нормативов. Ознакомиться и приобрести навыки работы с нормативами.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Фрезерование – один из самых производительных методов обработки. Главное движение (движение резания) при фрезеровании – вращательное; его совершает фреза, движение подачи обычно прямолинейное, его совершает фреза. Фрезерованием можно получить деталь точно по 6-12 качеству шероховатостью до Ra=0,8 мкм. Фрезерование осуществляется при помощи многозубого инструмента – фрезы. Фрезы по виду различают: цилиндрические, торцевые, дисковые, прорезные и отрезные, концевые, фасонные; по конструкции – цельные, составные и сборные.

При торцевом фрезеровании (обработка торцевой фрезой) диаметр фрезы D должен быть больше ширины фрезерования B, т.е. $D=(1,25\div 1,5)B$.

Для обеспечения производительных режимов работы необходимо применять смещенную схему фрезерования (есть симметричная схема), для чего ось заготовки смещается относительно оси фрезы.

При цилиндрическом фрезеровании различают встречное фрезерование, – когда вектор скорости (направление вращения фрезы) направлен навстречу направлению подачи; и попутное фрезерование, когда вектор скорости и направление подачи направлены в одну сторону. Встречное фрезерование применяют для черновой обработки заготовок с литейной коркой, с большими припусками. Попутное фрезерование применяют для чистовой обработки нежестких, предварительно обработанных заготовок с незначительными припусками.

Глубина резания (фрезерования) t во всех видах фрезерования, за исключением торцевого фрезерования и фрезерования шпонок, представляет собой размер слоя заготовки срезаемой при фрезеровании, измеряемый перпендикулярно оси фрезы. При торцевом фрезеровании и фрезеровании шпонок шпоночными фрезами – измеряют в направлении параллельном оси фрезы.

При фрезеровании различают подачу на один зуб S_z подачу на один оборот фрезы S и минутную подачу S_m мм/мин, которые находятся в следующем соотношении:

$$S_m = S \cdot n = S_z \cdot z \cdot n$$

Где n – частота вращения фрезы, об/мин;
 z – число зубьев фрезы.

При черновом фрезеровании назначают подачу на зуб; при чистовом фрезеровании – подачу на один оборот фрезы.

Скорость резания – окружная скорость фрезы, определяется режущими свойствами инструмента. Ее можно рассчитать по эмпирической формуле [2], [3], или выбрать по таблицам нормативов [4], [7].

Пример решения задачи.

На вертикально-фрезерном станке 6P12 производится торцевое фрезерование плоской поверхности шириной $B=80$ мм, длиной $l=400$ мм, припуск на обработку $h=1,8$ мм. Обработываемый материал серый чугун СЧ30, HB220. Заготовка предварительно обработана. Обработка окончательная, параметр шероховатости обработанной поверхности $Ra=3,2$ мкм. Необходимо: выбрать режущий инструмент, назначить режим резания с использованием таблиц нормативов, определить основное (технологическое) время.

Решение

Эскиз обработки

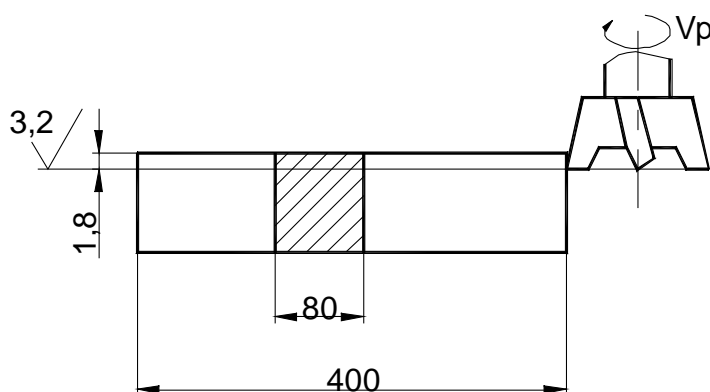


Рис. 3

1. Выбор инструмента.

Для фрезерования на вертикально-фрезерном станке заготовки из чугуна выбираем торцевую фрезу с пластинками из твердого сплава ВК6 [2] или [3], диаметром $D=(1,25\div 1,5)\cdot B=(1,25\div 1,5)\cdot 80=100\div 120$ мм. Принимаем $D=100$ мм; $z=10$, ГОСТ 9473-71 [2] или [3].

Геометрические параметры фрезы: $\varphi=60^\circ$, $\alpha=12^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\lambda=20^\circ$, $\varphi_1=5^\circ$.

Схема установки фрезы – смещенная.

2. Режим резания.

2.1 Глубина резания.

Заданный припуск на чистовую обработку срезают за один проход, тогда

$$t=h=1,8 \text{ мм}$$

2.2 Назначение подачи.

Для получения шероховатости $Ra=6,3$ мкм подача на оборот $S_0=1,0\div 0,7$ мм/об [4].

Тогда подача на зуб фрезы

$$S_z = \frac{S_0}{z} = \frac{1,0}{10} = 1,0 \text{ мм/зуб.}$$

2.3 Период стойкости фрезы.

Для фрез торцевых диаметром до 110 мм с пластинками из твердого сплава применяют период стойкости

$$T=180 \text{ мин [4],}$$

2.4 Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента.

Для обработки серого чугуна фрезой диаметром до 110 мм, глубина резания t до 3,5 мм, подаче до 0,1 мм/зуб.

$$V=203 \text{ м/мин [4],}$$

С учетом поправочных коэффициентов $K_{mv}=1$; $K_{nv}=1$; при $\frac{B}{D} = \frac{80}{100} = 0,8$; $K_{BV}=1$;

$K_{\varphi v}=1$ [4],

$$V=V\cdot K_{mv}\cdot K_{nv}\cdot K_{BV}\cdot K_{\varphi v}=203\cdot 1=203 \text{ м/мин.}$$

Частота вращения шпинделя, соответствующая найденной скорости резания

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 203}{3,14 \cdot 100} = 643 \text{ об/мин.}$$

Корректируем по паспорту станка

$$n=630 \text{ об/мин.}$$

Действительная скорость резания

$$V_p = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 630}{1000} = 197,8 \text{ м/мин.}$$

2.5 Минутная подача $S_m=S_z\cdot z\cdot n=0,1\cdot 10\cdot 630=630$ мм/мин. Это совпадает с паспортными данными станка.

3. Мощность, затрачиваемая на резание.

При фрезеровании чугуна с твердостью до НВ229, ширине фрезерования до 85 мм, глубине резания до 1,8 мм, подаче на зуб до 0,13 мм/зуб, минутной подаче до 660 мм/мин

$$N_p=3,8 \text{ кВт [4],}$$

3.1 Проверка достаточности мощности станка

Мощность на шпинделе станка $N_{шп}=N_d\cdot \eta$

$N_d=7,5$ кВт; $\eta=0,8$ (по паспорту станка)

$N_{шп}=7,5\cdot 0,8=6$ кВт.

Так как $N_{шп}=6$ кВт $> N_p=3,8$ кВт, то обработка возможна.

4. Основное время

$$T_0 = \frac{L}{S_m}, \text{ мкм}$$

где $L=l+l_1$.

Для торцового фрезерования фрезой диаметром 100 мм, ширине фрезерования 80 мм
 $l_1=23$ мм [4],

$$T_0 = \frac{400 + 23}{630} = 0,67 \text{ мин.}$$

Задание на практическое занятие №5

Выполнить расчет режима резания по таблицам нормативов по заданному варианту.

Исходные данные приведены в таблице 5.

Порядок работы аналогичен предыдущим.

Таблица 5

№	Вид заготовки и ее характеристика	B, мм	l, мм	h, мм	Вид обработки и параметр шероховатости, мкм	Модель станка
1	2	3	4	5	6	7
1	Серый чугун СЧ30, HB200	100	600	5	Торцовое фрезерование, Ra=12,5	6P12
2	Серый чугун СЧ20, HB210	150	500	4	Торцовое фрезерование, Ra=1,6	6P12
3	Сталь 38ХА, $\sigma_B=680$ Мпа	80	400	6	Торцовое фрезерование, Ra=12,5	6P12
4	Сталь 35, $\sigma_B=360$ Мпа	90	480	3,5	Торцовое фрезерование, Ra=1,6	6P12
5	Серый чугун СЧ15, HB170	50	300	3,5	Цилиндрическое фрезерование, Ra=3,2	6P82Г
6	Серый чугун СЧ10, HB160	80	250	1,5	Цилиндрическое фрезерование, Ra=3,2	6P82Г
7	Сталь 40ХН, $\sigma_B=700$ Мпа	70	320	4	Цилиндрическое фрезерование, Ra=12,5	6P82Г
8	Сталь Ст3, $\sigma_B=600$ Мпа	85	600	1,5	Цилиндрическое фрезерование, Ra=3,2	6P82Г
9	Сталь 40Х, $\sigma_B=750$ Мпа	10	100	5	Фрезеровать паз, Ra=6,3	6P12
10	Сталь Ст5, $\sigma_B=600$ Мпа	12	80	8	Фрезеровать паз, Ra=6,3	6P12
11	Серый чугун СЧ20, HB180	20	120	10	Фрезеровать паз, Ra=6,3	6P12
12	Серый чугун СЧ20, HB200	15	75	8	Фрезеровать паз, Ra=6,3	6P82Г
13	Сталь 20Х, $\sigma_B=580$ Мпа	8	110	8	Фрезеровать паз, Ra=6,3	6P82Г
14	Сталь 50, $\sigma_B=750$ Мпа	12	120	6	Фрезеровать паз, Ra=6,3	6P82Г
15	Бронза Бр АЖН 10-4 HB170	100	300	4	Торцовое фрезерование, Ra=12,5	6P12
16	Латунь ЛМцЖ 52-4-1, HB220	60	180	1,5	Торцовое фрезерование, Ra=1,6	6P12
17	Серый чугун СЧ30, HB220	180	200	4,5	Торцовое фрезерование, Ra=12,5	6P12
18	Серый чугун СЧ20, HB220	110	280	2,5	Торцовое фрезерование, Ra=3,2	6P12
19	Сталь 30ХН3А, $\sigma_B=800$ Мпа	80	320	5	Цилиндрическое фрезерование, Ra=12,5	6P82Г

20	Сталь 30ХН, $\sigma_B=780$ МПа	115	300	3	Цилиндрическое фрезерование, Ra=3,2	6P82Г
21	Сталь 45, $\sigma_B=650$ МПа	40	280	1,8	Цилиндрическое фрезерование, Ra=1,6	6P82Г
22	Сталь 20, $\sigma_B=500$ МПа	35	400	3,5	Цилиндрическое фрезерование, Ra=6,3	6P82Г

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5	6	7
23	Силумин АЛ4, НВ50	55	250	4	Торцовое фрезерование, Ra=6,3	6P12
24	Сталь 30ХМ, $\sigma_B=950$ МПа	70	310	4,5	Торцовое фрезерование, Ra=12,5	6P12
25	Сталь 18ХГТ, $\sigma_B=700$ МПа	85	350	2,5	Торцовое фрезерование, Ra=3,2	6P12
26	Чугун ВЧ60, НВ250	120	300	5	Торцовое фрезерование, Ra=12,5	6P12
27	Сталь 50, $\sigma_B=900$ МПа	60	250	6	Торцовое фрезерование, Ra=6,3	6P12
28	Чугун КЧ60, НВ169	200	450	5,5	Торцовое фрезерование, Ra=3,2	6P12
29	Сталь 18ХГТ, $\sigma_B=700$ МПа	85	300	4,5	Цилиндрическое фрезерование, Ra=12,5	6P82Г
30	Чугун ВЧ38, НВ170	65	200	3	Цилиндрическое фрезерование, Ra=3,2	6P82Г

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

Расчет режима резания при нарезании зубьев зубчатых колес

Цель работы: изучить методику расчета режима резания при зубонарезании по таблицам нормативов. Приобрести навыки работы по нормативам.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Профиль зубьев зубчатого колеса образуется путем удаления материала впадины следующими способами обработки: фрезерованием, строганием, долблением, протягиванием, шевингованием и шлифованием.

Различают два метода нарезания зубьев:

копирования – когда форма режущей кромки инструмента соответствует форме впадины зубчатого колеса (дисковые, пальцевые модульные фрезы, зубодолбежные головки);

обкатки – поверхность зуба получается в результате обработки инструментом, режущие кромки которого представляют собой профиль сопряженной рейки или профиль зуба сопряженного колеса и во время обработки инструмент с заготовкой образуют сопряженную зубчатую пару (червячные фрезы, долбяки, шеверы и др.).

Метод обкатки имеет следующие преимущества по сравнению с методом копирования:

одним и тем же инструментом данного модуля можно нарезать зубчатые колеса с любым числом зубьев;

обеспечивается более высокая точность и низкая шероховатость поверхности зубьев нарезаемого колеса;

достигается более высокая производительность обработки благодаря непрерывности процесса и участию в работе одновременно большего количества лезвий.

Дисковая и пальцевая модульные фрезы представляют собой фасонные фрезы, профиль зуба которых повторяет профиль впадины нарезаемого колеса. Обработка производится по методу копирования. Пальцевые модульные фрезы применяют для получения шевронных и зубчатых колес большего модуля. Главным движением (движением резания) является вращение фрезы вокруг своей оси. Движением подачи является движение фрезы вдоль оси заготовки.

При обработке червячной фрезой (метод обкатывания) движение резания – вращение фрезы, движение подачи – поступательное движение фрезы вдоль оси заготовки. Зуборезный долбяк выполнен в виде зубчатого цилиндрического колеса и снабжен режущими кромками. Главное движение (движение резания) при зубодолблении – возвратно-поступательное движение долбяка, движений подачи два: движение обкатывания по делительным окружностям долбяка и нарезаемого колеса и радиальное перемещение. Зубодолбление применяют для нарезания наружных и внутренних зубьев прямых и косозубых колес.

Глубина резания при черновом нарезании зубьев ($Ra=12,5$ мкм), как правило, принимается равной глубине впадины $t=h=2,2 \cdot m$, где m – модуль нарезаемого колеса, мм.

Обычно черновые червячные фрезы профилируются такими, чтобы ими можно было нарезать зубья на полную глубину, но оставляя припуск на окончательную обработку лишь боковым сторонам зуба. Если мощности и жесткости станка недостаточно, припуск на черновую обработку срезают за два прохода: первый проход $h=1,4m$, второй проход, $h=0,7m$.

Чистовую обработку в два прохода применяют только при зубодолблении цилиндрических колес дисковыми долбяками с модулем 6 мм и выше при шероховатости выше $Ra=1,6$ мкм.

Подачи выбирают с учетом качества и точности нарезаемого колеса, мощности станка, модуля и числа зубьев нарезаемого колеса [5].

Скорость резания устанавливают в зависимости от режущих свойств инструмента. Размеров нарезаемого зуба. Глубины резания, подачи и других факторов по таблицам нормативов [5], или по эмпирической формуле [3].

Основное время при зубофрезеровании червячной фрезой

$$T_0 = \frac{L \cdot z}{n \cdot S_0 \cdot K}, \text{ мин}$$

где z - число зубьев нарезаемого колеса;

n - частота вращения фрезы, об/мин;

S_0 – подача фрезы за оборот заготовки, мм/об;

K - число заходов фрезы.

При чистовой обработке применяют однозаходную фрезу, при черновой – многозаходную.

L – величина хода фрезы

$$L=b+l_1,$$

Где b – ширина венца нарезаемого колеса, мм;

l_1 – величина врезания и перебега, мм

Основное время при зубодолблении

$$T_0 = \frac{\pi \cdot m \cdot z}{K_d \cdot S} \cdot i + \frac{h}{K_d \cdot S_p}, \text{ мин},$$

где m – модуль нарезаемого колеса, мм;

z – число зубьев нарезаемого колеса;

K_d – число двойных ходов в минуту долбяка, дв.ход/мин;

S – круговая подача, мм/дв.ход;
 S_p – радиальная подача, мм/дв.ход;
 i – число проходов;
 h – припуск на обработку, мм.

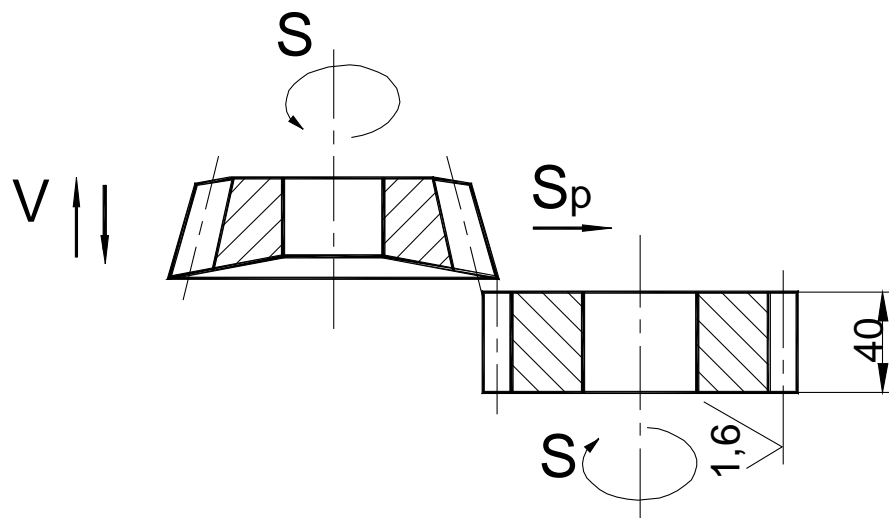
Пример решения задачи

На зубодолбежном станке 5122 нарезают долбяком прямозубое зубчатое колесо модуля $m=3$ мм с числом зубьев $z=40$, шириной венца $b=40$ мм. Обработка чистовая ($Ra=1,6$ мкм) по сплошному металлу. Материал заготовки – сталь 40Х, твердость НВ190.

Необходимо: выбрать режущий инструмент, назначить режим резания (по таблицам нормативов), определить основное время.

Решение

Эскиз обработки



1. Выбор инструмента

Для зубодолбления цилиндрического колеса принимаем дисковый прямозубый долбяк модуля 3 тип 1 ГОСТ 9323-79 [2] или [3] из быстрорежущей стали Р6М5 [2] или [3].

Угол заточки по передней поверхности зубьев $\gamma_3=5^\circ$ [2], [3], [5].

2. Режим резания.

2.1 Круговая подача для станка модели 5122 с мощностью двигателя 3 кВт, т.е. III классификационной группы [5], для чистовой обработки по сплошному металлу, обработки стали с твердостью до НВ207, при модуле нарезаемого колеса до $m=3$ мм, $S=0,25 \div 0,3$ мм/дв.ход [5].

С учетом поправочных коэффициентов $K_{m_s}=1$ и паспортных данных станка принимаем $S=0,25$ мм/ дв.ход.

2.2 Радиальная подача.

$$S_p=(0,1 \div 0,3) \cdot S [5],$$

$$S_p=(0,1 \div 0,3) \cdot 0,25=0,025 \div 0,075 \text{ мм/дв.ход.}$$

С учетом паспортных данных станка принимаем

$$S_p=0,036 \text{ мм/дв.ход.}$$

2.3 Период стойкости долбяка для чистовой обработки $T=240$ мин. [3].

2.4 Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента. Для чистовой обработки по сплошному металлу, круговой подаче $S=0,25$ мм/дв.ход и модуле до 4 мм

$$V=20,5 \text{ м/мин.}$$

С учетом поправочных коэффициентов $K_{m_v}=1$; $K_{\beta_v}=1$

Число двойных ходов долбяка в минуту, соответствующее найденной скорости резания,

$$V_p = V \cdot K_{m_v} \cdot K_{\beta_v} = 20,5 \text{ м/мин.}$$

$$K = \frac{1000 \cdot V_p}{2 \cdot L},$$

где L – величина хода долбяка, мм

$$L = b + l_1 = 40 + 8 = 48 \text{ мм,}$$

Где l_1 – перебег долбяка на две стороны.

При ширине венца до 51 мм

$l_1 = 8$ мм [5],

$$K = \frac{1000 \cdot 20,5}{2 \cdot (40 + 8)} = 213,9 \text{ мм/дв.ход}$$

В соответствии с паспортными данными принимаем

$$K_{\delta} = 200 \text{ мм/дв.ход.}$$

Действительная скорость резания

$$V_{\delta} = \frac{2 \cdot L \cdot K_{\delta}}{1000} = \frac{2 \cdot 48 \cdot 200}{1000} = 19,2 \text{ м/мин.}$$

3. Проверка достаточности мощности станка

3.1 Мощность, затрачиваемая на резание

При чистовой обработке по сплошному металлу для данных условий обработки

$$N = 1,1 \text{ кВт [5],}$$

С учетом поправочных коэффициентов $K_{M_N} = 1$; $K_{\beta_N} = 1$; $K_{Z_N} = 1,1$

$$N_p = N \cdot K_{M_N} \cdot K_{\beta_N} \cdot K_{Z_N} = 1,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 1,21 \text{ кВт.}$$

3.2 Мощность на шпинделе станка

$$N_{ш} = N_{\delta} \cdot \eta \text{ кВт,}$$

где $N_{\delta} = 3$ кВт; $\eta = 0,65$ – паспортные данные станка

$$N_{ш} = 3 \cdot 0,65 = 1,95 \text{ кВт.}$$

Так как $N_{ш} = 1,95 \text{ кВт} > N_p = 1,21 \text{ кВт}$, то обработка возможна.

4. Основное время

$$T_0 = \frac{\pi \cdot m \cdot z}{K_{\delta} \cdot S} \cdot i + \frac{h}{K_{\delta} \cdot S_p}, \text{ мин}$$

где i – число проходов

$$T_0 = \frac{3,14 \cdot 3 \cdot 40}{200 \cdot 0,25} \cdot 1 + \frac{2,2 \cdot 3}{200 \cdot 0,036} = 8,46 \text{ мин}$$

Задание на практическое занятие №6

Выполнить расчет режима резания по таблицам нормативов по заданному варианту.

Исходные данные приведены в таблице 6.

Порядок выполнения работы аналогичен предыдущим.

Таблица 6

№	Материал заготовки и его свойства	Вид обработки и шероховатость поверхности, мкм	Мо- дуль, мм	Числ о зубье в, z	Шир ина венца, b	Угол наклона зуба, β°	Число одно- временн ообработ- ваемых зубьев, δ	Мо- дель станка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Сталь 12ХНЗА, HB210	Окончательная (по сплошному металлу) Ra=3,2	3	20	30	0	6	53A50
2	Сталь 30ХГТ, HB200	Окончательная (по предварительно прорезанному зубу)* Ra=1,6	8	25	40	0	1	5122
3	Серый чугун СЧ25, HB210	Предварительное (под последующее зубодолбление)	6	30	32	15	5	53A50
4	Серый чугун СЧ20, HB200	Предварительное (под последующее шевингование)	3	60	50	0	1	5122
5	Сталь 45, HB190	Окончательная (по сплошному металлу) Ra=1,6	2,5	80	60	0	3	5122
6	Сталь 40Х, HB200	Предварительное (под шевингование)	7	28	55	0	1	5122
7	Сталь 35Х, HB185	Окончательная (по сплошному металлу) Ra=1,6	2	54	20	30	10	53A50
8	Сталь 12Х18Н9Т, HB180	Предварительное (под шевингование)	4	45	32	0	1	5122
9	Бронза Бр АЖН 10-4, HB170	Предварительное (под последующее зубодолбление)	2,5	65	35	15	6	53A50
10	Латунь ЛМцЖ 52-4-1, HB220	Окончательная (по сплошному металлу) Ra=1,6	1,5	84	25	0	1	5122
11	Сталь 14Х17Н2, HB220	Окончательная (по предварительно прорезанному зубу)* Ra=1,6	5	32	50	0	1	5122
12	Сталь 20Х, HB170	Предварительное (под шевингование)	5,5	24	24	0	1	5122

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	Серый чугун СЧ10, HB170	Предварительное (под последующее зубодолбление)	8	46	25	15	8	53A50
14	Серый чугун СЧ15, HB190	Окончательная (по предварительно прорезанному зубу)* Ra=1,6	6	30	38	0	1	5122
15	Сталь 38ХА, HB190	Окончательная (по сплошному металлу) Ra=1,6	1,5	55	24	0	1	5122
16	Сталь 35, HB180	Предварительное (под шевингование)	4	42	40	0	1	5122
17	Сталь 20, HB200	Окончательная (по сплошному металлу) Ra=1,6	1,5	120	60	0	3	53A50
18	Серый чугун СЧ30, HB220	Предварительное (под последующее зубодолбление)	5	66	18	15	10	53A50
19	Сталь 20Х, HB165	Окончательная (по предварительно прорезанному зубу)* Ra=1,6	8	22	30	0	1	5122
20	Сталь 45, HB210	Окончательная (по сплошному металлу) Ra=3,2	2	85	50	0	1	5122
21	Сталь 35Х, HB185	Предварительное (под шевингование)	3	65	42	0	1	5122
22	Сталь 45ХН, HB220	Окончательная (по предварительно прорезанному зубу)* Ra=1,6	6	24	28	0	1	5122
23	Серый чугун СЧ30, HB220	Предварительное (под последующее зубодолбление)	8	50	45	30	4	53A50
24	Серый чугун СЧ10, HB160	Окончательная (по сплошному металлу) Ra=1,6	2,5	70	65	15	3	53A50
25	Сталь 45, HB215	Окончательная (по сплошному металлу) Ra=1,6	2	80	30	0	6	53A50

26	Серый чугун СЧ20, НВ240	Окончательная (по сплошному металлу) Ra=1,6	3	22	45	0	6	53A50
* В вариантах окончательной обработки по предварительно прорезанному зубу принять припуск на зубодолбление по межцентровому расстоянию $h=1\div 1,4$ мм.								

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7

Расчет режима резания при шлифовании

Цель работы: изучить методику расчета режима резания при шлифовании аналитическим способом. Приобрести навыки работы со справочной литературой.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Шлифование – процесс резания материалов с помощью абразивного инструмента, режущими элементами которого являются абразивные зерна. Движение резания при шлифовании – вращение шлифовального круга, движение подачи – возвратно-поступательное движение стола станка с заготовкой и (или) поступательное движение шлифовальной бабки со шлифовальным кругом.

Различают круглое наружное шлифование, внутреннее круглое шлифование, плоское шлифование, бесцентровое шлифование. Круглое наружное шлифование применяется для обработки цилиндрических наружных поверхностей и осуществляется двумя способами: с продольной подачей (метод врезания) – применяется если длина шлифуемой поверхности меньше ширины круга.

Разработку режимов резания при шлифовании начинают с выбора характеристики шлифовального круга.

Для этого устанавливают:

- тип (форму) шлифовального круга [2] или [3],
- материал абразивного зерна [2] или [3], [6],
- зернистость [2],
- индекс зернистости [2],
- твердость [2], [6],
- структура [2], [6],
- класс круга [2].

(Если выбор характеристики шлифовального круга производится по [3], то ее следует перевести в новое обозначение).

Выбор характеристики шлифовального круга можно провести по приложению 1 к данной инструкции.

После выбора элементов характеристики следует записать полную характеристику, которая содержит такие параметры: форму (тип), марку зерна, зернистость, индекс зернистости, твердость круга, структуру, тип связки, класс круга, допустимую окружную скорость.

Основными элементами режима резания при шлифовании являются: окружная скорость в м/с (указывается в конце характеристики круга и является максимальной допускаемой прочностью круга);

скорость вращательного или поступательного движения детали в м/мин;

глубина шлифования t мм – слой металла, снимаемый шлифовальным кругом за один или двойной ход при круглом или плоском шлифовании или же равная всему припуску на сторону при врезном шлифовании;

продольная подача S – перемещение шлифовального круга вдоль своей оси в мм на оборот заготовки при круглом шлифовании или в мм на каждый ход стола при плоском шлифовании периферией круга;

радиальная подача S_p – перемещение шлифовального круга в радиальном направлении в мм на один оборот детали при врезном шлифовании.

Эффективная мощность (мощность необходимая для резания) рассчитывается по эмпирической формуле [2], [3] или определяется по таблицам нормативов.

Основное время при круглом шлифовании с продольной подачей

$$T_o = \frac{L \cdot h}{1000 \cdot V_c \cdot t} \cdot K, \text{ мин} \quad (7.1)$$

где h – припуск на сторону, мм;

V_c – скорость продольного хода стола, м/мин;

t – глубина шлифования, мм;

K – коэффициент выхаживания;

$K=1,4$ – при чистовом шлифовании;

$K=1,1$ – при предварительном шлифовании;

L – величина хода стола, мм

$$L=1-(1-K \cdot m) \cdot B_k, \text{ мм} \quad (7.2)$$

где l – длина шлифуемой поверхности;

K – число сторон перебега круга ($K=2$ – при сбега круга в обе стороны, $K=1$ – при сбега круга в одну сторону, $K=0$ – без сбега);

m – перебег в долях ширины круга;

B_k – ширина шлифовального круга, мм.

При круглом наружном шлифовании методом врезания

$$T_0 = \frac{h}{n_3 \cdot S_p} \cdot K, \text{ мин},$$

где n_3 – частота вращения заготовки, об/мин;

S_p – радиальная подача, мм/об.

При круглом шлифовании

$$T = \frac{L \cdot h}{n_3 \cdot S \cdot t} \cdot K, \text{ мин}$$

где S – продольная подача, мм/об.

При круглом внутреннем шлифовании перебег круга в обе стороны равен $0,5 \cdot B$, тогда

$$L=1-(1-2 \cdot 0,5) \cdot B, \text{ т.е.}$$

$$L=1$$

Плоское шлифование

$$T_0 = \frac{H \cdot L \cdot h}{1000 \cdot V_c \cdot S \cdot t \cdot g} \cdot K, \text{ мин}$$

где H – перемещение шлифовального круга в направлении поперечной подачи, мм;
 L – величина хода стола, мм;
 h – припуск на сторону;
 V_c – скорость движения стола, м/мин;
 g – число одновременно шлифуемых заготовок.

$$H = B_3 + B_k + 5, \text{ мм}$$

где B_3 – суммарная ширина заготовок, установленных на столе, мм.
 B_k – величина шлифовального круга, мм.

$$L = l + (10 \div 15), \text{ мм}$$

где l – суммарная длина заготовок, установленных на столе, мм.

Пример решения задачи

На круглошлифовальном станке 3М131 шлифуется шейка вала диаметром $D=80h6$ мм длиной $l=300$ мм, длина вала $l_1=550$ мм. Параметр шероховатости обработанной поверхности $Ra=0,4$ мкм. Припуск на сторону $0,2$ мм. Материал заготовки – сталь 45 закаленная, твердостью HRC45.

Необходимо: выбрать шлифовальный круг, назначить режим резания; определить основное время.

Решение

Эскиз обработки

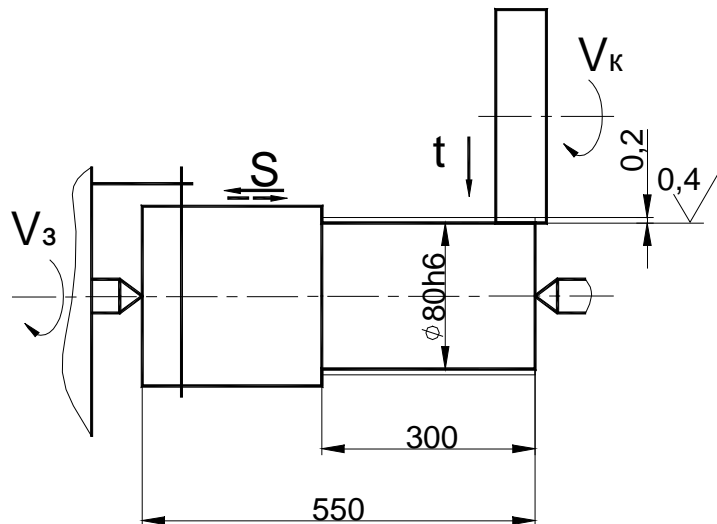


Рис.5

1. Выбор шлифовального круга.

Для круглого наружного шлифования с продольной подачей (шлифовать с радиальной подачей нельзя из-за большой длины шлифуемой поверхности), параметра шероховатости $Ra=0,4$ мкм, конструкционной закаленной стали до HRC45 принимаем шлифовальный круг формы ПП, [2],

характеристика – 24 А401К, [6],

индекс зернистости – Н, [2],

структура – 5, [6],

класс – А, [2],

Полная маркировка круга ПП24 А40НС15КА 35 м/с.

Размеры шлифовального круга $D_k=600$ мм; $B_k=63$ мм (по паспорту станка).

2. Режим резания

2.1 Скорость шлифовального круга $V_k=35$ м/с [2].

Частота вращения шпинделя шлифовальной бабки

$$n_{ш} = \frac{1000 \cdot V_k \cdot 60}{\pi \cdot D_k}, \text{ об/мин}$$

$$n_{ш} = \frac{1000 \cdot 35 \cdot 60}{3,14 \cdot 600} = 1114,6 \text{ об/мин}$$

Корректируя по паспортным данным станка, принимаем

$$n_{ш}=1112 \text{ об/мин.}$$

(корректируется только в меньшую сторону).

Режимы резания для окончательного круглого наружного шлифования конструкционных сталей с подачей на каждый ход определяют по [2] или [3].

2.2 Окружная скорость заготовки $V_3=15\div 55$ м/мин; принимаем $V_3=30$ м/мин.

Частота вращения шпинделя передней бабки, соответствующая принятой окружной скорости заготовки,

$$n_3 = \frac{1000 \cdot V_3}{\pi \cdot D_3}, \text{ об/мин}$$

$$n_3 = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 80} = 119,4 \text{ об/мин.}$$

Так как частота вращения заготовки регулируется бесступенчато, принимаем $n_3=120$ об/мин.

2.3 Глубина шлифования

$$t=0,005\div 0,015 \text{ мм.}$$

Принимаем, учитывая бесступенчатое регулирование поперечной подачи шлифовального круга на ход стола,

$$t=0,005 \text{ мм.}$$

2.4 Продольная подача

$$S=(0,2\div 0,4) \cdot B_k, \text{ мм/об.}$$

Принимаем $S=0,25 \cdot B_k=0,25 \cdot 63=15,75$ мм/об.

2.5 Скорость продольного хода стола

$$V_c = \frac{S \cdot n_3}{1000} = \frac{15,75 \cdot 120}{1000} = 1,89 \text{ м/мин.}$$

С учетом паспортных данных (бесступенчатое регулирование скорости продольного хода стола) принимаем

$$V_c = 1,9 \text{ м/мин.}$$

3. Проверка достаточности мощности станка

3.1 Мощность затрачиваемая на резание

$$N_p = C_N \cdot V_c^z \cdot t^x \cdot S^y \cdot d^q, \text{ кВт [2], [3],}$$

где C_N – коэффициент, учитывающий условия шлифования;
 x, y, z, q – показатели степени;
 V, t, S – элементы режима резания;
 d – диаметр шлифования, мм.

Для круглого наружного шлифования закаленной стали с подачей на каждый ход шлифовальным кругом зернистостью 40, твердостью СМ1

$$C_N = 2,65; z = 0,5; x = 0,5; y = 0,55; q = 0,$$

$$\text{тогда } N_p = 2,65 \cdot 30^{0,5} \cdot 0,005^{0,5} \cdot 15,75^{0,55} \cdot 1 = 2,65 \cdot 5,48 \cdot 0,07 \cdot 4,55 = 4,63 \text{ кВт.}$$

3.2 Мощность на шпинделе станка

$$N_{\text{шп}} = N_p \cdot \eta, \text{ кВт}$$

где $N_p = 7,5$ кВт; $\eta = 0,8$ – паспортные данные станка (см. приложение 2 к данным методическим указаниям).

$$N_{\text{шп}} = 7,5 \cdot 0,8 = 6 \text{ кВт.}$$

Так как $N_{\text{шп}} = 6 \text{ кВт} > N_p = 4,63 \text{ кВт}$, то обработка возможна.

4. Основное время

$$T_0 = \frac{L \cdot h}{1000 \cdot V_c \cdot t} \cdot K, \text{ мин}$$

$$L = l - (1 - K \cdot m) \cdot B_k, \text{ мм}$$

где m – доля перебега круга, принимаем $m = 0,5$ (т.е. половина круга); $K = 1$ – число сторон перебега круга (см. эскиз обработки),

тогда

$$L = l - (1 - 1 \cdot 0,5) \cdot B_k = l - 0,5 \cdot B_k = 300 - 0,5 \cdot 63 = 268,5 \text{ мм}$$

$K = 1,4$ – коэффициент выхаживания

$$T_0 = \frac{268,5 \cdot 0,2}{1000 \cdot 1,9 \cdot 0,005} \cdot 1,4 = 7,92 \text{ мин.}$$

Задание на практическое занятие №7

Выполнить расчет режима резания аналитическим способом по заданному варианту.

Исходные данные приведены в таблице 7.

Порядок выполнения работы аналогичен предыдущим.

Таблица 7

№	Материал заготовки и его свойства	Вид обработки и параметр шероховатости поверхности, мкм	Размер шлифуемой поверхности, мм	Припуск на сторону, мм	Кол-во одновременно выполняемыхдет	Модель станка

					алей	
1	2	3	4	5	6	7
1	Сталь 45XH закаленная, HRC45	Окончательная, Ra=0,8	D=60h8 l=240	0,22	1	3M131
2	Сталь 40X незакаленная	Окончательная, Ra=0,4	D=55h7 l=40	0,15	1	3M131
3	Серый чугун СЧ30, HB220	Предварительная, Ra=1,6	D=120H8 l=140	0,25	1	3K228 B

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5	6	7
4	Серый чугун СЧ15, HB190	Окончательная, Ra=0,8	D=80H7 l=60	0,2	1	3K228 B
5	Сталь 12X18H9T незакаленная	Предварительная, Ra=1,6	B=250 l=300	0,4	2	3П722
6	Сталь 40X закаленная, HRC52	Окончательная, Ra=0,4	D=55H7 l=50	0,18	1	3K228 B
7	Сталь 47A закаленная, HRC60	Окончательная, Ra=0,8	B=200 l=300	0,25	6	3П722
8	Серый чугун СЧ20, HB200	Предварительная, Ra=1,6	B=280 l=650	0,5	1	3П722
9	Бронза Бр АЖН 10-4 HB170	Окончательная, Ra=0,8	D=45h7 l=120	0,2	1	3M131
10	Сталь 40 закаленная, HRC35	Окончательная, Ra=0,4	D=84h7 l=300	0,1	1	3M131
11	Сталь Ст5 незакаленная	Предварительная, Ra=1,6	D=120h8 l=48	0,25	1	3M131
12	Сталь 45X закаленная, HRC45	Окончательная, Ra=0,8	D=85H7 l=60	0,18	1	3П722
13	Сталь 40XНМА закаленная, HRC55	Окончательная, Ra=0,8	B=120 l=270	0,2	6	3П722
14	Латунь ЛМцЖ 52-4-1	Предварительная, Ra=1,6	D=120H8 l=80	0,25	1	3K228 B
15	Сталь 48A закаленная, HRC60	Окончательная, Ra=0,4	D=80H7 l=70	0,15	1	3K228 B
16	Сталь 35 незакаленная	Предварительная, Ra=1,6	D=75h8 l=55	0,3	1	3M131
17	Сталь 45 закаленная, HRC40	Окончательная, Ra=0,8	D=38h7 l=100	0,15	1	3M131
18	Серый чугун СЧ10, HB180	Предварительная, Ra=1,6	D=65h7 l=90	0,2	1	3M131
19	Серый чугун СЧ30, HB220	Окончательная, Ra=0,8	B=45 l=250	0,25	10	3П722
20	Сталь 40 незакаленная	Предварительная,	D=58H8	0,3	1	3K228

		Ra=1,6	l=60			B
21	Сталь 40X закаленная, HRC50	Окончательная, Ra=0,4	D=65H7 l=70	0,25	1	3K228 B
22	Сталь Ст3 незакаленная	Предварительная, Ra=1,6	B=55 l=150	0,45	20	3П722
23	Сталь 45X закаленная, HRC52	Предварительная, Ra=1,6	B=80 l=250	0,35	8	3П722
24	Серый чугун СЧ20, HB200	Предварительная, Ra=1,6	D=110h8 l=280	0,2	1	3M131
25	Сталь 30ХГТС закаленная, HRC55	Окончательная, Ra=0,4	D=65h7 l=50	0,25	1	3M131
26	Сталь 40X закаленная, HRC40	Окончательная, Ra=0,8	D=65h7 l=200	0,3	1	3M131

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа № 1 ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА РЕЗЦА НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТОЧЕНИИ

1 Цель работы. Определение влияния размерного износа резца на изменение диаметра детали при точении.

2 Сведения из теории.

В теории резания уделяется большое внимание износу режущего инструмента, критическая величина которого определяет период его экономической стойкости.

В настоящей работе износ режущего инструмента рассматривается с точки зрения влияния его величины на точность размеров обработанной детали. Этот износ в технологии машиностроения назван размерным износом режущего инструмента u и измеряется на вершине инструмента в направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности (рис. 1).

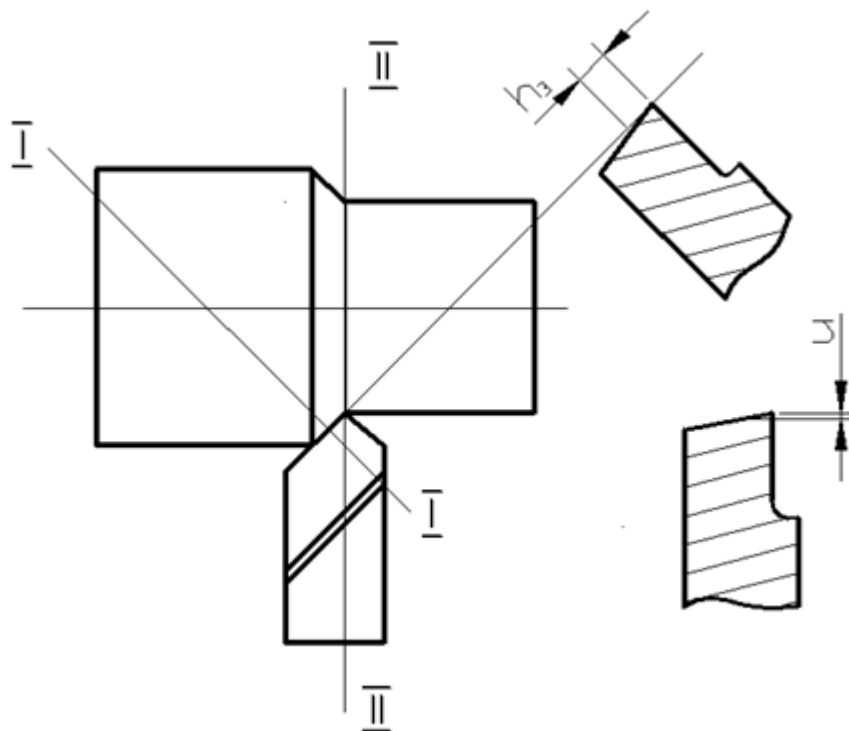


Рис. 1. Размерный износ режущего инструмента:
 h_z – размер, характеризующий величину износа
 задней поверхности резца

Размерный износ инструмента в процессе резания протекает неравномерно (рис. 2). В начальный период резания (участок $L_{нач}$) имеет место повышенный износ $u_{нач}$. Продолжительность этого периода зависит от качества заточки и доводки инструмента.

Далее наступает значительно более длительный период – период нормального износа $u_{норм}$, характеризуемый линейной зависимостью $u_{норм}$ от пути резания $L_{норм}$.

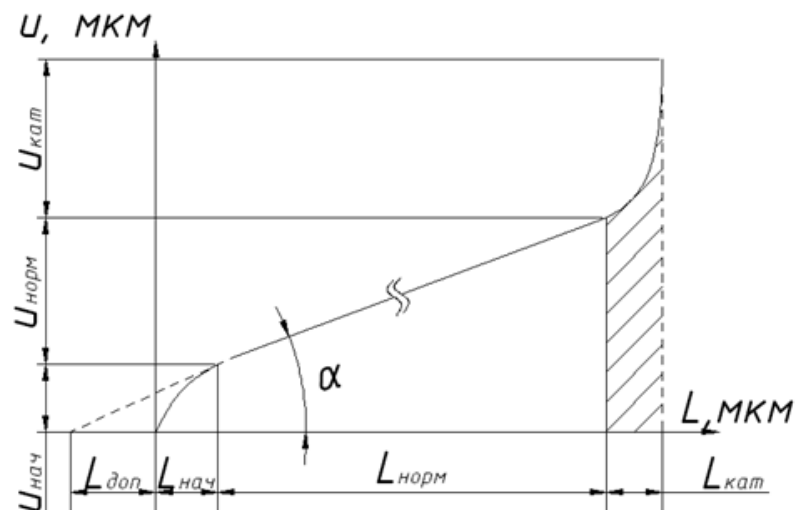


Рис. 2. График зависимости размерного износа u от пути резания L

Для количественной оценки размерного износа на этом участке используют понятие «относительный износ U_0 ».

Относительным износом называется размерный износ режущего инструмента в микрометрах (мкм) на пути резания в 1 км в период нормального износа

$$U_0 = \frac{u_{\text{норм}}}{L_{\text{норм}}} = \text{tg}\alpha \cdot \frac{M_U}{M_L}, (1)$$

где M_U – масштаб размерного износа (мкм/мм);

M_L – масштаб пути резания, км/мм.

После периода нормального износа наступает катастрофический износ (показан штриховой линией на рис. 2), приводящий к разрушению режущей кромки инструмента.

Экономически целесообразно использовать инструмент на участке II.

Используя значение относительного износа, можно решать ряд задач технологии машиностроения:

1 Определить точность обработки поверхности или разноразмерность деталей в партии.

2 Установить интервал поднастройки инструмента на размер.

3 Рассчитать необходимое количество инструментов и (или) число перезаточек резцов при обработке партии деталей и т. п.

Величину размерного износа инструмента можно определить только экспериментально, при этом необходимо исключить влияние температурных деформаций резца на результат испытаний. Это достигается охлаждением резца перед каждым измерением до одной и той же температуры.

3 Порядок выполнения работы

1 Установить на токарном станке заготовку.

2 Охладить резец в ванночке с водой.

3 Установить резец в приспособлении и определить положение его вершины установкой индикатора часового типа на нуль (рис. 3).

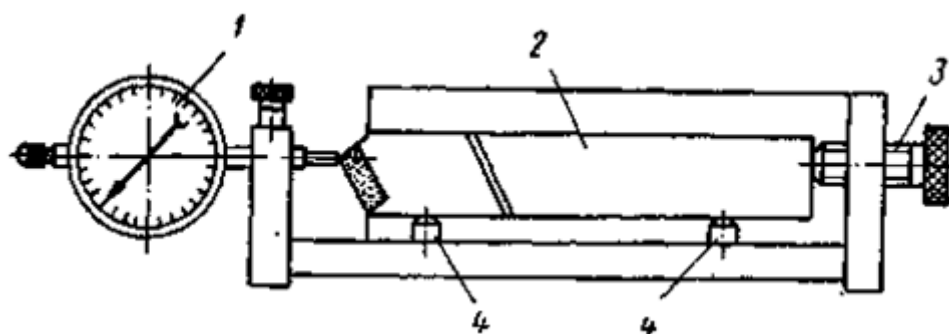


Рис. 3. Приспособление для измерения размерного износа резца:

1 – индикатор; 2 – резец; 3, 4 – упоры

4 Установить резец в резцедержателе и точить поверхность в течение 2 мин на режиме (табл. 1).

5 Охладить резец и измерить величину износа (см. пункт 3).

6 Повторить пп. 4 и 5 для различных интервалов времени точения T (см. табл. 1).

7 Рассчитать путь резания для всех интервалов времени по формуле:

$$L = \frac{V \cdot T}{1000} \quad , (2)$$

где T – время работы в минутах; V – скорость резания в м/мин.

8 Результаты измерений и вычислений занести в таблицу, в которую также заносятся условия резания: обрабатываемый материал, материал инструмента; глубина резания t , подача s и скорость V . Пример заполнения таблицы приведен ниже.

Результаты экспериментальных исследований

Условия резания	Параметры	Время работы резца от начала опыта T , мин					
		2	5	10	20	40	...
Заготовка – сталь 5 Материал резца – Т15К6 Режимы резания: $t = 2$ мм; $s = 0,3$ мм /об; $V = 140$ м/мин	Путь резания L , км	0,14	0,7	1,4	2,8	5,6	...
	Размерный износ u , мкм	12	30	550	195

9 Нанести точки с координатами L_i и u_i на график (рис. 4).

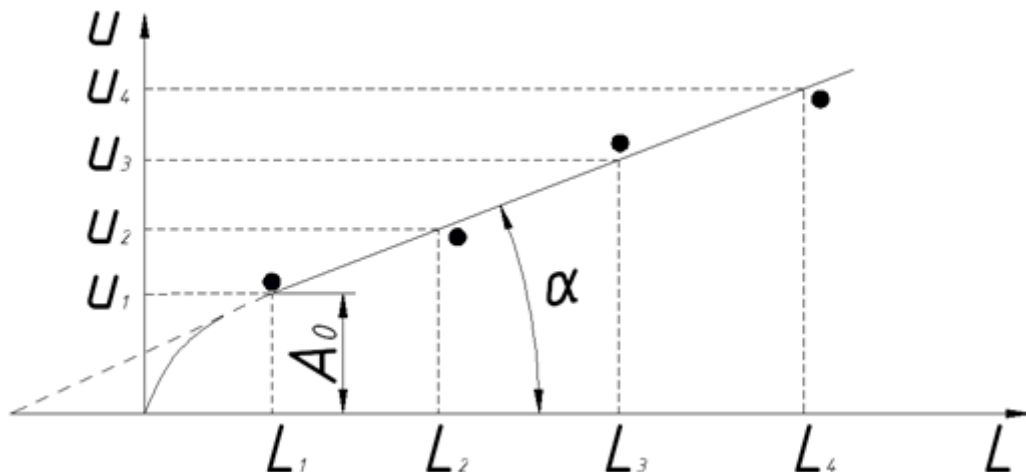


Рис. 4. Зависимость величины износа от пути резания

10 Обработать результаты экспериментов, используя зависимость:

$$u = A_0 + A_1 L, (3)$$

где A_0 – постоянная (см. рис. 4);

A_1 – коэффициент;

$$A_1 = \operatorname{tg} \alpha. (4)$$

11 По результатам работы сделать выводы.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ТОКАРНОГО РЕЗЦА ОТ ПУТИ РЕЗАНИЯ

1 Цель работы. Определить влияние температурных деформаций резца на размеры обработанных деталей.

2 Сведения из теории. При токарной обработке изменения размеров резца из-за его нагрева в процессе резания оказывают влияние на размеры обработанной детали. Величина температурных деформаций резца в основном зависит от режимов резания: V , S , t , механических свойств обрабатываемого металла σ_6 , конструкции резца (вылет резца, сечение, толщина пластинки твердого сплава), геометрии резца.

Тепловое равновесие инструмента обычно наступает достаточно быстро, и через несколько минут после начала работы удлинение резца практически прекращается. Если происходит перерыв в работе, во время которого резец охлаждается, то с началом работы опять наблюдается его удлинение.

Ввиду неопределенности количества теплоты, поступающей в резец, и сложности закона распределения теплоты в теле режущего инструмента имеются лишь приближенные методы аналитического расчета температурных деформаций режущих инструментов. В преобладающем большинстве случаев температурные деформации режущего инструмента определяются экспериментально, большей частью при режимах резания чистовой обработки, так как в этом случае они представляют наибольший интерес с точки зрения механической обработки.

Из числа известных экспериментальных методов определения температурных деформаций резца при точении наиболее простым и удобным является метод непосредственного измерения резца при остывании. Сущность этого метода заключается в следующем: после определенного времени работы резца, быстро отводят резец от обрабатываемого изделия и выключают вращение детали, подводят вершину резца к измерителю линейных перемещений и измеряют его укорочение при остывании до температуры окружающей среды.

Закон изменения температурных деформаций во времени можно характеризовать показательными функциями (рис. 1):

при охлаждении

$$\xi = \xi_c e^{-\beta T}, \quad (1)$$

при нагревании

$$\xi = \xi_c (1 - e^{-\beta T}), \quad (2)$$

где ξ – текущее значение удлинения резца;

ξ_c – максимальное удлинение резца при установлении теплового равновесия;

β – коэффициент, характеризующий форму кривой;

T – время.

Из рис. 1 видно, что наибольший рост температурных деформаций наблюдается в начальный период времени обработки детали, затем интенсивность удлинения резца снижается и, наконец, наступает период установившегося теплового равновесия, в течение которого температурные деформации практически не изменяются.

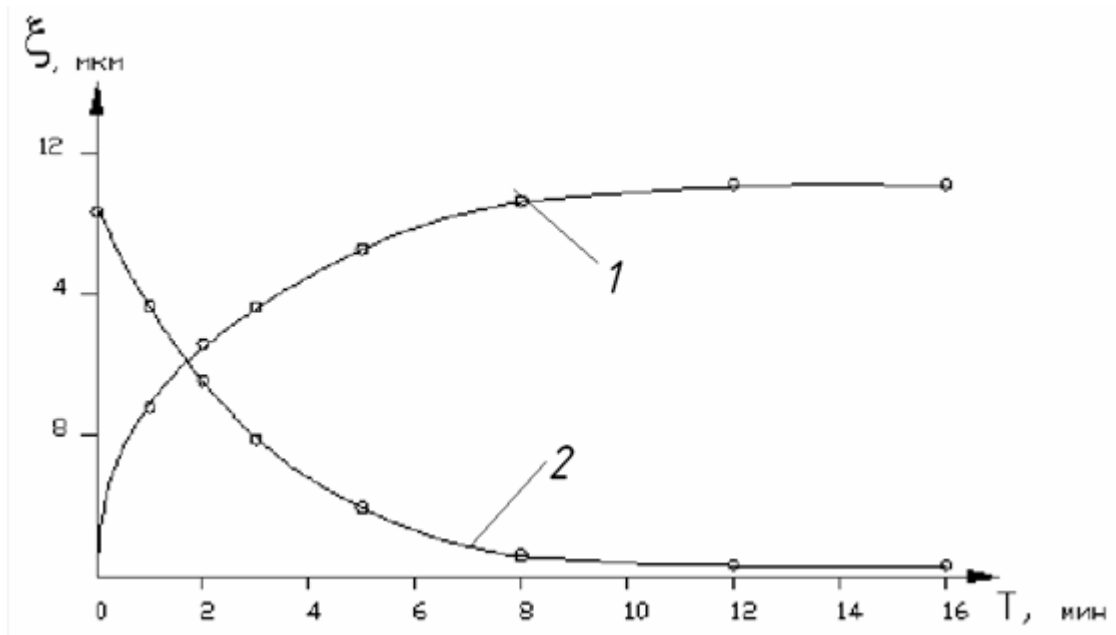


Рис. 1. Зависимость температурной деформации резца от времени обработки и охлаждения T : 1 – охлаждение; 2 – нагревание

Если значения T и ξ для инструмента определены экспериментально, то по этим результатам методом наименьших квадратов можно определить значения параметров ξ_c и α в уравнении (1).

В случае нагревания (уравнение 2) определяется только значение α . Величина ξ_c принимается из опыта, как максимальное значение температурной деформации при нагревании (установившийся тепловой режим).

Величина температурной деформации резца после определенного времени работы (1, 3, 5, 7, 10, 15 мин) определяется непосредственным измерением его укорачивания при остывании до температуры окружающей среды (рис. 2). Для расчета точности изготовления детали строят кривые зависимостей температурных деформаций резца в процессе обработки и охлаждения, аналогичные изображенным на рис. 2.

3 Порядок выполнения работы

1 Установить заготовку в патроне с поддержкой центром, резец в резцедержателе станка с вылетом 1,5–2,0 его высоты.

2 Настроить станок на чистовой режим резания: $t = 0,2$ мм, $S = 0,15$ мм/об и $V = 200$ м/мин.

3 Установить на станке магнитную стойку с индикаторной головкой, таким образом, чтобы при повороте резца на 90° его вершина касалась индикаторной головки, закрепленной на магнитной стойке, обеспечивая натяг не менее 30 мкм (см. рис. 2).

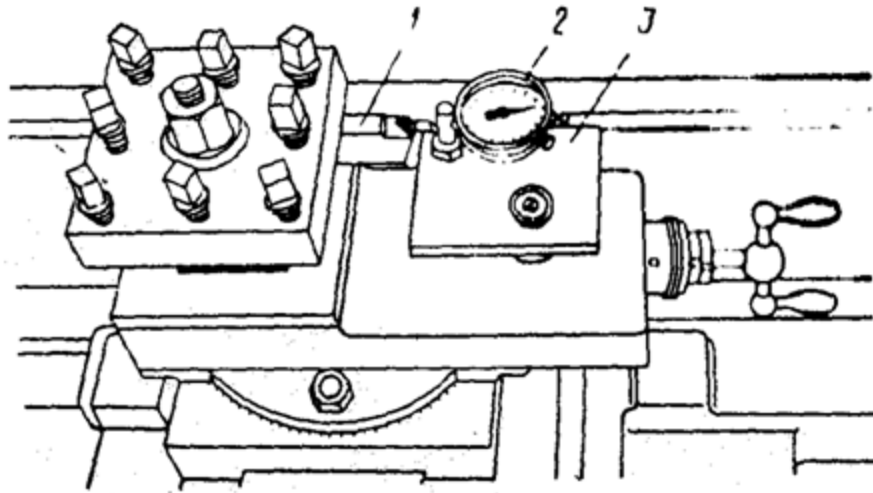


Рис. 2. Схема установки при изменении температурной деформации резца:
1 – резец; 2 – магнитная стойка; 3 – индикаторная головка

4 Включить вращение шпинделя, подвести резец и включить продольную подачу. После 1-й минуты работы выключить подачу, отвести резец. Остановить станок. Быстро повернуть резцедержатель на 90° , коснуться вершины резца наконечником индикаторной головки. Затем, не меняя положения резца, дать ему остыть до температуры окружающей среды и записать величину укорочения резца.

5 Повторить приемы пп. 3–5 для 3, 5, 7, 10, 15 минут работы.

6 В последнем опыте (при работе резца в течение 15 мин) замерить укорочение резца при остывании через 1, 3, 5, 7, 10 мин.

7 Заполнить ниже приведенную таблицу.

Результаты экспериментальных исследований

Наименование и модель станка	Обрабатываемый материал			Марка пласт. тв. р-дого сплава резца	Геометрия резца				Заточка резца	Доводка резца	Сечение резца	Вылет резца
	Марка	σ_s	НВ		α	φ	φ_1	r				
Время работы резца T , мин				1	3	5	7	10	15	Примечание		
Путь резания L , м												
Температурные деформации резца ξ , мкм												
Время охлаждения резца T , мин												
Температурное укорочение резца $\xi_{охл}$, мкм												

8 Рассчитать путь резания для всех точек согласно пп. 3 и 4 по формуле:

$$L = V \cdot T,$$

где V – скорость резания, м/мин;

T – время работы резца в мин.

9 Построить зависимости температурной деформации резца от пути резания и времени охлаждения, аналогичные рис. 1.

Определить параметры ξ_c и β в уравнениях (1) и (2) для кривой охлаждения и нагревания.

10 Из формулы для расчета максимального удлинения резца определить величину коэффициента C

$$\xi_c = C \cdot \frac{l}{F} \cdot \sigma_B \cdot (t \cdot S)^{0,75} \cdot \sqrt{V} \quad \text{мкм, (3)}$$

где ξ_c – максимальное удлинение резца, соответствующее установившемуся тепловому состоянию резца в мкм;

l – вылет резца в мм;

F – сечение резца в мм²;

σ_B – предел прочности обрабатываемого материала в МПа;

t – глубина резания в мм;

S – подача в мм/об;

V – скорость резания в м/мин.

4 Содержание отчета

- 1) наименование работы;
- 2) наименование, модель и характеристика станка;
- 3) марка обрабатываемого материала и его характеристика;
- 4) геометрия резца, марка твердого сплава, размеры пластинки и режим резания;
- 5) размеры резца (вылет, сечение);
- 6) данные об измерительных приборах;
- 7) схема изменения укорочения резца;
- 8) результаты опытов (в виде таблицы);
- 9) график зависимостей удлинения и укорочения резца от пути резания и времени охлаждения;
- 10) расчетные величины коэффициентов ξ_c , β , C в уравнениях (1, 2, 3);
- 11) выводы.

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ КОЛЕЦ НА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАСТРОЕННОМ ТОКАРНОМ СТАНКЕ

1 Цель работы. Экспериментально исследовать возможные изменения размеров деталей в зависимости от различных факторов в процессе их изготовления.

2 Сведения из теории. При обработке партии заготовок на предварительно настроенном станке отдельные заготовки имеют разные размеры диаметра. Кроме того, каждая обработанная деталь имеет разные диаметральные размеры по длине обработки (продольная погрешность формы). Величина отклонений размеров от настроенного определяется суммарным влиянием отдельных погрешностей обработки.

Погрешности обработки могут определяться несколькими методами, из которых наиболее наглядным является метод точечных диаграмм. При этом методе на точечной диаграмме по оси абсцисс откладываются номера последовательно обработанных деталей, а по оси ординат – размеры этих деталей или отклонение от размера настройки.

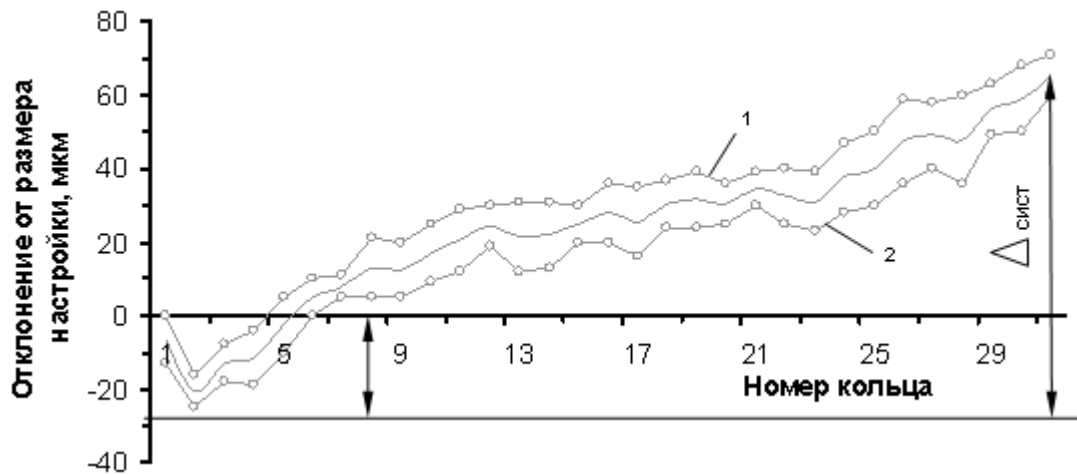


Рис. 1. Точечная диаграмма обработки партии деталей (колец) на токарном станке

Приведенная на рис. 1 точечная диаграмма построена для случая обтачивания партии деталей (колец) на токарном станке. Для идентичной установки колец на оправках на их торцах сделаны специальные отметки «а» и «б» (на оправке торец «а» устанавливаются к передней бабке).

На точечной диаграмме можно наглядно видеть колебания размера, вызванные как случайными, так и систематическими погрешностями обработки. На рисунках отдельные точки ломаной линии 1 соответствуют размеру обрабатываемых деталей, измеренному у торца «а», а точки, соединенные ломаной линией 2, – размеру этих же деталей, измеренных у торца «б». Рассматривая эти кривые, можно сделать следующие выводы:

1 Размер первой изготавливаемой детали в начале ее обработки не совпадает с желательным настроечным размером; это указывает на наличие погрешности установки резца на размер.

2 Начальный и конечный размеры не равны, т. е. все обработанные детали имеют какую-то погрешность формы (разность размеров), которая более или менее одинакова у всех деталей.

3 Изменение размеров деталей по мере увеличения порядкового номера детали, т. е. по мере увеличения длительности обработки партии деталей, подчиняется какой-то определенной закономерности. Для более четкого выяснения этой закономерности на рис. 1. проведена кривая 3, которая является сглаженной кривой средних размеров отдельных деталей. Рассматривая эту кривую, можно отметить общую закономерность: в начале обработки партии деталей (до третьей детали) наружный диаметр (их средний размер) уменьшается, а затем (до 31-й детали) – увеличивается.

4 Обе кривые (как 1, так и 2) не являются плавными кривыми, а представляют собой ломаные линии, что указывает на рассеивание размеров отдельных деталей, т. е. на наличие случайных погрешностей обработки.

Таким образом, кривые дают представление о наличии сложных зависимостей точности механической обработки деталей от факторов технологического процесса.

Сложная кривая средних размеров 3, очевидно, обусловлена в основном действием трех систематических погрешностей обработки $\Delta_{\text{сист}}$, температурными деформациями резца и станка, а также износом резца. Размер ξ в начале кривой 3 приблизительно соответствует полной температурной деформации резца с учетом износа на первых деталях.

Если определять при опыте температурные деформации резца и станка, износ резца и разность упругих деформаций технологической системы в начале и конце обработки детали, то можно провести более обоснованный анализ точечной диаграммы.

3 Порядок выполнения работы

Работу следует выполнять в такой последовательности:

- 1 Ознакомиться со станком.
- 2 Установить оправку для закрепления колец в патрон станка, выверить на биение (биение рабочей поверхности оправки должно быть не более 0,02 мм).
- 3 Закрепить резец в приспособлении для измерения его размерного износа. Отрегулировать индикатор приспособления.
- 4 Установить на суппорте станка и отрегулировать магнитную стойку с индикаторной головкой для измерения температурной деформации резца.
- 5 Закрепить на станке магнитную стойку с индикаторной головкой для определения температурной деформации шпиндельной бабки.
- 6 Установить кольцо-заготовку на измерительную плиту (рис. 2), настроить индикаторную головку и измерить (в середине ширины кольца) отклонение размера заготовки Δ_3 от настроенного. Результаты записать в табл. 1.

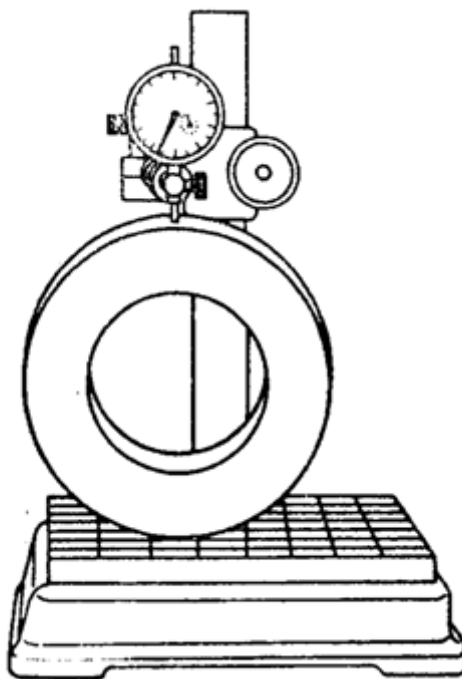


Рис. 2. Установка для измерения диаметра кольца

Таблица 1

Результаты измерений отклонения размера заготовки Δ_3 от настроенного

Параметры	Номер кольца				
	1	2	3	4	5

Отклонение от размера настройки заготовки (в середине кольца), мкм					
Отклонение от размера настройки после обработки, мкм: у первого торца Δ_1 в середине кольца Δ_{cp} у второго торца Δ_2					
Разность размеров по длине в начале и в конце обработки ($\Delta_1 - \Delta_3$)/2, мкм					

7 Установить кольцо на оправку, настроить станок на заданный режим резания ($V \approx 100 \dots 150$ м/мин; $S \approx 0,1 \dots 0,15$ мм/об; $t \approx 0,1 - 0,2$ мм) и проточить кольцо.

8 Снять кольцо с оправки, установить в измерительную позицию и измерить отклонение диаметра кольца Δ_d от настроенного в трех местах по ширине (у торцов и в середине ширины кольца). Результаты записать в табл. 1.

Обработать все детали партии с изменением размера Δ_3 и Δ_d .

10 В середине обработки партии колец (при четырех-пяти установках) провести хронометраж и найти среднее вспомогательное время, затрачиваемое на снятие и установку детали (т. е. все время от конца обработки предыдущей детали до начала обработки следующей).

11 После обработки последнего кольца в партии измерить укорочение резца после его охлаждения. Зарегистрировать изменение резца через 1, 2, 3, 5, 8, 12, 15 мин (см. п. 4. настоящей работы). Результаты измерений записать в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерения величины укорочения резца ξ

Параметр	Время охлаждения резца в мин			
	1	2	3	и т. д.
Укорочение резца ξ в мкм				

12 После полного охлаждения резца измерить его размерный износ, установить для этого его в приспособление (см. п. 3. настоящей работы).

13 Установить кольцо на оправку и измерить с помощью кольцевого динамометра и индикатора коэффициент жесткости оправки со шпинделем станка в начале кольца и в конце. Коэффициент жесткости определить при одной нагрузке $P = 140$ кгс.

14 На основании показаний индикаторов (п. 5) определить направление и величину температурной деформации станка.

15 На основании п. 4. построить график изменения размеров резца при охлаждении в зависимости от времени и определить полную температурную деформацию резца при нагревании.

16 На основании данных п. 9 построить точечную диаграмму.

17 Рассчитать по формулам теории резания или найти по таблицам нормативов величину радиальной составляющей силы резания P_y при установленных в опыте режимах резания и материале изделия.

18 На основании известных коэффициентов жесткости в начальном и конечном положениях обработки и определенной силе резания P_y рассчитать деформации в начальном положении обработки y_n и в конечном y_k . Разность $y = y_n - y_k$ будет характеризовать погрешность формы обрабатываемого кольца, обусловленную упругими деформациями технологической системы.

19 На основании графиков (пп. 11 и 15) определить изменение размеров резца при охлаждении ξ за время перерыва в резании T_e .

20 На основании измеренного размерного износа резца при обработке одной детали

$$U_d = U/n, (1)$$

где U_d – средний размерный износ на длине обработки одной детали;

U – полный размерный износ при обработке партии деталей;

n – число деталей.

21 Провести сравнение разности начального и конечного размеров детали с алгебраической суммой погрешностей

$$y_0 + \xi + U_0 \approx (\Delta_{1\text{ ср}} - \Delta_{2\text{ ср}}) / 2, (2)$$

где $\Delta_{1\text{ ср}}$ и $\Delta_{2\text{ ср}}$ – начальное и конечное отклонение размеров кольца от номинала.

22 Определить систематическую погрешность изготовления как сумму полного размерного износа резца U и температурной деформацией резца ξ и сравнить с погрешностью размера на точечной диаграмме.

23 Составить отчет.

4 Содержание отчета

В отчете должны быть приведены следующие данные:

- 1) наименование работ;
- 2) наименование, модель и характеристика станка;
- 3) марка обрабатываемого материала и его характеристика;
- 4) эскиз кольца с размерами;
- 5) материал, геометрия и размеры режущего инструмента;
- 6) режим резания (V, S, t);
- 7) эскиз крепления кольца на оправке и эскиз измерения размеров кольца;
- 8) данные об измерительных приборах;
- 9) результаты опытов (по форме табл. 1 и 2);
- 10) точечная диаграмма и график зависимости укорочения резца от времени охлаждения;
- 11) необходимые расчеты;
- 12) корреляционная таблица и все расчеты по корреляционному анализу для определения отклонений Δ_3 и Δ_d , измеренных в середине кольца (см. пп. 1–3);
- 13) выводы.

Лабораторная работа № 4 **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА** **ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМ МЕТОДОМ**

Цель работы. Экспериментальное определение жесткости токарного станка производственным методом.

2 Сведения из теории. Производственный метод испытания жесткости металлорежущих станков основан на принципе обработки заготовок с неравномерным припуском (переменной глубиной резания t). Неравномерный припуск при обработке может быть получен за счет эксцентриситета заготовки, ее конусности или ступенчатости.

Для испытания токарных станков удобно использовать заготовку с эксцентрично расположенными поверхностями.

При обработке эксцентричной заготовки глубина резания за пол-оборота заготовки закономерно изменяется от t_{min} до t_{max} , что вызывает соответственное изменение силы резания, а значит, и упругих перемещений технологической системы.

Величина упругих перемещений системы y_c при обработке детали на токарном станке зависит от перемещений узлов станка y_{cm} , режущего инструмента $y_{ин}$ и обрабатываемой детали y_{∂} , т. е.

$$y_c = y_{cm} + y_{ин} + y_{\partial}, \quad (1)$$

откуда жесткость системы:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_{cm}} + \frac{1}{j_{ин}} + \frac{1}{j_{\partial}}. \quad (2)$$

Так как жесткость инструмента в радиальном направлении несоизмеримо велика по сравнению с жесткостью станка и обрабатываемой детали, то ее деформацию можно не учитывать при расчетах. Если для проведения испытаний использовать заготовку, жесткость которой также значительно превышает жесткость станка, то деформацию заготовки также можно исключить из расчета.

Тогда

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_{cm}} \quad \text{или} \quad \omega_c \approx \omega_{ст}, \quad (3)$$

где ω_c – податливость системы;

$\omega_{ст}$ – податливость станка.

Формула для определения жесткости станка при использовании производственного метода выводится на основании известных зависимостей теории резания:

$$j_{\partial} = \frac{P_y}{y}. \quad (4)$$

Нормальная составляющая силы резания P_y может быть выражена через тангенциальную составляющую силы резания P_z , тогда

$$P_y = K_y \cdot P_z, \quad (5)$$

где K_y – коэффициент, характеризующий отношение P_y/P_z и зависящий от геометрии резца, состояния режущей кромки и механических свойств обрабатываемого материала.

Определяя P_z по формуле Челюсткина, получаем:

$$P_z = C_p \cdot t \cdot S^{0,75}, (6)$$

где C_p – коэффициент, зависящий от механических свойств обрабатываемого материала и угла резания.

Тогда

$$P_y = K_y \cdot C_p \cdot t \cdot S^{0,75}, (7)$$

$$y = \frac{1}{j_{\bar{n}\bar{o}}} \cdot K_y \cdot C_p \cdot t \cdot S^{0,75} . (8)$$

При обработке эксцентричной заготовки глубина резания изменяется от t_{min} до t_{max} и соответственно изменению глубины резания изменяются и отжатия узлов станка от y_{min} до y_{max} :

$$y_{max} - y_{min} = K_y \cdot C_p \cdot S^{yp} \cdot (t_{max} - t_{min}) \cdot \frac{1}{j_{\bar{n}\bar{o}}}, (9)$$

где $y_{max} - y_{min} = \Delta_{сист}$ – биение детали после обработки (погрешность формы детали);

$t_{max} - t_{min} = \Delta_з$ – биение детали до обработки (погрешность формы заготовки).
Подставим в формулу принятые обозначения

$$\Delta_{д} = K_y \cdot C_p \cdot S^{yp} \cdot \Delta_з \cdot \frac{1}{j_{\bar{n}\bar{o}}}, (10)$$

или

$$j_{см} = K_y \cdot C_p \cdot S^{0,75} \cdot \frac{\Delta_з}{\Delta_{д}} . (11)$$

Следовательно, жесткость токарного станка практически сводится к измерению биения заготовки и детали.

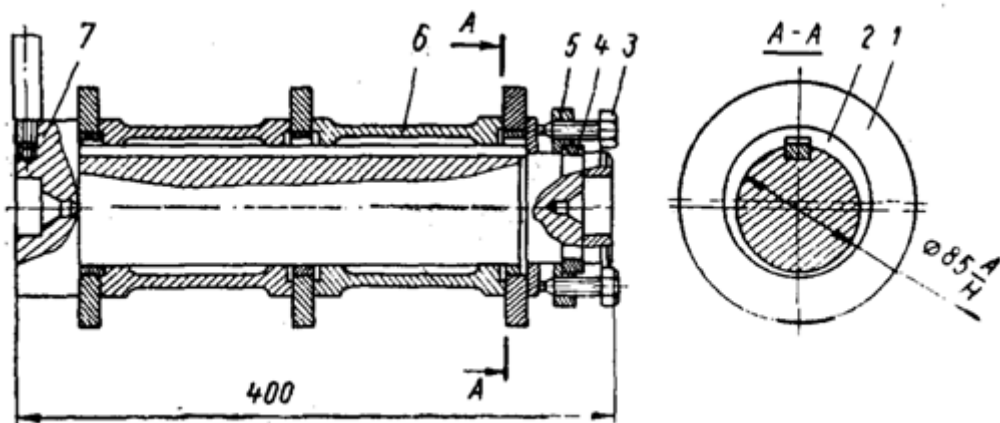


Рис. 1. Оправка для определения жесткости токарного станка

- 5 Повернуть резцедержатель с тем, чтобы вести обработку резцом. Проточить последовательно все три кольца, сняв эксцентричный припуск на кольцах за один проход.
- 6 Повернуть резцедержатель с тем, чтобы вести измерение индикаторной головкой.

Таблица 2

Результаты измерений индикаторной головкой

Деление окружности	0	36	72	108	144	180	216	252	288	324	360
Биение заготовки Δ_3 , мм											
Радиальная составляющая силы резания P_y , Н											
Биение после обработки Δ_d , мм											

7 Измерить индикаторной головкой Δ_d . Результаты по каждому из трех колец занести в табл. 7. Измерить биение среднего кольца после обработки в 10 точках (через 36°) по окружности. Результаты занести в табл. 2.

8 Рассчитать и занести в табл. 2 радиальную составляющую силы резания P_y для всех точек.

9 Вычислить E и определить жесткость станка по трем кольцам: построить диаграмму нагрузка-перемещение (рис. 2).

В отчет вписываются: модель и характеристика станка; схема расположения колец (рис. 1) и измерения их биения; данные об измерительном инструменте; материал колец-заготовок 4, материал и геометрия резца; таблицы 1 и 2 и расчеты P_y и j_{cm} ; диаграмма нагрузка-перемещение (см. рис. 2); анализ полученных данных и выводы.

Лабораторная работа № 2.

Определение погрешности закрепления заготовки
в приспособлениях.

Цель работы: определение среднего значения осевой погрешности при закреплении заготовки в трехкулачковом патроне.

Теоретическая часть.

Для обеспечения точности обработки заготовку необходимо установить и закрепить в определенное положение относительно режущего инструмента. Однако при закреплении возникает погрешность, определение которой необходимо для обеспечения точности получаемых размеров.

Погрешность закрепления ε_3 возникает из-за деформации отдельных заготовок под действием силы зажима. Погрешность закрепления численно равна разности предельных смещений измерительной базы в направлении получаемого размера под действием силы зажима заготовки.

Под действием силы зажима F_3 измерительная база смещается. В силу различных причин это смещение будет разным для каждой заготовки. Поэтому возникает погрешность закрепления заготовки в приспособлениях, равная:

$$\varepsilon_3 = (y_{\max} - y_{\min}) \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

где α – угол между направлением действия силы зажима F_3 и направлением получаемого размера. При расчете погрешности ε_3 обычно учитывается только смещение из-за контактных деформаций в стыках заготовка - установочные элементы. Величина этих смещений определяется по экспериментальной зависимости:

$$y = c \cdot N_f^n, \quad (2)$$

где N_f – сила зажима, приходящаяся на опору (нагрузка на опору);

c – коэффициент, характеризующий вид контакта, материал, шероховатость поверхности и верхний слой заготовки;

n – показатель степени, определяемый в ходе эксперимента.

Экспериментальные зависимости между нормальной нагрузкой N_f и смещением y для различных опор приведены в справочной литературе, некоторые из которых приведены в Приложении. В этих зависимостях c – выражения в скобках, n – показатель степени при N_f .

При проведении лабораторной работы определяется значение осевой погрешности закрепления заготовки в трехкулачковом патроне, возникающей из-за упругой деформации передней стенки патрона (перекос кулачков силами зажима, действующими на них). Такая погрешность является случайной.

Для получения результатов работы необходимо одну и ту же заготовку (двухступенчатый валик) многократно закреплять в токарном самоцентрирующем патроне и, используя жестко закрепленный индикатор, снимать показания об осевом смещении Δy заготовки.

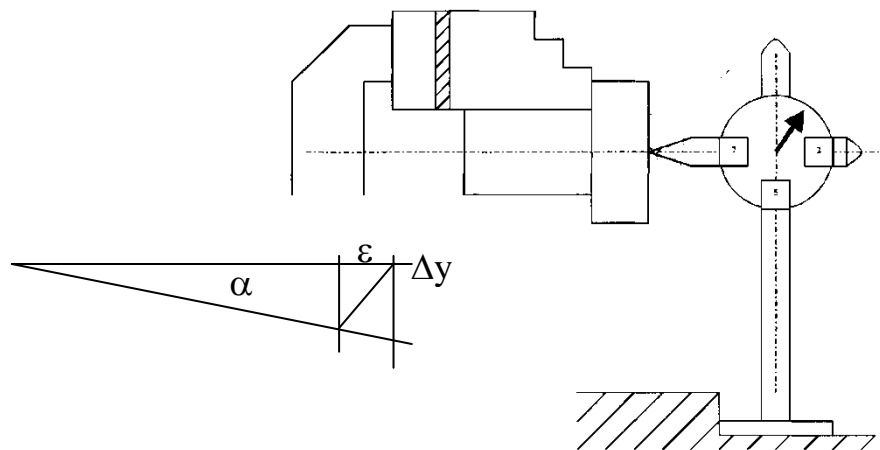


Рис. 1. Схема установки индикатора для определения осевой погрешности закрепления заготовки.

На рис. 1. изображена схема установки для проведения лабораторной работы.

Оборудование: токарный станок (16К20), трехкулачковый патрон, индикаторная головка (цена деления 0,01 мм.),

заготовка – сталь 45 (двухступенчатый вал).

После проведения замеров необходимо заполнить таблицу 1.

Таблица 1.

№ №	Показание индикатора Δy , мм.	Среднее значение интервала, y^* , мм.	Частота показани й индикато ра, m	$\Delta y \cdot m$	Част ость, (m/n) *100 %
1					
...					
...	ИТОГО	$y_{cp}^* =$		Средне $e =$	

Порядок проведения работы.

1. Установить и закрепить на шпинделе токарного станка трехкулачковый патрона.
2. Установить заготовку в трехкулачковый патрон (прижать буртиком к кулачкам патрона) и закрепить.
3. Установить индикатор, измерительный наконечник которого касается торца заготовки с натягом 1-2 мм. Установить индикаторную стрелку на ноль.
4. Многократно повторить закрепление заготовки (не менее 50 раз) при каждой повторной установке записывать показание индикатора, фиксирующего действительную величину погрешности.
5. Обработка результатов (таблица).
6. По данным таблицы построить график, в котором по оси x отложить величину осевой погрешности, а по оси y – их частность.
7. Определить среднюю величину погрешности осевого смещения и сравнить с табличными данными (см. Приложение).
8. Определить максимальную и минимальную погрешность зажима (формула 2 и Приложение)
9. Выводы.

Содержание отчета.

1. Эскиз схемы установки заготовки с указанием размеров.
2. Эскиз патрона.
3. Данные о замерах (таблица).
4. Построение и анализ графика.
5. Максимальная и минимальная силы зажима.
6. Выводы.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

В процессе выполнения самостоятельной работы обучающиеся получают: практические умения и навыки :

умение оперировать данными на информационном рынке;
 умения работать с информацией (кодировать, представлять, измерять);
 умения обрабатывать информацию средствами информатики.

учебные умения:

использовать различные информационные источники;

расспрашивать, описывать, сравнивать, исследовать, анализировать оценивать;
 проводить самостоятельный поиск необходимой информации;

специальные учебные умения:

осуществлять эффективный и быстрый поиск нужной информации;

организовывать работу на компьютере;
 выбирать оптимальное программное обеспечение для работы с информацией;
 излагать информацию средствами информатики.

Самостоятельные работы выполняются индивидуально на домашнем компьютере или в компьютерном классе в свободное от занятий время.

Обучающийся обязан:

перед выполнением самостоятельной работы, повторить теоретический материал, пройденный на аудиторных занятиях;

выполнить работу согласно заданию;

по каждой самостоятельной работе представить преподавателю отчет в виде результирующего файла на внешнем носителе;

ответить на поставленные вопросы.

При выполнении самостоятельных работ обучающийся должен сам принять решение об оптимальном использовании возможностей программного обеспечения. Если по ходу выполнения самостоятельной работы у обучающихся возникают вопросы и затруднения, он может консультироваться у преподавателя.

Темы самостоятельной работы представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Тема дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы
1.	Основные положения и понятия в технологии машиностроения	Подготовка отчета к выполнению практической работы, конспект по теме, подготовка к защите работы
2.	Положение теории вероятности и математической статистики, используемые в технологии машиностроения	Подготовка отчета к выполнению практической работы конспект по теме, подготовка к защите работы
3.	Положение теории вероятности и математической статистики, используемые в технологии машиностроения	Подготовка отчета к выполнению практической работы конспект по теме, подготовка к защите работы
4.	Основы базирования	Подготовка отчета к выполнению практической работы конспект по теме, подготовка к защите работы
5.	Теория размерных цепей	Подготовка отчета к выполнению практической работы конспект по теме, подготовка к защите работы
6.	Достижение требуемой точности деталей в процессе изготовления. Сокращение погрешности установки	Подготовка отчета к выполнению практической работы, конспект по теме, подготовка к защите работы
7.	Достижение требуемой точности деталей в процессе изготовления. Сокращение погрешностей статической и динамической настроек	Подготовка отчета к выполнению практической работы, конспект по теме, подготовка к защите работы
8.	Основы технического нормирования. Пути сокращения затрат времени на выполнение операции	Подготовка отчета к выполнению практической работы, конспект по теме, подготовка к защите работы
9.	Технологичность конструкции изделия. Выбор наиболее	Подготовка отчета к выполнению практической работы конспект по теме,

	экономичного варианта технологического процесса	подготовка к защите работы
10.	Разработка технологических процессов изготовления деталей	Подготовка отчета к выполнению практической работы конспект по теме, подготовка к защите работы
11.	Основы разработки технологического процесса изготовления машины. Разработка технологического процесса сборки машины	Подготовка отчета к выполнению практической работы конспект по теме, подготовка к защите работы
12.	Расчет припусков, режимов резания. Оформление документации	Подготовка отчета к выполнению практической работы конспект по теме, подготовка к защите работы

Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся представлен в рабочих программах.