

опорных баз, но и от поворотов поверхностей опорных баз базирующей и присоединяемых деталей относительно плоскости, приходящей через три точки установочной базы. Поэтому  $P_1$  будет являться функцией четырех случайных аргументов  $\theta, \xi, \rho$  и  $\tau$ .

Для приближенного определения вероятностей  $P_2$  и  $P_3$  нахождения точек контакта на направляющих и опорных базах можно воспользоваться методикой определения  $P_2$  и  $P_3$  для установочных баз.

**Определение местонахождения точек контакта в задачах третьего типа,** когда известны лишь пределы, ограничивающие неплоскостность сопрягаемых поверхностей, сводится к определению пространства, в пределах которого находятся точки контакта (рис.14.7).

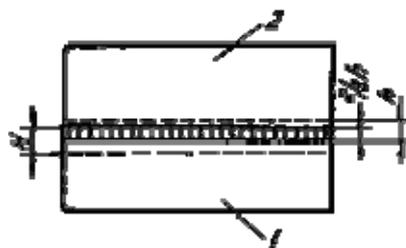


Рис. 14.7. Пространство возможного местонахождения точек контакта в задачах третьего типа

Глубина проникновения точек контакта подчиняется избирательному закону, и ее определяет высота неровностей той из соединяемых деталей, у которых она меньше.

Исследования показали, что глубина распространения точек контакта по высотам неровностей практически составляет  $2/3 h$  при  $h < H$  или  $2/3 H$  при  $H < h$ . Объем пространства возможного нахождения точек контакта представлен на рис. 14.5. Представление возможного нахождения точек контакта позволяет учесть влияние отклонений формы поверхностей баз на положение деталей в машине.

### 14.3. Влияние отклонений формы поверхности баз на их относительный поворот

Поворот ( $\Pi$ ) одной поверхности относительно другой складывается из собственного ( $\Pi_c$ ) и дополнительного ( $\Pi_\phi$ ), возникающего вследствие неплоскостности поверхностей соединяемых деталей и расположение точек контакта на склонах выпуклостей (рис.14.8.):

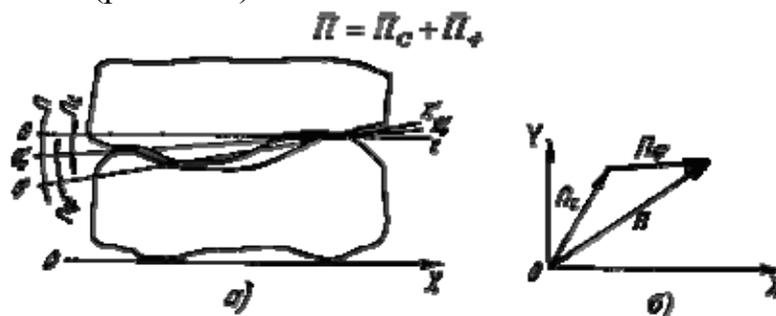


Рис.14.8. Влияние отклонений формы поверхностей баз на их относительный поворот

В задачах первого типа относительный поворот определяется однозначно по формулам.

В задачах второго типа можно судить лишь о пределах, в которых проявится относительный поворот, так как расположение точек контакта случайно. Поэтому случайными становятся и векторы дополнительного поворота (рис.14.9). Границами рассеяния векторов дополнительных поворота координатных плоскостей могут служить годографы и элементы рассеяния.

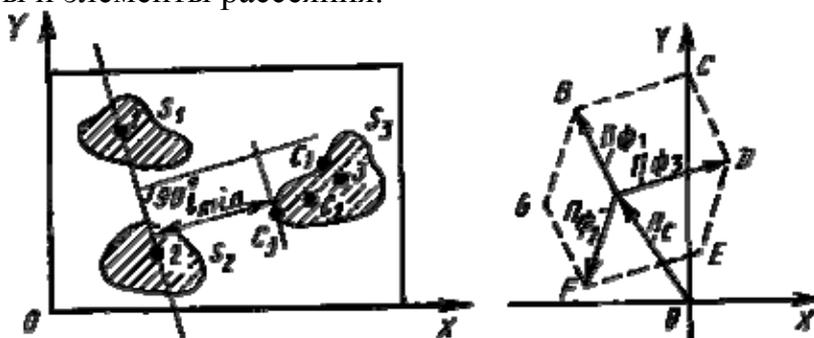


Рис.14.9. Построение годографа возможного относительного поворота поверхности детали

В задачах третьего типа становится случайным и собственный поворот.

Появляется годограф (эллипс) и собственного и дополнительного поворота (рис.14.10).

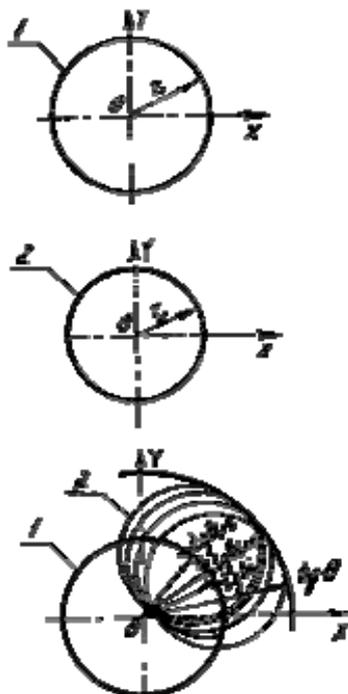


Рис.14.10. Построение суммарного годографа

#### **14.4. Расстояние как функция относительной удаленности, поворота и неплоскостности поверхностей деталей**

Расстояние между поверхностями реальной детали – это отрезки  $Z_x$ ,  $Y_L$ ,  $X_M$  соответственно осей координат  $OZ$ ,  $OY$ ,  $OX$ .

Расстояние между поверхностями детали в задачах первого типа представляет собой:

$$\begin{aligned} Z_x &= -D_1/C_1, \\ Y_L &= -D_2/B_2, \\ X_M &= -D_3/A_3, \end{aligned}$$

Компонентами этих формул являются свободные члены и коэффициенты при неизвестных в уравнениях координатных плоскостей. Например, формула для определения расстояния  $L_z$  между точкой  $A$  и плоскостью  $XOY$  может быть следующей (рис.14.11):

$$L_z = Z_0 - \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} \operatorname{tg} \theta \cos \rho - \xi_A,$$

где  $Z_0$  — расстояние между нулевой плоскостью контакта  $P$  и  $XOY$ ;

$\xi_A$  — отклонение от плоскостности вспомогательной установочной базы в точке  $A$ ;

$\theta$  — угол поворота плоскости контакта в направлении  $\beta$ ;

$\varepsilon$  — угол поворота плоскости контакта в направлении  $\beta + \rho$ , в котором находится точка  $A$ .

Формула для определения  $L_y$  и  $L_x$ , точек  $B$  и  $C$ , направляющей и опорной вспомогательной баз относительно координатных плоскостей  $XOZ$  и  $YOZ$  аналогичны:

$$L_y = Y_0 - \sqrt{X_B^2 + Z_B^2} \operatorname{tg} \theta_H \cos \rho_H - \eta_B,$$

$$L_x = X_0 - \sqrt{Y_C^2 + Z_C^2} \operatorname{tg} \theta_M \cos \rho_M - \chi_C,$$

где  $\rho_H$  и  $\rho_M$  — направления, отсчитываемые от направления  $\beta_H$  и  $\beta_M$ , в которых находятся соответственно точки  $B$  и  $C$  направляющей и опорной вспомогательных баз;

$\eta_B$  и  $\chi_C$  — отклонение от плоскостности вспомогательных направляющей и опорной баз соответственно в точках  $B$  и  $C$ .

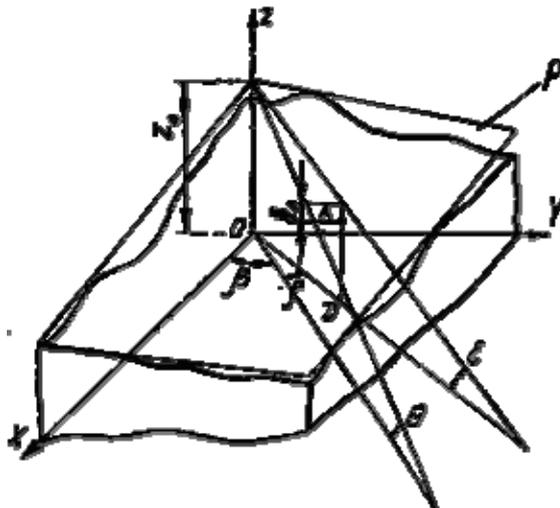


Рис.14.11. Геометрическая интерпретация количественной связи расстояния, относительного поворота и формы поверхностей установочных баз детали

В задачах второго типа —  $z_x$ ,  $y_l$ ,  $z_M$ , — случайные величины, которые могут характеризоваться математическими ожиданиями и дисперсиями. Расстояние  $L_z$ ,  $L_y$ ,  $L_x$  — величины не случайные и могут быть вычислены по формулам, относящимся к задачам первого типа а.

В задачах третьего типа можно определить лишь поля рассеяния. На рис.14.12 показано образование возможного расстояния  $z_x$ .



где  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  — возможное поле рассеяния расстояний между координатными плоскостями, проходящими через вершины выпуклостей вспомогательных баз и координатными плоскостями, совмещенными с основными базами;

$k_1, k_2, k_3$  — предельные отклонения от неплоскостности соответствующих баз;

$x_1, y_1, z_1$  — координаты точек вспомогательных баз деталей;

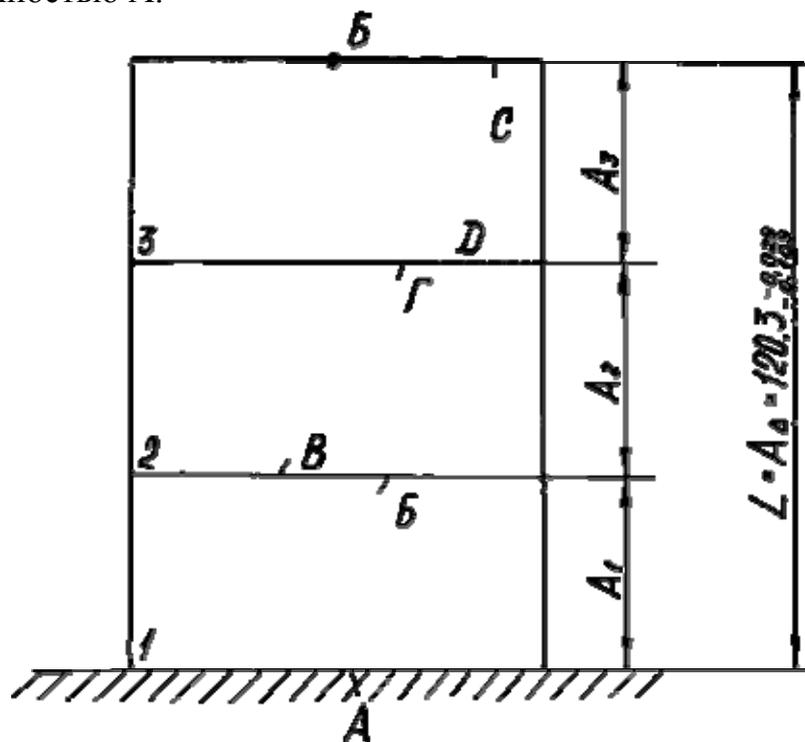
$\theta^0, \theta^1, \theta^2$  — наибольшие возможные значения относительного поворота координатных плоскостей.

## ЛЕКЦИЯ 15

### 15. Расчет допусков на отклонение формы, поворота, расстояние поверхностей детали и методы их оценки

#### 15.1. Расчет допусков на отклонение формы, поворота и расстояние поверхностей детали

Для того, чтобы нагляднее представить различие в методиках расчета допусков на отклонение формы, поворота и расстояние поверхностей идеальных и реальных деталей, рассмотрим пример. Предположим, необходимо при изготовлении СЕ, состоящих из трех деталей (рис.15.1), ограниченных плоскими поверхностями и имеющими одинаковые номинальные размеры, обеспечить расстояние  $L$  между точкой В и поверхностью А.



а)

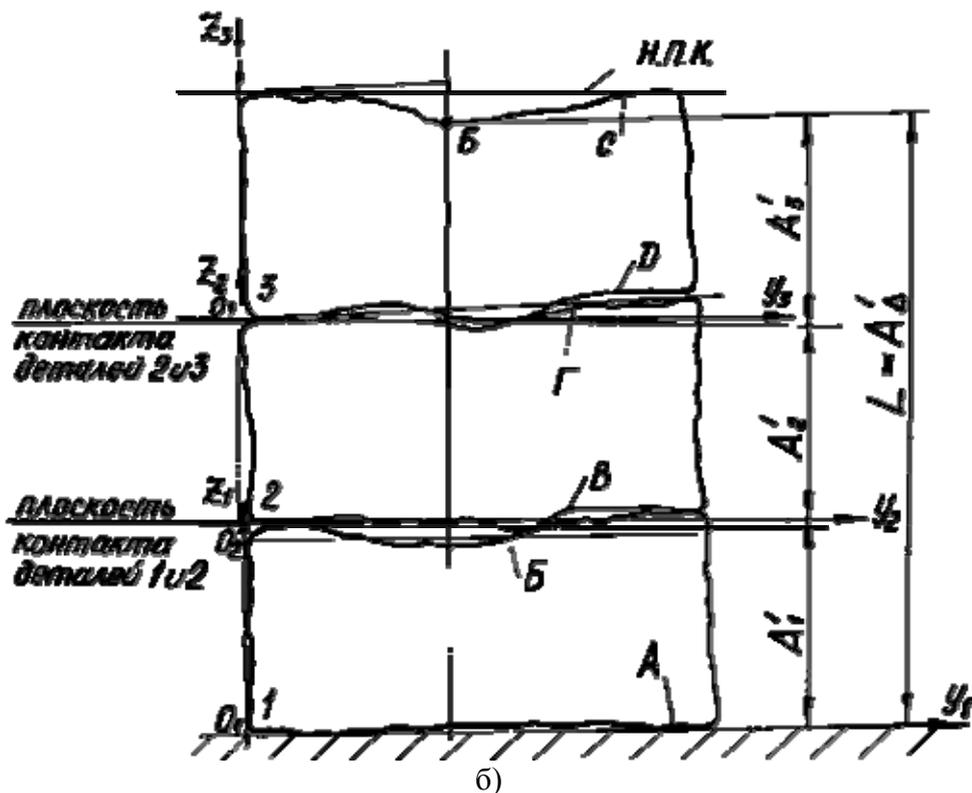


Рис.15.1. Модель сборочной единицы с идеальными поверхностями (а) и с реальными поверхностями (б) детали

В том случае, когда СЕ собрано из деталей с идеальными поверхностями (рис.15.1а) расчет допуска выполняется следующим образом. Поставленная задача  $L$  решается с помощью размерной цепи  $A$ , уравнение которой выглядит так:

$$L = A_{\Delta} = A_1 + A_2 + A_3.$$

Допустим, что служебное назначение СЕ требует обеспечения достаточно жесткого допуска:

$$T_L = T_{A_{\Delta}} = 0,080 \text{ мм}; \Delta_{A_{\Delta}} = -0,069 \text{ мм}.$$

Использование метода неполной взаимозаменяемости позволяет, при некотором риске выхода за пределы допуска значений замыкающего звена, значительно расширить допуски на составляющие звенья. При этом допуск на замыкающее звено можно определить:

$$T_L = T_{A_{\Delta}} = i \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} \xi_j^2 \lambda_j' T_A^2},$$

а допуск на  $i$ -е составляющее звено составит:

$$T_A = \frac{T_{A_{\Delta}}}{i \sqrt{\lambda_i' (m-1) \sum_{j=1}^{m-1} \xi_j^2}},$$

Для принятых значений  $T_{A_{\Delta}}$ ,  $\Delta_{A_{\Delta}}$ ,  $A_1 = A_2 = A_3$  и  $t=3$ ,  $\lambda_i' = 1/9$ ,  $\xi_i = 1$ ,  $m=4$  допуск на составляющее звено равен:

$$T_A = \frac{0,080}{3 \sqrt{\frac{1}{9} \cdot 3 \cdot 1}} = 0,046 \text{ мм}.$$

Координаты середин полей составляющих звеньев также будут установлены одинаковыми

$$\Delta_{0,2} = \Delta_{0,2A} = \Delta_{0,2A_1} + \Delta_{0,2A_2} + \Delta_{0,2A_3},$$

что в числах составит:  $\Delta_{0,2} = -0,023 \text{ мм}$ .

В принятой методике расчет допусков заканчивается расчетом допусков только на расстояние (размер). Допуски на форму поверхностей и их относительный поворот считаются либо «невыходящими» за пределы допуска на размер, либо задаются долей допуска на размер в зависимости от степени точности (25%, 40%, 60%).

Схема распределения допуска приведена на рис. 15.2.

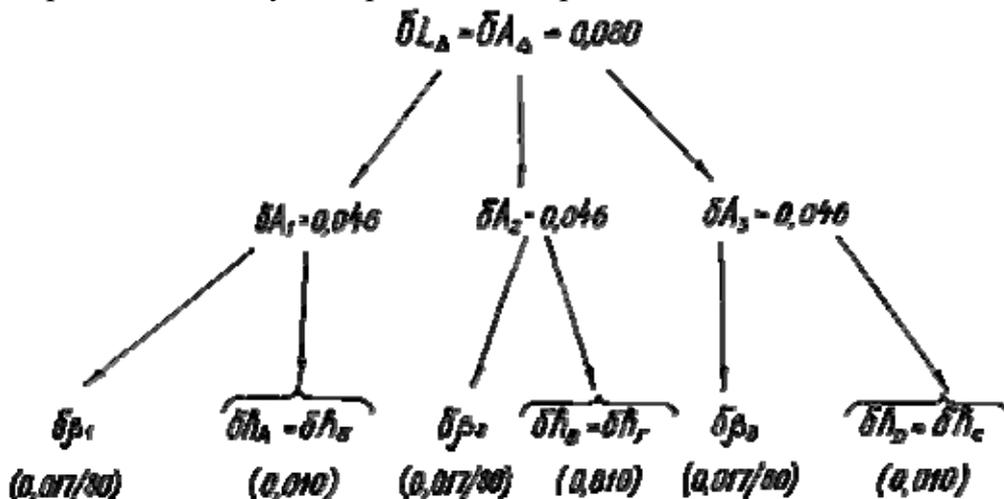


Рис.15.2. Схема распределения допуска принятым методом

В том случае, когда СЕ собрана из деталей с реальными поверхностями (рис.15.1.б) расчет допусков необходимо выполнять иначе.

Замыкающее звено  $L = A_2$  между точкой  $A$  и поверхностью  $A$ , также представляет собой сумму трех слагаемых:

$$L = A_2 = A_1' + A_2' + A_3'$$

В отличие от размерной цепи  $A$ , представленной на рис.15.1а, составляющими звеньями размерной цепи  $A'$  (рис.15.1 б) являются либо отрезки прямой Б-Б, заключенные между координатными плоскостями  $X_i O_i Y_i$ , являющимися плоскостями контакта соответствующих деталей ( $A_2'$  и  $A_3'$ ), либо отрезком той же прямой, заключенной между плоскостью контакта и нулевой плоскостью контакта ( $A_1'$ ). Звено  $A_1'$  при этом представляет собой:

$$A_1' = Z_1^c - C_1 P_1 - P_1 N_1$$

где  $Z_1^c$  – соответственно расстояние между вспомогательной и основной базами детали представляющее собой отрезок оси  $O_1 Z_1$ , отсекаемый нулевой плоскостью контакта;

$C_1 P_1$  – величина отклонения значения  $Z_1^c$  в сечении Б-Б из-за наличия собственного поворота поверхностей детали;

$P_1 N_1$  – величина несовпадения нулевой плоскости контакта и плоскости контакта:

$$C_1 P_1 = \sqrt{x^2 + y^2} \tan \alpha_1 \cos \alpha_1$$

$$P_1 N_1 = K \operatorname{tg} \theta_1'.$$

В отличие от звеньев  $A_1'$  и  $A_2'$ , звено  $A_3'$  определяется:

$$A_3' = Z_3' - C_3 P_3 - h_3,$$

где  $h_3$  — отклонение от плоскостности поверхности  $C$  в точке  $B$ .

После подстановки всех значений в уравнение можно определить  $L = A_3'$ :

$$L = A_3' = Z_1' - C_1 P_1 - P_1 N_1 + Z_2' - C_2 P_2 - P_2 N_2 + Z_3' - C_3 P_3 - h_3.$$

Раскрыв значения слагаемых, и записав их в другой последовательности, получим:

$$L = A_3' = Z_1' + Z_2' + Z_3' - \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \operatorname{tg} \theta_1' \cos \rho_1' - \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \operatorname{tg} \theta_2' \cos \rho_2' - \\ - \sqrt{x_3^2 + y_3^2} \operatorname{tg} \theta_3' \cos \rho_3' - K \operatorname{tg} \theta_1' - K \operatorname{tg} \theta_2' - h_3.$$

Введя обозначения:

1.  $Z_1' + Z_2' + Z_3' = Z^f$ ;
2.  $-\sqrt{x_1^2 + y_1^2} \operatorname{tg} \theta_1' \cos \rho_1' - \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \operatorname{tg} \theta_2' \cos \rho_2' - \sqrt{x_3^2 + y_3^2} \operatorname{tg} \theta_3' \cos \rho_3' = Z_{\text{пр}}^f$ ;
3.  $-K \operatorname{tg} \theta_1' - K \operatorname{tg} \theta_2' = Z_{\text{пр}}^g$ ;
4.  $Z_{\text{пр}}^f + Z_{\text{пр}}^g = Z_{\text{пр}}^h$ .

получим уравнение  $L = A_3' = Z^f - Z_{\text{пр}}^h - h_{\text{ПС}}$ , отображающее влияние на замыкающее звено трех видов отклонений поверхностей деталей, входящих в СЕ. Действительно, слагаемое  $Z^f$  учитывает влияние отклонений собственно расстояний между поверхностями основных и вспомогательных баз детали;  $Z_{\text{пр}}^f$  — влияние относительного поворота поверхностей баз и их формы;  $h_{\text{ПС}}$  — отклонение формы исполнительной поверхности.

Это уравнение требует, чтобы допуски, ограничивающие указанные отклонения, были подчинены зависимости:  $T_{\text{пр}} + T_{\text{пр}}^f + T_{\text{пр}}^g \leq T_{A_3} = T_L$ , что приводит к схеме назначения допусков, представленной на рис.15.3.

Учитывая сложность соблюдения каждого из слагаемых уравнения, были назначены допуски:  $T_{\text{пр}} = 0,030$  мм;  $T_{\text{пр}}^f = 0,044$  мм;  $T_{\text{пр}}^g = 0,006$  мм. Координаты середин полей допусков были рассчитаны обычным методом. Их значения равны:  $\Delta_{\text{пр}} = -0,066$  мм;  $\Delta_{\text{пр}}^f = 0$ ;  $\Delta_{\text{пр}}^g = -0,003$  мм.

Предельные значения замыкающего звена СЕ ( $L = A_3'$ ):

$$L_{\text{max}} = A_{3\text{max}}' = 120,27 \text{ мм},$$

$$L_{\text{min}} = A_{3\text{min}}' = 120,191 \text{ мм}.$$

Формулы, рассмотренные выше, позволили рассчитать все показатели, приведенные в схеме (рис.15.3).

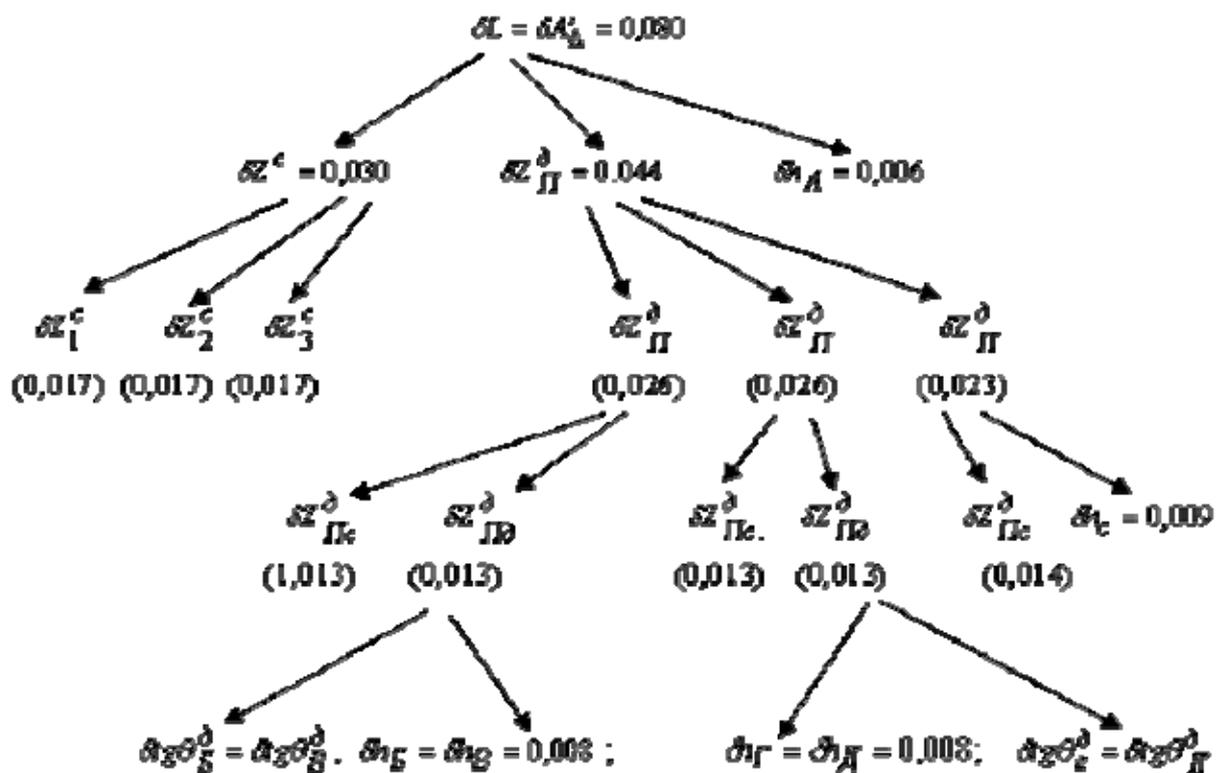


Рис.15.3 Схема распределения допусков с учетом погрешностей формы, поворотов и расстояний

## 15.2 Принципы и методы оценки точности деталей с учетом количественной связи между отклонениями формы, поворота и расстояния их поверхностей

Целью оценки точности детали существующими методами является выявление действительных значений контролируемых параметров. Однако действительный размер, по своей природе, является случайной величиной. Значение действительного размера проявится тогда, когда деталь займет свое место в машине. Поэтому, контролируя точность детали, следует стремиться не к познанию значения действительного размера, а к выявлению пределов, в которых может проявиться его действительное значение (задача второго типа).

Пусть требуется оценить в системе **ОКПЗ** точность формы, поворота и расстояния  $L$  поверхности  $B$  относительно поверхности  $A$  детали (плитки), которые являются соответственно вспомогательной и основной установочными базами. Исходными данными будут:  $T_A$  - допуск, которым ограничены отклонения формы основной установочной базы детали, присоединяемой к данной детали по поверхности  $B$ ;  $X_B$  и  $Y_B$  - координаты точки приложения равнодействующей силового замыкания (рис.15.4).

Оценку точности следует проводить в таком порядке.

1. Составить описание рельефа поверхности  $B$  относительно плоскости **XOY**.
2. Определить на поверхности  $B$  детали границы областей возможного местонахождения точек контакта.
3. Определить данные для построения годографа или эллипса рассеяния случайного вектора поворота поверхности  $B$  относительно поверхности  $A$ .

4. Установить пределы возможных значений действительного расстояния между поверхностями Б и А.

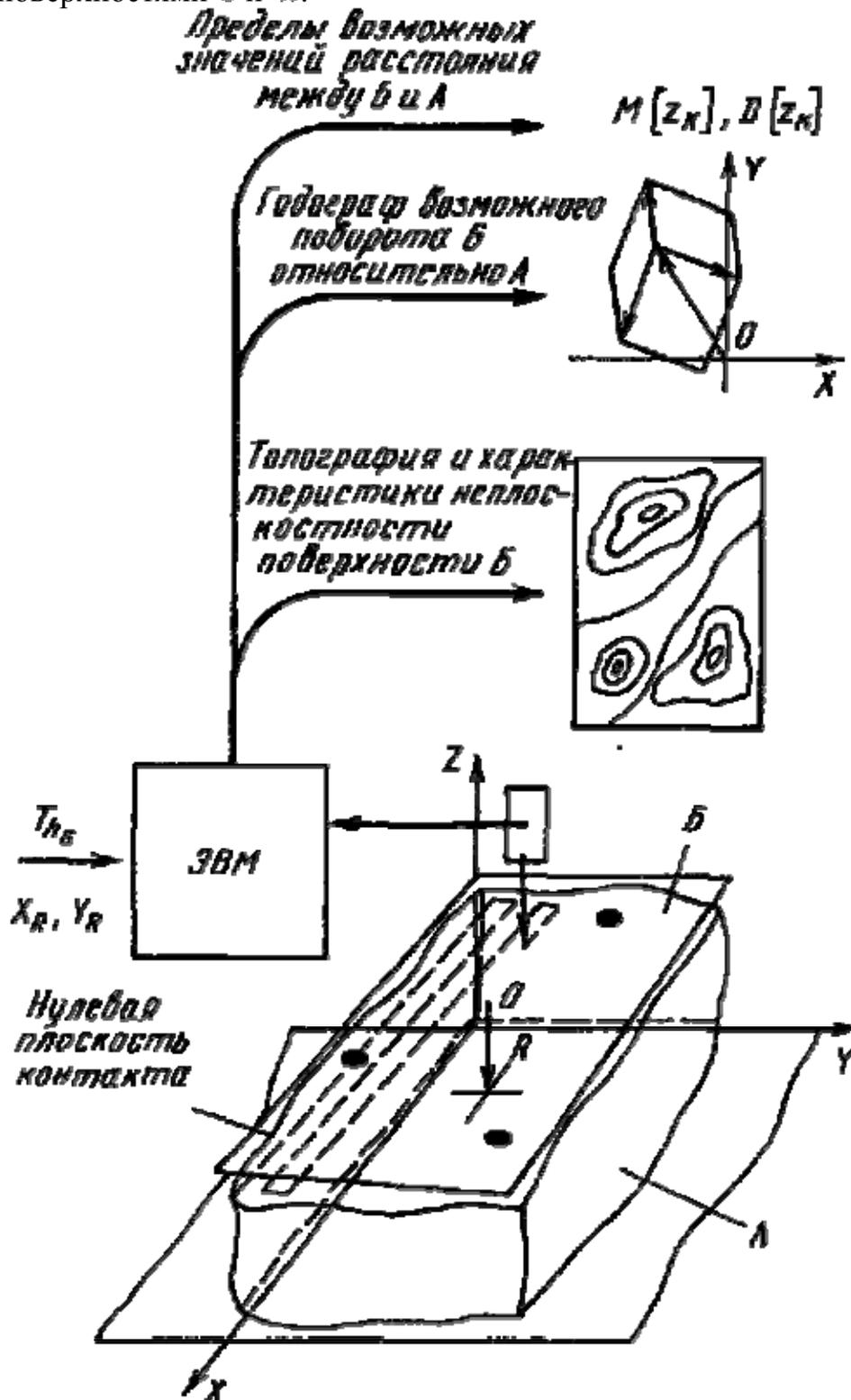


Рис.15.4. Принципиальная схема оценки точности детали с учетом количественной связи отклонений трех видов

Выполнить указанные действия можно лишь при наличии средств, позволяющих получить описание рельефа поверхности детали при малых затратах времени и переработать информацию в искомые характеристики. Для осуществления последнего необходимы вычислительные средства и соответствующее

математическое обеспечение. Полное представление о точности детали по указанным параметрам дадут:

- карта рельефа поверхности  $B$  и значения отклонений от плоскостности в каждой ее точке, отсчитываемых от нулевой плоскости контакта;
- годограф или эллипс рассеяния вектора поворота поверхности  $B$  относительно поверхности  $A$ ;
- пределы возможных действительных значений расстояния  $Z_x$  в виде математического ожидания  $M[Z_x]$  и дисперсии  $D[Z_x]$ .

### **15. 3. Уменьшение влияния геометрических отклонений деталей на качество машины в процессе ее сборки**

В тех случаях, когда погрешность формы, относительных поворотов, расстояний и размеров поверхностей деталей, поступающих на сборку превышают установленные пределы, их сокращают до допустимых в процессе сборки.

Происходит это при использовании методов регулировки и пригонки для достижения точности.

Наиболее трудоемким методом является пригонка, которая связана с выполнением таких работ как:

- опилование и зачистка;
- шабрение;
- притирка;
- полирование;
- сверление отверстий «по месту» и их развертывания и др.

**Опиливание** ведут напильниками, надфилями, абразивными брусками и кругами. Бывает опилование грубым (снятие припуска более 0,2 мм) и тонким (не выше 0,1 мм). После опилования поверхность зачищают личным напильником с мелом, шкуркой или оселком. Применяется чистовая обработка абразивной лентой. При тонком опиловании точность около 0,02 мм.

**Шабрение** широко применяемый способ отделки, заключается в снятии шабером тонких слоев (около 0,005 мм) материала. При этом используются шаберы, приспособления (плиты, линейки, оправки), рабочие поверхности которых, имеют форму поверхностей сопряжения присоединяемых деталей. На плиту (либо другое приспособление) наносят тонкий слой краски (берлинская лазурь, сажа), накладывают на поверхность и сообщают плите несколько возвратно-поступательных перемещений. Затем плита снимается и шабруют места, на которых осталась краска. Обработка ведется до тех пор, пока следы краски не станут малыми пятнами, равномерно распределенными на обрабатываемой поверхности. Считается, что для хорошего прилегания деталей по сопрягаемым поверхностям необходимо иметь от 10-12 до 25-30 пятен в квадрате **25×25** мм.

Наиболее высокую точность достигают шабрением «по блеску», но он наиболее трудоемкий.

Шабрение поверхностей основных баз присоединяемой детали ведут сначала по плите, а на заключительном этапе используют вспомогательные базы базирующей детали как эталон.

При шабрении важной является последовательность обработки поверхностей. Для придания требуемого относительного положения базам, входящим в комплект, первая должна быть окончательно обработана база, несущая большее число теоретических опорных точек, и взята за начало отсчета в дальнейшей обработке. В соответствие с этим шабрение направляющих станины станка нужно вести в последовательности, показанной на рис. 15.5.

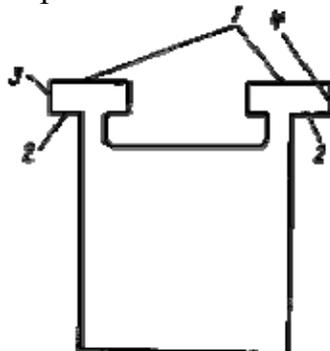


Рис. 15.5. Последовательность шабрения направляющих станины

Шабрением исправляют с высокой точностью все виды геометрических отклонений. Например, можно обеспечить плоскостность и прямолинейность поверхностей  $0,002$  мм на длине  $1000$  мм при шероховатости  $R_a = 0,1$  мкм.

**Притирка** – способ тонкой отделочной обработки, представляет собой процесс резания абразивными зёрнами, находящимися между поверхностями притира и детали.

Притирку применяют для получения точного размера и формы или для достижения плотного прилегания поверхностей, обеспечивающую гидравлическую непроницаемость соединения. Достигаемая точность размеров при притирки –  $0,1$  мкм (припуск не превышает  $0,03 - 0,05$  мм). Существуют два способа притирки (рис.15.6):

- одной детали по другой (притирка клапанов, пробок и другое);
- каждой из деталей по притиру.

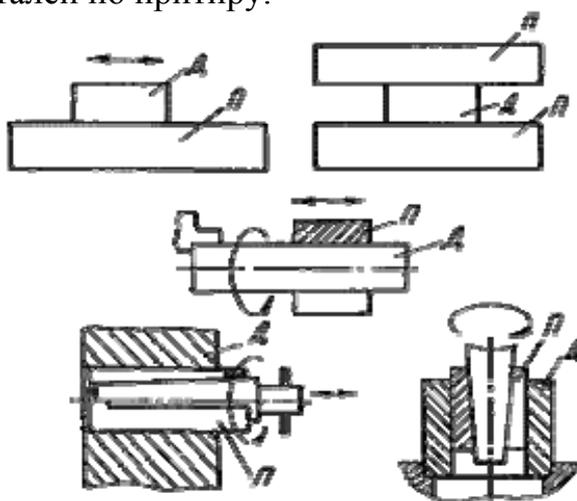


Рис.15.6. Способы притирки детали: П — притир; Д — деталь

Используется для доводки топливной и гидравлической аппаратуры, высокоточных деталей машин и приборов.

Притирами могут быть плиты, бруски, конусы, разрезные втулки и тому подобное, изготовленные из чугуна, стали или стекла.

Чугунные притиры применяются для притирки стальных деталей, стальные – для чугунных деталей, а стеклянные – для цветных металлов.

Притирочными материалами служат абразивные порошки или пасты различной зернистости. На начальном этапе размер зерен от 14...28 мкм; на заключительном – 5...10 мкм. При притирке обязательно используются смазывающие жидкости: машинное масло, олеиновая кислота, керосин, скипидар и др. Процесс ведут при давлении равном 0,1...0,15 МПа. Затем детали тщательно очищают от абразивного материала и промывают.

**Полирование** применяют только для уменьшения шероховатости. Удаляемый слой составляет 0,005...0,007 мм. Полирование осуществляется с помощью вращающихся эластичных кругов со скоростью 30...50 м/с, на поверхность которых наносят абразивную смесь с вяжущим веществом или полировочную мастику. Используются шпиндели быстроходных шлифовальных станков или сверлильных ручных машин, или специальные полировочные станки. Полирование вредное производство для здоровья человека.

**Сверления отверстий «по месту».** Встречается довольно часто конструкции СЕ, в которых обработка крепежных отверстий выполняется при их сборке (рис.15.7). Необходимость выполнения таких работ при сборке объясняется специфическими особенностями конструкции СЕ, когда для фиксации относительного положения двух соединяемых деталей требуется установка штифтов или установочных винтов, либо, когда в процессе изготовления детали невозможно или невыгодно обрабатывать крепежные отверстия в обеих соединяемых деталях.

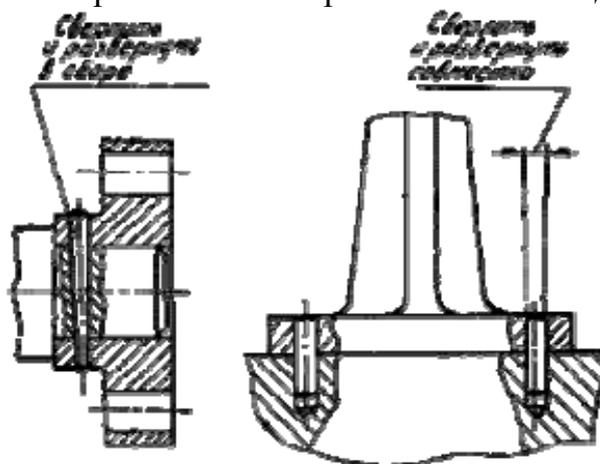


Рис.15.7. Сборочные единицы, нуждающиеся в обработке отверстий в процессе сборки

В мелкосерийном и единичном производствах распространены случаи сверления «по подметке». В этих случаях присоединяемую деталь устанавливают на место, через крепежные отверстия, имеющиеся в ней, размечают отверстия в базирующей детали, и удалив присоединяемую деталь, обрабатывают крепежные отверстия в базирующей детали.

## ЛЕКЦИЯ 16

### 16. Формирование свойств материала и размерных связей в процессе изготовления детали

Для того чтобы получить качественную деталь необходимо при ее конструировании и изготовлении решить две задачи:

1. обеспечить требуемые свойства материала детали;
2. обеспечить необходимую точность размеров, расстояний, относительных поворотов и формы поверхностей детали.

#### 16.1. Формирование свойств материала детали

Материал детали (чугун, сталь, цветной сплав, стекло, гранит и другое) выбирает конструктор исходя из служебного назначения детали, механических свойств материала, физических свойств материала, химических свойств материала, технологических свойств материала.

К **механическим свойствам** относятся временное сопротивление при растяжении и сжатие, предел текучести, относительное удлинение, структура остаточных напряжений и другие.

К **физическим свойствам** относятся удельный вес, плотность, модуль объемного сжатия, модуль Юнга, температура плавления, температура кристаллизации, теплопроводность, коэффициент линейного расширения, электрическое сопротивление.

**Химические свойства** материала, прежде всего, определяются его коррозионной стойкостью.

К **технологическим свойствам** относятся обрабатываемость резанием, обрабатываемость давлением, свариваемость, упрочняемость.

Требования к свойствам материала должны задаваться системой номинальных значений и допусками, ограничивающими отклонения показателей их номинальных значений.

На машиностроительных предприятиях детали машин изготавливают из полуфабрикатов. Полуфабрикатами в основном являются изделия металлургических предприятий: прокат; заготовки, полученные отрезкой из проката, литьем, пластическим деформированием, сваркой; металлические порошки и др.

При изготовлении детали заготовки подвергаются силовым, тепловым, химическим и другими воздействиями. Вследствие этого на каждом из этапов технологического процесса могут меняться химический состав, структура, зернистость материала заготовки, а, следовательно, механические свойства, физические свойства, химические свойства, состояние поверхностного слоя.

Переход от свойств материала заготовки к свойствам материала готовой детали может быть представлен схемой, приведенной на рис.16.1.

Таким образом, для достижения требуемых свойств материала детали необходимо учитывать следующее:

1. 1. строить технологический процесс изготовления детали так, чтобы обеспечить необходимые свойства материала детали наряду с ее геометрической точностью;

2. 2. исходя из требуемых свойств материала детали и с учетом изменения этих свойств в процессе изготовления, предъявить комплекс требований к материалу заготовки (например, жидкотекучесть, хорошая обрабатываемость);
3. 3. обеспечить соблюдение требований к материалу заготовки в технологическом процессе ее изготовления (литья,ковки,штамповки отрезки).

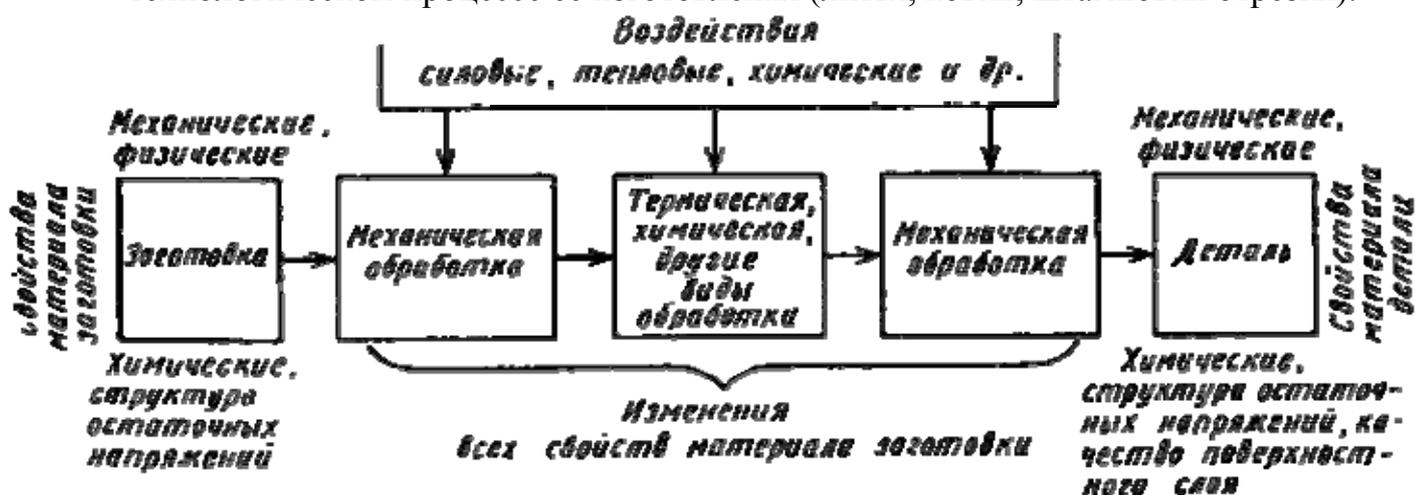


Рис.16.1. Переход от свойств материала заготовки к свойствам материала детали

Для того, чтобы осознанно выбрать технологический процесс получения заготовки и обеспечить необходимое качество материала детали в процессе ее, изготовления, необходимо знать как формируются свойства материала в процессе получения заготовки и в процессе изготовления детали.

Вид заготовки и способ ее получения выбирают с учетом ее последующей обработки на основе технико-экономического анализа.

На выбор заготовки влияет марка материала и конструкции детали (например, станина или вал). На выбор способа получения заготовки кроме материала и конструкции детали влияют размеры детали, требуемая точность размеров детали, качество поверхности заготовки, объем выпуска, тип производства, характер последующей механической и других видов обработки заготовки.

Например, заготовкой для зубчатого колеса может быть:

- а) заготовка, полученная одним из нескольких способов резки;
- б) поковка, полученная свободной ковкой в открытом штампе, в закрытом штампе, на ГКМ;
- в) отливка, полученная литьем в разовые формы (сырые, сухие), в кокиль, под давлением, центробежным и т.д.

Разные способы получения заготовок приводят к разным свойствам их материала. Структура и размер зерен материала отливки зависит от многих факторов: количества и свойства примесей в чистом металле или легирующих элементов в сплаве, температуры разлива, скорости охлаждения при кристаллизации, конфигурации, теплопроводности, состояния внутренних поверхностей литейной формы.

От структуры и зернистости материала отливки зависят его механические свойства.

Влияние примесей и легирующих элементов на свойства материала подробно изучаются в дисциплине «Материаловедение».

Свойства материала литой заготовки во многом зависят от ее конфигурации. Конструкция отливки должна создавать возможность одновременного или последовательно направленного затвердения ее частей. Нужно стремиться при проектировании к равномерным сечениям стенок или постепенному увеличению массивности стенок в предполагаемом направлении затвердения материала.

Неравномерность охлаждения различных частей отливок, сопротивление формы и стержней свободной усадки металла приводят к образованию трещин, усадочных раковин и остаточных напряжений.

Быстрое охлаждение тонких стенок приводит к «отбелу» поверхностей.

Пластическое деформирование материала, также сопровождается изменением его физико-механических свойств. При прокатке и ковке слитков металла происходит деформирование его дендритной структуры, зерна металла вытягиваются, и его механические свойства в продольном и поперечном направлениях становятся различными, что служит причиной снижения прочности заготовок и появления остаточных напряжений. При пластичном деформировании большое значение имеет температура нагревания. Нарушение теплового режима приводит к образованию трещин, крупнозернистой, дефектной структуре (перегретая сталь) и к неисправимому браку - пережогу (оплавлению и окислению металла по граница зерен). Если деформирование осуществляется без предварительного нагрева, то в металле происходит ряд явлений (возникают остаточные напряжения, разрушаются отдельные кристаллы), в результате которых деталь приобретет наклеп. Наклеп затрудняет пластическое деформирование и приводит к разрушению металла.

Для технологического процесса изготовления детали, большое значение имеет обрабатываемость материала резанием.

Обрабатываемость резанием – способность поддаваться обработке резанием, зависит, от химического состава материала заготовки, его структуры, зернистости, а также от свойств материала режущего инструмента.

К показателям обрабатываемости относятся сила резания (момент вращения) по сравнению с эталонным материалом (сталь 45); эффективная мощность, затрачиваемая на резание; склонность к наростообразованию на инструменте; интенсивность изнашивания инструмента; качество поверхностей (шероховатость, остаточное напряжение на поверхностном слое).

Значения показателей обрабатываемости конструкционного материала данного химического состава и структурного состояния определяются твердостью, пределом прочности, относительным удлинением, коэффициентом трения, свойством изнашивания лезвия инструментов, теплопроводностью и т.д.

Для уменьшения недостатков структуры материала в литых заготовках (особенно в стальных), а также в кованых и штампованных заготовках (крупнозернистого строения в результате перегрева и рано законченнойковки, наклепа, остаточного напряжения) заготовки подвергают термической обработке (отжигу и нормализации).

В результате термической обработки улучшают механические и технологические свойства материала. Формирование значения любого показателя свойств материала заготовки является случайным процессом. Поэтому неизбежные отклонения от номинальных значений необходимо ограничивать допусками. Однако назначение

допусков возможно лишь с учетом тех изменений, которые свойства материала претерпевают в процессе изготовления детали.

## **16.2. Воздействие механической обработки на свойства материала заготовок**

Воздействие механической обработки на свойства материала заготовок определяется действием сил. Теплоты и химических явлений, сопровождающих процесс формирования поверхностных слоев обрабатываемых поверхностей детали.

При обработке резанием под воздействием силы в поверхностном слое материала заготовки возникают упругие и пластические деформации. Пластическое деформирование материала сопровождается его упрочнением (наклепом) и изменением его механических, физических и химических свойств.

При точении степень наклепа увеличивается с ростом сил резания. Чему способствуют увеличение глубины резания и подачи, переход от положительных передних углов резцов к отрицательным, большие радиусы закругления и затупление резцов. Но в то же время изменение режимов обработки, приводящее к увеличению количества теплоты в зоне резания, создает условия для отдыха материала и снятия наклепа с поверхностного слоя.

Общие закономерности образования наклепа характерны для точения, фрезерования, шлифования и других механических способов обработки. Ориентировочное представление о степени и глубине наклепа при разных способах обработки можно получить из табл.16.1.

Таблица 16.1. Степень и глубина наклепа при разных способах обработки (по данным Э.В.Рыжова)

| <b>Вид обработки</b>   | <b>Степень наклепа, %</b> | <b>Глубина наклепа, мкм</b> |
|--|---------------------------|-----------------------------|
| Точение:<br>обычное и скоростное<br>тонкое   | 120—150<br>140-180        | 30-50<br>20-60              |
| Фрезерование:<br>торцовое<br>цилиндрическое  | 140-180<br>120-140        | 40-100<br>40-80             |
| Сверление и зенкерование   | 160-170                   | 160-200                     |
| Развертывание  | -                         | 150-200                     |
| Протягивание   | 150-200                   | 20-75                       |
| Зубофрезерование и зубодолбление   | 160-200                   | 120-150                     |
| Шевингование зубьев  | -                         | До 100                      |
| Шлифование:<br>круглое деталей из сталей:<br>незакаленной углеродистой<br>низкоуглеродистой<br>закаленной<br>плоское | 140-160<br>125-130<br>150 | 30-60<br>20-40<br>16-35     |

Интенсивность и глубина распространения наклепа зависит также от свойств материала заготовки во взаимосвязи со скоростью резания.

В процессе механической обработки в поверхностных слоях заготовки возникают остаточные напряжения, причинами которых являются различия условий в верхних и нижних слоях материала. Под воздействием режущего инструмента в поверхностном слое металла происходит пластическое деформирование. Изменения формы кристаллических зерен. Нагрев поверхностного слоя до высоких температур, структурные превращения. Эти явления могут сопровождаться изменениями в поверхностном слое плотности объема материала, переформирование кристаллических зерен, тепловыми деформациями. Изменениям состояния поверхностного слоя препятствуют нижележащие слои материала. В результате сложного взаимодействия явлений в поверхностных и нижележащих слоях материала возникают остаточные напряжения противоположных знаков (растяжение и сжатие).

Большое значение в формировании остаточных напряжений имеют химический состав материала и его склонность к структурным изменениям, пластичность, твердость. Упругость, теплопроводность и др. механические и физические свойства.

Прямое воздействие на свойства материала поверхностного слоя оказывает теплота, возникающая в зоне резания. Структурные изменения материала поверхностного слоя под воздействием теплоты могут быть различными при разных способах обработки и приводить к дефектам (прижогам, мелким трещинам и т.п.).

Температура в зоне резания влияет и на химический состав материала поверхностного слоя. Если температура нагрева поверхностного слоя превысит температуру плавления какого-либо компонента в сплаве металла, то это может привести к выгоранию легирующего компонента. Нагрев поверхностного слоя интенсифицирует окислительные процессы, происходящие в нем, и приводит к изменению его химического состава.

### **16.3. Влияние смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)**

В зависимости от состава действие СОЖ может быть: охлаждающим, смазывающим и повышающим эффективность процесса обработки.

Основное назначение СОЖ – охлаждение в процессе обработки режущего инструмента и заготовки. Снижение температуры в зоне резания осуществляется путем непосредственного теплообмена между режущим инструментом, заготовкой и СОЖ и через уменьшение сил трения инструмента по задней и передней поверхностям о заготовку и сходящую стружку.

В некоторые СОЖ добавляют поверхностно активные вещества, например олеиновую кислоту. Применение таких СОЖ, приводит к изменениям химического состава поверхностного слоя заготовки.

### **16.4. Обработка методами поверхностно-пластического деформирования (ППД)**

Методы ППД основаны на пластическом деформировании поверхностного слоя заготовки без снятия слоя материала и относятся к отделочным методам обработки, применяемым для повышения предела выносливости и износостойкости детали.

К методам ППД относят дорнирование, выглаживание, чеканку, дробеструйную обработку, накатывание (раскатывание), обработку стальными щетками. Все методы

ПД сводятся к силовому воздействию инструмента на обрабатываемую поверхность, вследствие чего происходит смятие гребешков микронеровностей, образование в поверхностном слое остаточных сжимающих напряжений, повышение механических свойств материала.

### **16.5. Воздействие на свойства материала заготовок термической и химико-термической обработок**

Основной задачей термообработки заготовок является изменение структуры и свойств их материала, направленные, чаще всего, на получение более мелкого зерна. Термической обработке подвергаются слитки, отливки, поковки, сварные соединения, заготовки, полученные из проката, а также детали, изготовленные из разнообразных металлов и сплавов.

Основными видами термической обработки заготовок из сталей являются **отжиг, нормализация, закалка и отпуск**.

**Отжиг** (нагрев до температуры выше  $A_{c3}$  на  $30-50^{\circ}C$  и охлаждение со скоростью  $100-200^{\circ}C/ч$  для углеродистых сталей и  $20-70^{\circ}C/ч$  – для легированных) заготовок из сталей проводят для снижения твердости, повышения пластичности и получения однородной мелкозернистой структуры.

**Нормализация** сообщает стали более высокую прочность, чем отжиг, из-за большей скорости охлаждения (после нагрева заготовку охлаждают на воздухе).

**Закалка** обеспечивает в заготовках из стали структуры наивысшей твердости (после нагрева охлаждение осуществляется погружением заготовки в воду или масло, имеющих температуру  $20-25^{\circ}C$ ).

**Отпуск** обеспечивает большую пластичность материала и снятие остаточных напряжений. В зависимости от температуры нагрева различают три вида отпуска: низкий (при  $120-250^{\circ}C$ ), средний (при  $350-450^{\circ}C$ ) и высокий (при  $500-680^{\circ}C$ ).

Комбинированную термическую обработку заготовок из конструкционных сталей, состоящую из полной закалки и высокого отпуска называют **улучшением**.

Получение требуемых свойств материала заготовки, подвергаемой термообработке, зависит от его химического состава, степени его однородности и чистоты, наличия остаточных напряжений, формы и размеров заготовки, правильного выбора и соблюдения режимов термообработки.

Химико-термическую обработку (ХТО) применяют для поверхностного упрочнения и противодействия влиянию на поверхность агрессивных сред. Наибольшее распространение в машиностроении получили процессы: **цементации, цианирования и азотирования**.

**Цементация** представляет собой процесс обогащения поверхностного слоя ( $0,5-2,2$  мм) низкоуглеродистой стали углеродом. Последующая закалка сообщает поверхностному слою высокую твердость (HRC 64...66) и вязкость сердцевины и повышает износостойкость и усталостную прочность детали. Цементацию осуществляют в твердом или газообразном карбюризаторе при температуре  $920-1050^{\circ}C$ . Обычно цементации подвергают не все, а лишь отдельные поверхности заготовок, поэтому нецементируемые поверхности должны быть изолированы. Существуют различные способы изолирования: омеднение, применение специальных обмазок, назначение припусков, удаляемых с заготовки после цементации до закалки. В последнем случае в технологическом процессе

изготовления детали на первых этапах обрабатывают поверхности заготовки, подлежащие цементации с припуском под обработку после закалки. Остальные поверхности либо не обрабатывают, либо обрабатывают с припуском в 1,5-2 раза превышающим заданную глубину цементированного слоя. После цементации защитные и цементированные слои с этих поверхностей удаляют, и заготовку направляют на закалку, в результате которой высокую твердость приобретут только цементированные поверхности.

**Цианирование** как и цементация повышает твердость поверхностного слоя, износостойкость и усталостную прочность. Процесс насыщения поверхностного слоя материала углеродом ведут при температуре 820-950° С с применением в качестве карбюризатора цианистых соединений (жидких, газообразных, твердых). Цианирование обеспечивает большую износостойкость, чем цементация из-за содержания в поверхностном слое азота.

**Азотирование** применяют для повышения твердости, износостойкости и предела выносливости деталей машин, изготавливаемых из легированных сталей и чугуна. До азотирования детали подвергают закалке и высокому отпуску, проводят чистовую обработку заготовки, а после азотирования – отделочную обработку (тонкое шлифование, притирку, доводку и т.п.). Насыщение азотом ведут при температуре 500-600° С в муфелях или контейнерах, через которые пропускают аммиак. Азотированию подвергают лишь отдельные поверхности, все остальные защищают гальваническим лужением. Азотирование более длительный процесс, чем цементация, требующий 50-60 ч выдержки, при толщине азотированного слоя, не превышающего 0,5 мм.

### **16.6. Обеспечение требуемых свойств материала детали в процессе изготовления**

Выбор материала и разработка конструкции должны вестись с учетом условий, в которых ей предстоит работать.

Основными причинами отказов деталей в работающей машине являются изнашивание, коррозия, перераспределение остаточных напряжений, приводящие к потере геометрической точности детали, а также усталостные явления в материале, и как следствие поломка детали.

Конструктор обычно указывает в чертежах марку стали, твердость, шероховатость.

Но эти требования не охватывают весь комплекс показателей, определяющих эксплуатационные свойства детали.

Механические, физические и химические свойства материальной детали достигают в процессе ее изготовления через химический состав, структуру его, зернистость, структуру остаточных напряжений, качество поверхностного слоя.

Связь между двумя группами пока в полном объеме не установлена (за исключением отдельных случаев) и является на сегодня важнейшей проблемой для материаловедов и технологов.

Источниками возможных отклонений свойств материала в технологическом процессе являются:

1. Неправильный выбор исходного материала и его дефекты.

2. Выбор способа получения заготовки (не обеспечивающего требуемую структуру, механические и химические свойства материала и возможность получения нужных свойств в технологическом процессе изготовления детали).

3. Дефекты заготовки, затрагивающие свойства ее материала.

4. Несоответствие свойствам материала последовательности, способов и режимов предварительной обработки заготовок (следствием чего является структура изменения материала, остаточные напряжения, трещины).

5. Несоответствие марке материала режимов ТО и ХТО (обезуглероживание, трещины).

6. Неправильный выбор способов и режимов отделочной обработки заготовок (закалка или отпуск, перенаклеп и шелушение и т.п.).

7. Остаточное напряжение в материале стали, вызывающее ее коробление.

## ЛЕКЦИЯ 17

### 17. 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.17.1). Однако непосредственно на них детали не устанавливают, а используют специальные детали или узлы (столы, патроны).

Помимо заготовки требуемое положение необходимо придать и режущему инструменту.

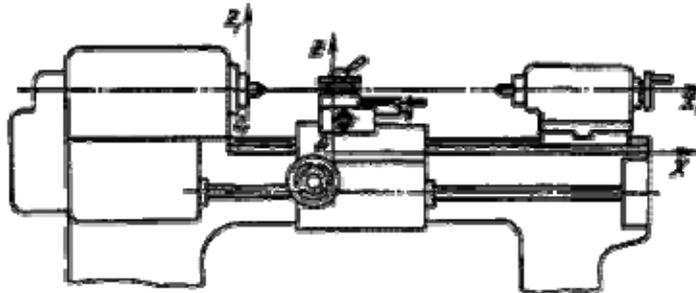


Рис.17.1. Система прямоугольных координат токарно-винторезного станка

Отклонения формы, поворота и расстояний являются следствием причин:

- отклонений в пространстве технологических баз заготовки  $(O_1, X_1, Z_1)$  и режущего инструмента  $(O_2, X_2, Z_2)$  от требуемого положения в системе станка  $(O, X, Z)$ ;
- 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  $A_s$  схематично представлено на рис.17.2.

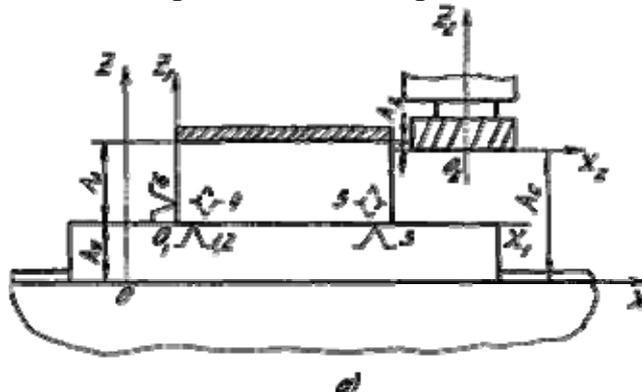


Рис.17.2. Связь трех этапов при выполнении операции

Уравнение размерной цепи имеет вид:

$$A_3 = -A_1 + A_2 + A_4,$$

где  $A_3$  – характеризует положение заготовки в системе  $OXYZ$ ,

$A_2$  – характеризует положение инструмента в системе  $OXYZ$ ,

$A_4$  – характеризует относительное отклонение в положении заготовки и фрезы, возникающее в процессе обработки.

Выполнение этапов операции сопровождается возникновением погрешностей и погрешность замыкающего звена  $A_3$  равна сумме погрешностей:

$$\Delta A_3 = \Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_4,$$

где

$\Delta A_1$  — погрешность статической настройки,

$\Delta A_2$  — погрешность установки,

$\Delta A_4$  — 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 ( $\Delta_3$ )**

Влияние на  $\Delta_3$  размеров поверхностей технологических баз. На рис.17.3 рассмотрена установка одной и той же детали на разные по размеру технологические базы. Анализ рисунка 17.3 показывает, что при одной и той же линейной ошибке (стружка), погрешность  $\Delta_3$  будет наименьшей, если в качестве установочной базы использовать поверхность наибольших габаритных размеров. Действительно,  $\Delta_1 < \Delta_2 < \Delta_3$ .

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.

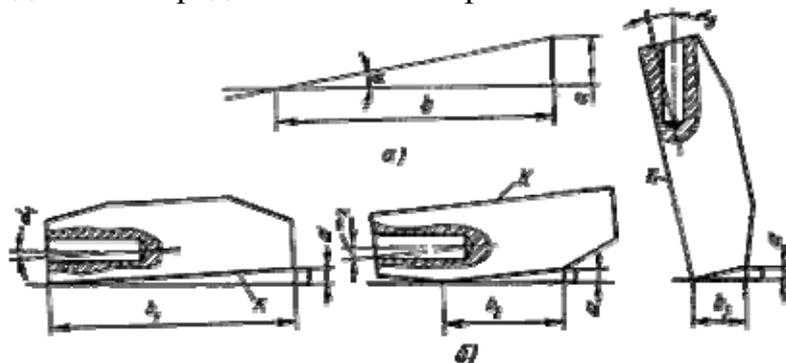


Рис.17.3. Зависимость погрешности установки от размеров поверхностей технологических баз

Неопределенность может вызываться: случайностью подбора и местонахождения точек контакта заготовки и базующих поверхностей станка из-за отклонений формы контактирующих поверхностей (рис.17.4); неполным контактом заготовки с базующими элементами приспособления; деформированием заготовки в процессе закрепления и обработки; недостаточностью сил закрепления.

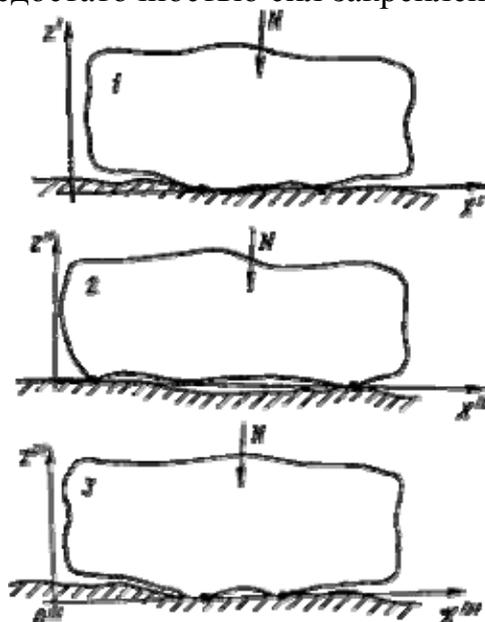


Рис.17.4. Случайное расположение точек контакта заготовки с базующими элементами станка или приспособления

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.17.5).

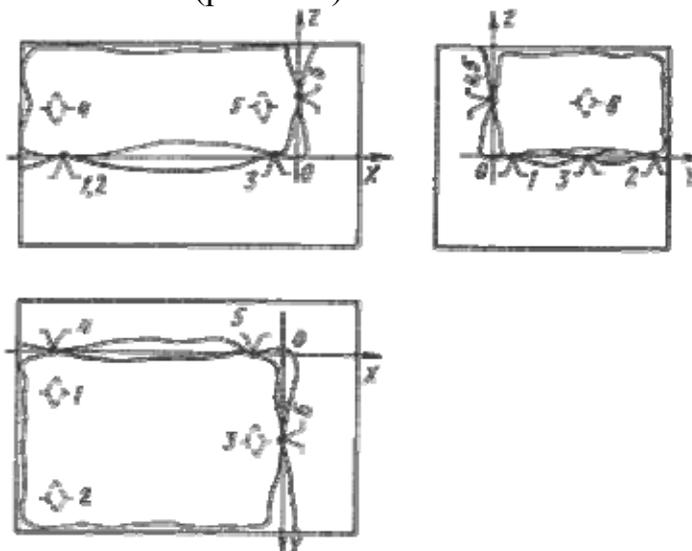


Рис.17.5. Требования к отклонениям формы поверхностей технологических баз

Случайность подбора точек контакта существенно уменьшается, если в приспособлении предусмотреть специальные опоры для базирования заготовки (рис.17.6), устанавливаемые в соответствии с требованиями, предъявляемыми к размерам технологических баз.



Рис.17.6. Опоры (а) и их установка (б) в приспособлении

Закрепление заготовки может привести к ее деформированию и смене точек контакта (рис.17.7).

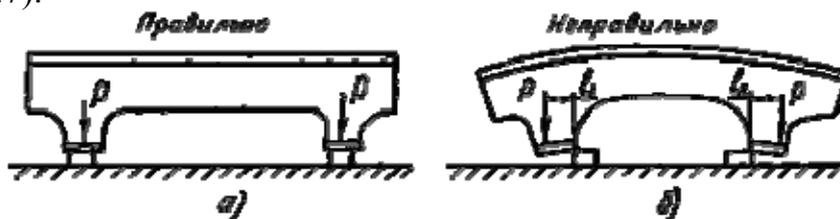


Рис.17.7. Влияние приложения силового замыкания на  $\alpha_1$

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.17.7 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.17.8).

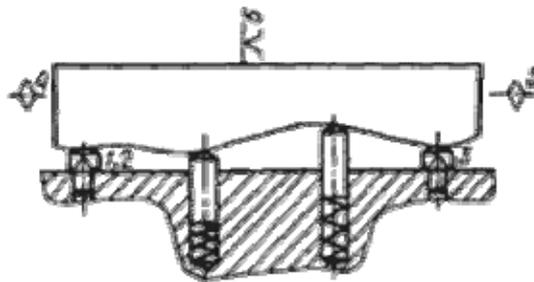


Рис.17.8. Повышение жесткости заготовки за счет использования дополнительных опор

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.17.9), конструктивные дефекты и изношенность приспособлений, нарушение правил приложения силового замыкания.

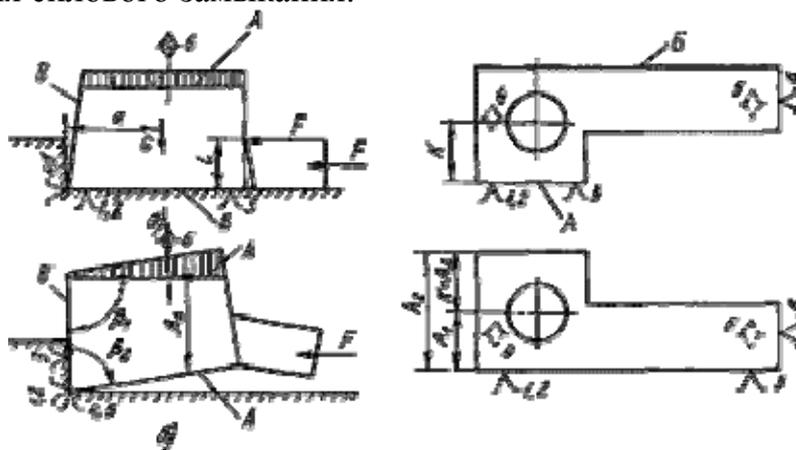


Рис. 17.9. Смена баз у заготовок: а) неорганизованная, б) организованная

Например. Поверхность В заготовки, изображенной на рис.17.9а, 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:

$$T_A = T_A + T_A; \Delta_{0,2} = -\Delta_{0,1} + \Delta_{0,3}.$$

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.17.10) точность размеров  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $\gamma$  не будет зависеть от погрешности установки заготовки.

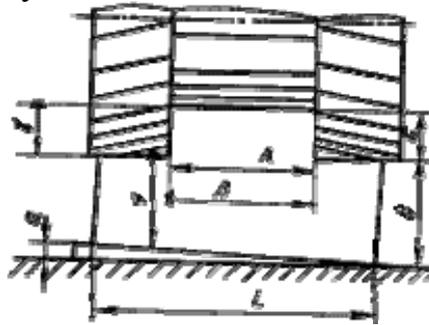


Рис.17.10. Обработка заготовки с соблюдением принципа единства баз

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.17.11).

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

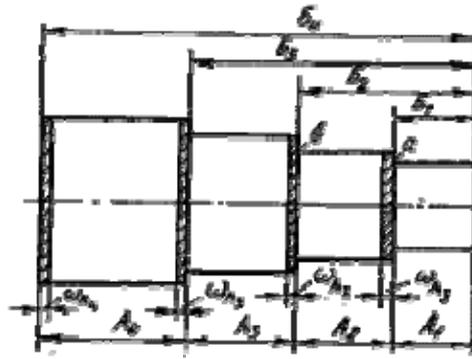


Рис.17.11. Получение размеров  $A_i$  цепным методом

Недостатком цепного метода является то, что погрешность координатного звена включает в себя погрешности стольких цепных звеньев, сколько образует это звено. Например, координатные звенья и их погрешности определяются по следующим зависимостям.

$$B_1 = A_1 \rightarrow \Delta B_1 = \Delta A_1,$$

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

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

Сущность координатного метода заключается в том, что все размеры (повороты) получают и измеряют от одной и той же базы (рис.17.12).

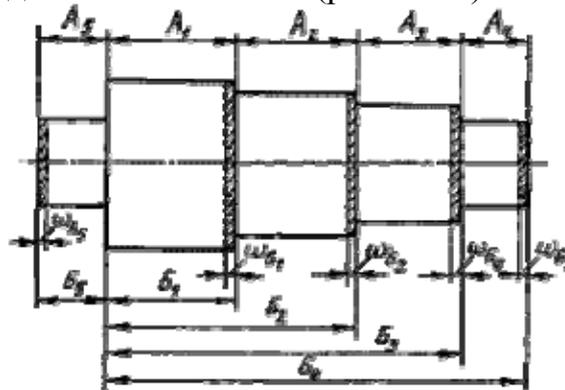


Рис.17.12. Получение размеров  $B_i$  координатным методом

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:

$$A_1 = B_1 \rightarrow \Delta A_1 = \Delta B_1$$

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

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

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

## ЛЕКЦИЯ 18

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

#### 18.1. 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  $A_{ср}$ :

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

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

$A_c = A_p - A_d$  в зависимости от знака  $A_d$  (рис.18.1).

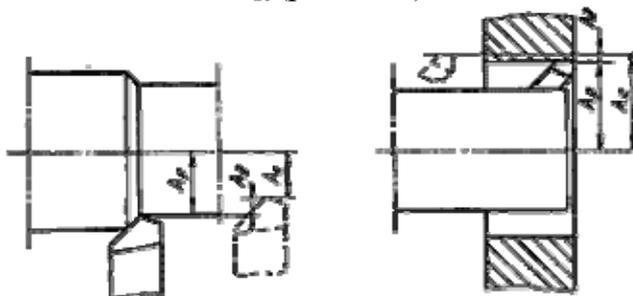


Рис. 18.1 Определение размера статической настройки

Трудность настройки заключается в том, что заранее неизвестно отклонение ( $\Delta_d$ ) 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  $A_p$  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 ( $\sigma_T$ ) 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.18.2 а):

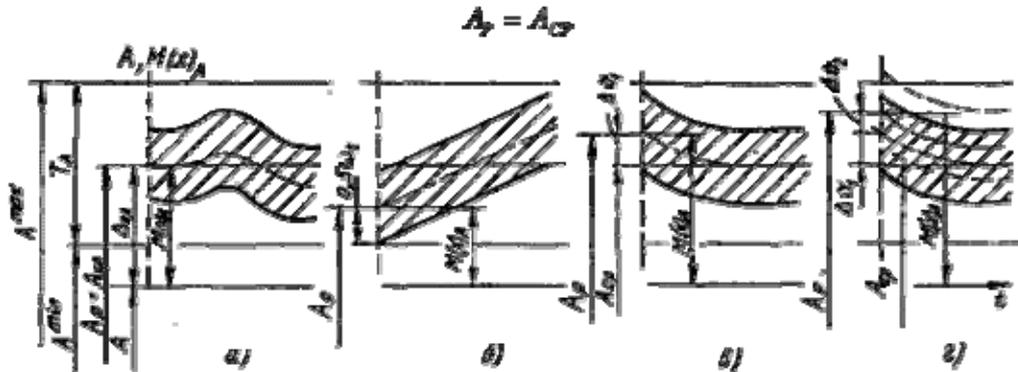


Рис.18.2. Определение  $A_p$  для настройки на обработку партии детали

Если в процессе обработки заготовок доминирует размерный износ, то рабочий настроечный размер определяется для охватывающих размеров:  $A_p = A_{max} + 0.5\sigma_T$ , а для охватываемых -  $A_p = A_{min} - 0.5\sigma_T$  (рис.18.2 б).

Если доминирующими являются тепловые деформации, то рабочий настроечный размер определяется (рис.18.2 в, г):  $A_p = A_{cp} + \Delta_{\sigma_T}$ .

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:

$$A_p = A_{min} + a + 0.5\sigma_T,$$

где  $A_{min}$  - наименьший предельный размер;

$a$  - часть поля допуска, выделенная на случай возникновения, погрешности станка  $\Delta_{\sigma_T}$  (рис.18.3).

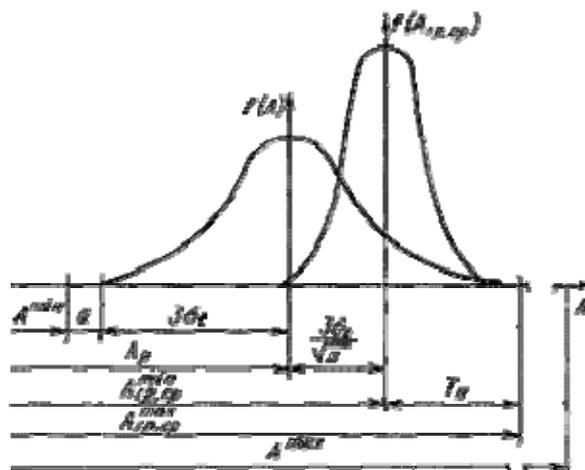


Рис.18.3. Настройка технологической системы

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:

$$\sigma_{гр.ср.} = \frac{\sigma_1}{\sqrt{n}}$$

(где  $\sigma_{гр.ср.}$  - среднее квадратичное отклонение групповых средних величин;  $\sigma_1$  - среднее квадратичное отклонение случайных значений размера  $A$ , возможных в пределах  $\sigma_2 = 6\sigma_1$ ;  $n$  – число деталей, составляющих группу) появляется возможность судить о действии систематических факторов (рис.18.4). При настройке технологической системы необходимо обеспечить получение всех деталей годными, поэтому нижнее предельное значение должно определяться по формуле:

$$A_{гр.ср.}^{н.з.} = A^{н.з.} + \sigma + 3\sigma_1 + \frac{3\sigma_1}{\sqrt{n}}$$

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

$$A_{гр.ср.}^{в.з.} = A_{гр.ср.}^{н.з.} + T_A$$

**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.18.5 а).

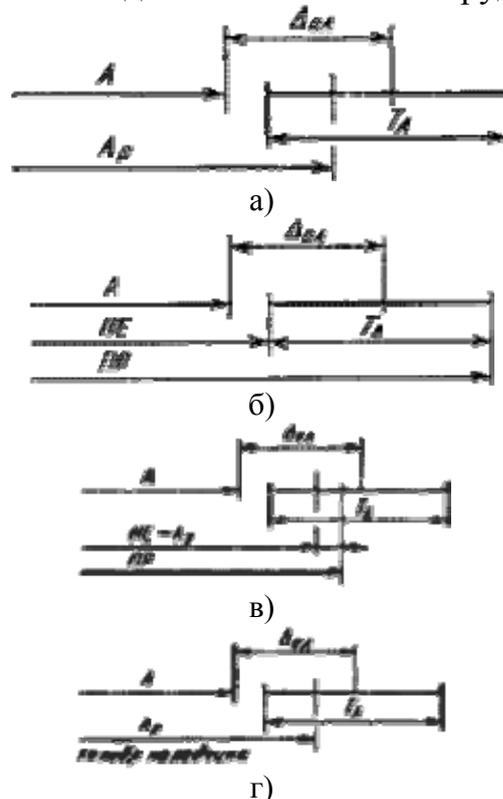


Рис. 18.5 Методы настройка технологической системы по пробным деталям

2.Настройка **по жестким предельным калибрам** (рис.18.5 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.18.5 в). При этом методе наладчик использует специальные калибры, охватывающие допуск на погрешность настройки технологической системы. В этом случае наладчик в состоянии придать требуемое положение, и качественно настроить станок.

4.Настройка **по наблюдению за знаками отклонений** (рис.18.5.г). Наладчик использует калибр, размер которого равен  $\Delta$ . Настройку начинают с получения минусового и плюсового отклонений размеров деталей от размера  $\Delta$ . 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.18.6 а) представляет собой профиль детали, который изготовляют в виде отливки или сварной конструкции небольшой толщины. Рабочие поверхности защищают калеными накладными пластинками.

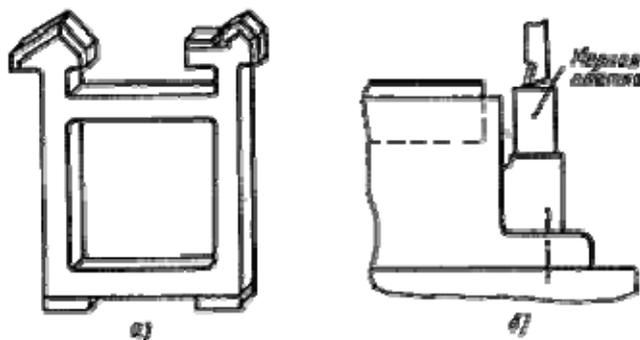


Рис.18.6. Средства, облегчающие настройку станка

При изготовлении деталей простых форм иногда для настройки используют плоскопараллельные меры, которые устанавливают на специальные площадки приспособлений (рис.18.6 б).

Для защиты поверхностей используются щупы 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.

## 18.2. 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  $A_{гр,ср}$ , сопоставляют с допуском и отображают на диаграмме групповых средних размеров (рис.18.7). На диаграмме нанесены границы поля допуска на выдерживаемый размер  $A_i$  и контрольные границы, которые не должны переступать значения  $A_{гр,ср}$  размеров. Достижения значения  $A_{гр,ср}$  одной из контрольных границ служит сигналом для поднастройки. Технологические системы поднастраивают с использованием различных методов достижения точности.

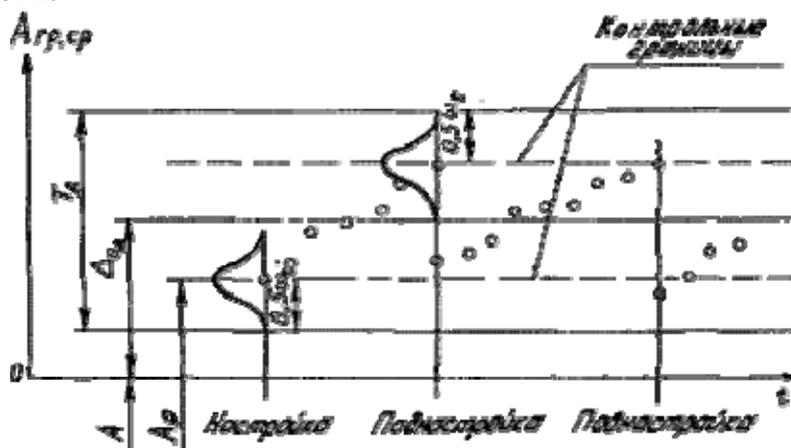


Рис.18.7. Групповые средние размеры

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  $A_i$  в процессе настройки или поднастройки выполняется несколько ходов. Припуск  $A_2$  в данном случае является компенсатором (рис.18.8).

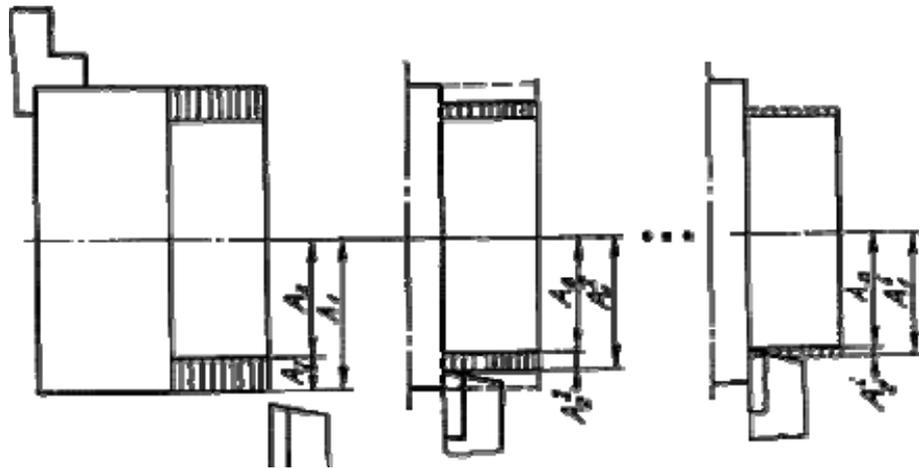


Рис.18.8. Настройка по методу пробных проходов

### 18.3. Происхождение и сокращение динамической настройки ( $\phi_2$ ) 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 уравнивают 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:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \text{ и } P = \sqrt{(C_{P_x} X_{2x} S^{2x} K_M^{2x})^2 + (C_{P_y} X_{2y} S^{2y} K_M^{2y})^2 + (C_{P_z} X_{2z} S^{2z} K_M^{2z})^2},$$

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  $\Delta_p$ . Схематично связь точности детали со свойствами заготовки представлена на рис.18.9.

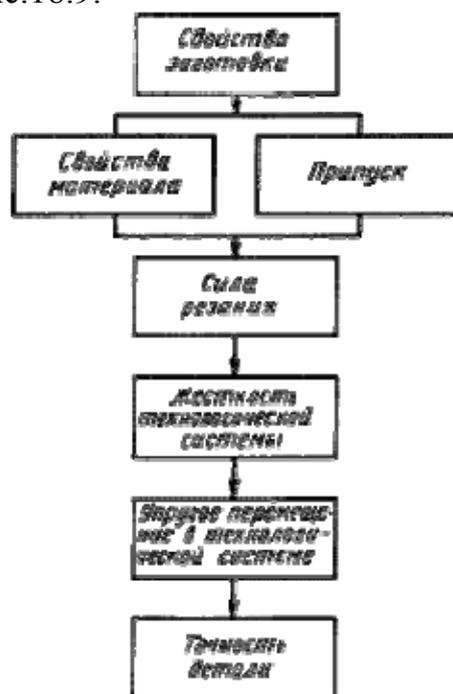


Рис.18.9. Связь точности детали со свойствами заготовки

## ЛЕКЦИЯ 19

### 19. Жесткость технологической системы

Исследования жесткости материала режущих станков и их узлов были начаты К.В.Вотиновым в 1936 году. Предложено было под жесткостью понимать: «Способность узла сопротивляться появлению упругих отжатий» и измерять ее отношением приращения нагрузки к получаемому при этом приращению упругого отжатия:

$$J = \frac{\Delta P}{\Delta \alpha},$$

где  $\Delta P$  - приращение нагрузки, а  $\Delta \alpha$  - приращение упругого отжатия. При исследовании использовалась схема, приведенная на рис. 19.1 а.

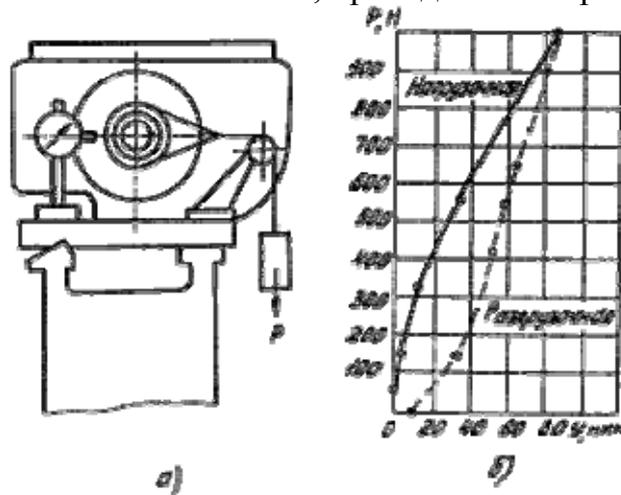


Рис.19.1. Нагрузка шпинделя станка (а) и его перемещения (б)

По мере увеличения груза, подвешенного на тросе, с помощью индикатора определялось перемещение шпинделя. Полученные данные заносились на график, и строилась нагрузочная ветвь характеристики (рис.19.1 б) жесткости узла. Затем, постепенно уменьшая нагрузку, фиксировались данные для построения разгрузочной ветви. Площадь образовавшейся петли гистерезиса представляет собой работу, затраченную на преодоление сил трения, контактных деформаций и т.п. В последующие годы исследованию жесткости станков было посвящено много работ. Так Б.С.Балакшиным было дано объяснение явлений, приводящих под действием силы  $P$  к перемещению точки  $A$  подвижной детали 1 относительно неподвижной детали 2 (рис.19.2). Сначала под действием силы  $P$  происходит перемещение детали 1 до соприкосновения с деталью 2. Дальнейшее увеличение силы  $P$  приводит последовательно к возникновению контактных деформаций на участке контакта; опрокидыванию детали 1; контактному деформированию стыка и, наконец, собственному деформированию деталей 1 и 2. Все изменения сопровождалось перемещением точки  $A$ . График, фиксирующий нагрузку и, вызванные ею перемещения (рис.19.2), является характеристикой жесткости комплекта из двух деталей. При первых исследованиях жесткости столкнулись с двумя непонятными явлениями, которые были названы бесконечная жесткость и отрицательная жесткость.

В общем случае относительное перемещение точек будет представлять собой сумму перемещений, происходящих из-за наличия зазоров в стыках, поворотов, контактных и собственных деформаций деталей соединения.

Поэтому, если пользоваться общепринятым понятием жесткости, как способностью узла или технологической системы оказывать сопротивление перемещению выбранных точек в направлении действия силы, порождающей это перемещение, необходимо найти такую силу, которая действовала бы по нормали к поверхностям деталей, которым принадлежат избранные точки.

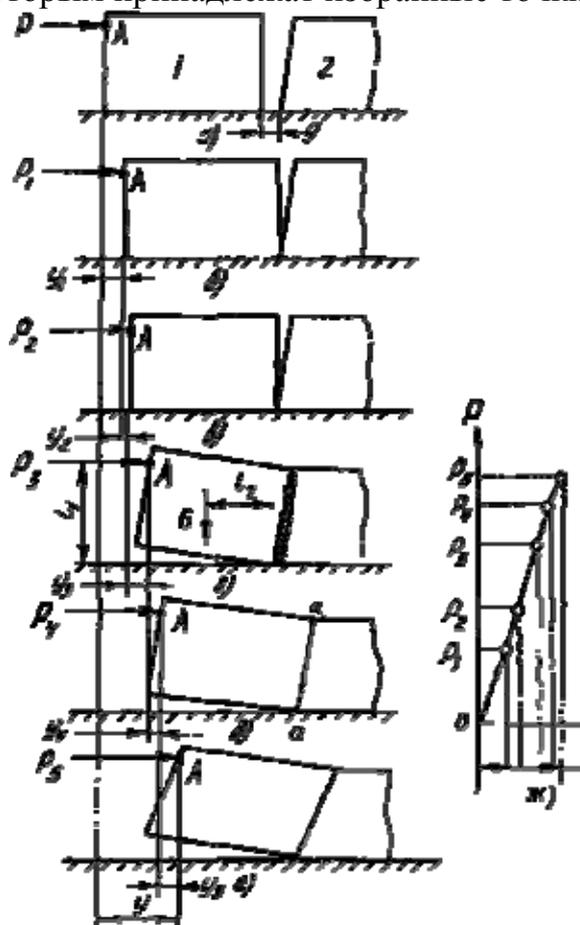


Рис.19.2. Схема перемещения точки  $A$  детали под действием силы  $P$

Б.С. Балакшиным было введено понятие **эквивалентной силы** – силы момент, которой равен сумме моментов действующих сил.

Например, применительно к суппорту токарного станка – момент эквивалентной силы будет равен сумме моментов силы  $P$  резания и силы  $G$  тяжести суппорта, действующих относительно мгновенного полюса  $O$  поворота суппорта.

Под **мгновенным полюсом** поворота понимают точку, относительно которой осуществляется мгновенный поворот СЕ и детали (рис.19.3).

От знака эквивалентной силы зависит направление ее вектора. Если за положительное направление принять действия моментов сил, указывающее поворот суппорта относительно точки  $O$  против часовой стрелки, то в случае, показанном на рис.19.3 а, эквивалентная сила оказывается положительной и резец будет перемещаться в сторону заготовки. В случае, показанном на рис.19.3 б, направление эквивалентной силы окажется противоположным, и резец будет перемещаться от

заготовки. Значения эквивалентных сил, применительно к рассмотренным случаям, представляют собой:

$$P_3 = (Pl_1 + Clm) / l_2$$

$$P_3 = (-Pl_1 + Clm) / l_2$$

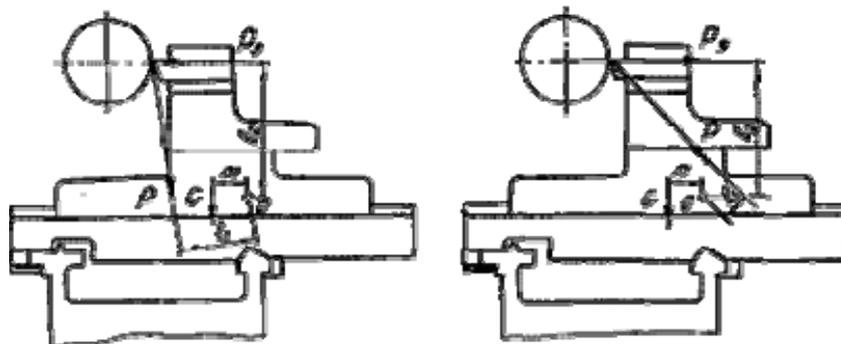


Рис.19.3. Зависимость направления действия эквивалентной силы от знака ее момента относительно мгновенного полюса поворота

Использование понятия эквивалентной силы объясняет непонятные явления, получившие название «отрицательной» и «бесконечной» жесткости.

Жесткость технологической системы переменна. Значения характеристик жесткости станка в статическом состоянии и во время его работы не одинаковы. Таким образом:

1. Под жесткостью СЕ и технологической системы следует понимать их способность оказывать сопротивление перемещению выбранной точки в направлении действия силы, порождающей это перемещение.

2. Жесткость следует измерять отношением:

$$j = \frac{\Delta P_2}{\Delta y}$$

3. Жесткость является случайной величиной и не может быть отрицательной или бесконечно большой.

4. Условия измерения жесткости требуют строгой регламентации – указания координат точек измерения, приложенных нагрузок,  $l^0$  и т.д.

5. Величина обратная жесткости, получила название податливости:

$$\vartheta = \frac{1}{j} [\text{mm/H}].$$

это способность СЕ или технологической системы изменять относительное положение двух избранных точек под воздействием приложенной силы в направлении ее действия.

Вследствие рассеяния значений припусков и характеристик свойств материалов заготовок (например, твердости) значения силы резания будут также рассеиваться от  $P_{\text{max}}$  до  $P_{\text{min}}$ . Если при этом учесть, что значения жесткости технологической системы случайны и подлежат рассеянию от  $j^{\text{max}}$  до  $j^{\text{min}}$ , то, даже при стабильном рассеянии значений силы резания, значения поля  $\vartheta$ , рассеяния упругих перемещений и координаты  $\Delta_{\text{ср}}$  его середины не будут оставаться постоянными. Изменения характеристик рассеяния упругих перемещений в связи с изменением состояния

технологической системы показаны на рис.19.4. Поле  $\sigma_j$  представляет собой рассеяние значений жесткости технологической системы.

При изготовлении в больших количествах одноименных деталей одновременно с жесткостью технологической системы, могут изменяться и значения характеристик рассеяния припусков и твердости. Такие изменения повлекут за собой изменения значений сил резания, что отразится на поле  $\sigma_j$ , рассеяния упругих перемещений и координате  $\Delta_{\sigma_j}$  его середины и приведет к изменению точности деталей.

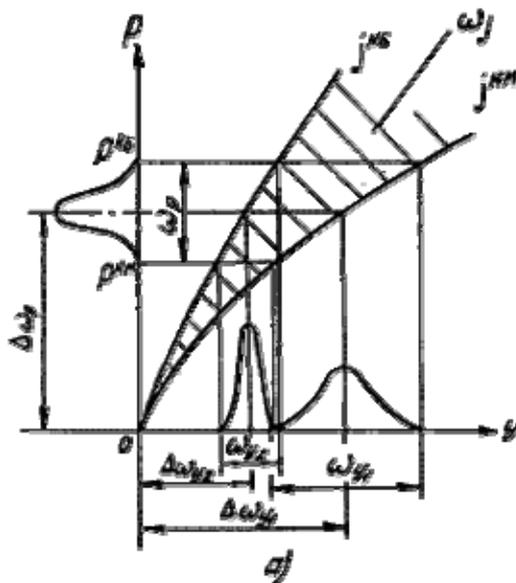


Рис.19.4 Зависимость значения и положения поля рассеяния упругих перемещений от жесткости технологической системы

Например. Если при стабильной жесткости технологической системы в обработку запустить новую партию заготовок валов, у которых при том же поле рассеяния припусков, что и в предыдущей партии среднее значение припусков окажется большим, то это приведет к изменению значения координаты  $\Delta_{\sigma_j}$  середины поля рассеяния значений силы резания (рис.19.5а), а следовательно и координаты  $\Delta_{\sigma_j}$  середины поля рассеяния упругих перемещений. На точечной диаграмме (рис.19.5 б) произойдет смещение центра группирования  $M(x)$  размеров шеек валов, т.е. произойдет смещение мгновенного поля рассеяния ( $\sigma$ ) без заметного изменения его значения. Аналогичной была бы картина и при изменении среднего значения твердости заготовок.

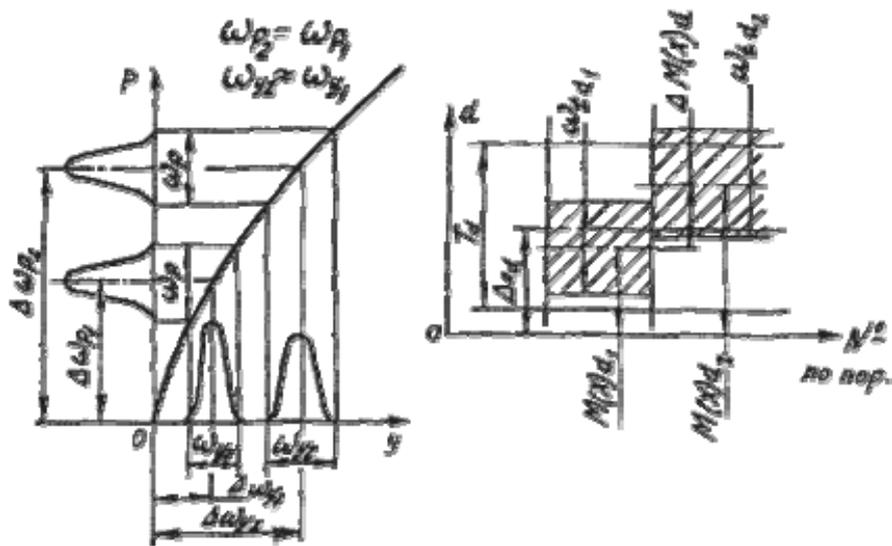


Рис.19.5. Проявление на точечной диаграмме изменения среднего значения припуска (твердости) у заготовок

По-другому на точечной диаграмме отразится увеличение поля рассеяния значений твердости (припусков) заготовок при сохранении ее среднего значения (рис.19.6).

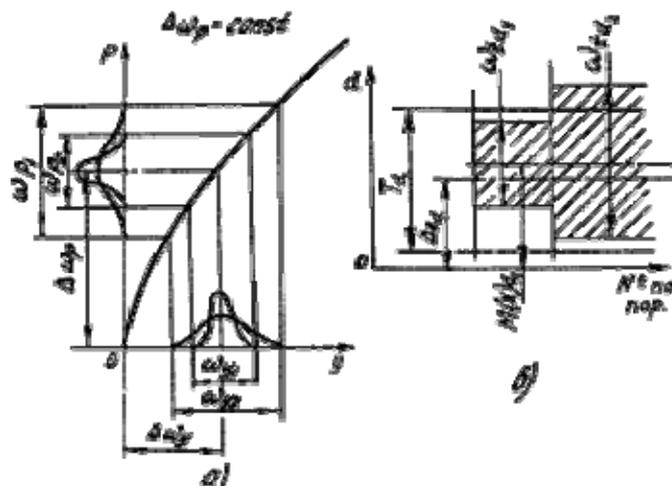


Рис.19.6 Проявление на точечной диаграмме изменения поля рассеяния твердости (припуска) заготовок

Увеличение поля рассеяния значений твердости (припуска) заготовок вызовет увеличение поля рассеяния значений силы резания, которое, в свою очередь, вызовет увеличение поля рассеяния упругих перемещений и, в конечном счете, приведет к расширению мгновенного поля рассеяния размера валов.

Неравномерный припуск, снимаемый с поверхности заготовки, неоднородные свойства материала в различных частях заготовки, неодинаковая жесткость технологической системы при обработке заготовки в разных ее сечениях приводят к отклонениям формы обработанной поверхности детали. Например, удаление неравномерного припуска с поверхности заготовки (рис.19.7) вызовет отклонения формы обработанной поверхности в продольном сечении детали, в определенной мере повторяющие форму поверхности заготовки.

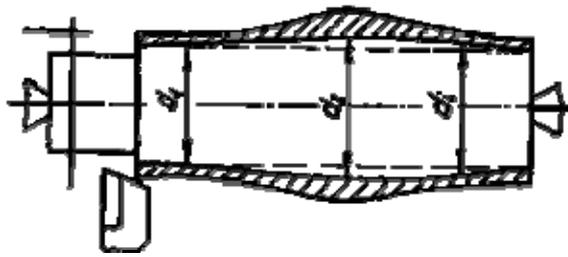


Рис.19.7. «Копирование» формы заготовки в продольном направлении

При обработке заготовки нежесткого вала (рис.19.8 а), установленной в центрах (передний центр рифленый) токарного станка, причинами отклонений формы поверхности вала в продольном сечении будет являться переменная жесткость технологической системы по мере перемещения инструмента от задней к передней бабке станка. В сечении заготовки, отстоящем от переднего центра на расстоянии  $x$ , упругое перемещение в технологической системе под воздействием эквивалентной силы  $P$ , складывается из перемещений центров станка ( $y_0$ ), самой заготовки из-за ее деформации ( $y_3$ ), суппорта ( $y_2$ ) и резца ( $y_1$ ):

$$y = y_0 + y_1 + y_2 + y_3$$

Каждое из слагаемых приведенного уравнения может быть определено. Например. По аналогии с перемещением жесткой балки на двух упругих опорах можно определить  $y_0$ :

$$y_0 = \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \frac{P_1}{j_{\text{п.п}}} + \left(\frac{x}{l}\right)^2 \frac{P_1}{j_{\text{з.п}}},$$

где  $j_{\text{п.п}}$  — жесткость переднего центра;

$j_{\text{з.п}}$  - жесткость заднего центра.

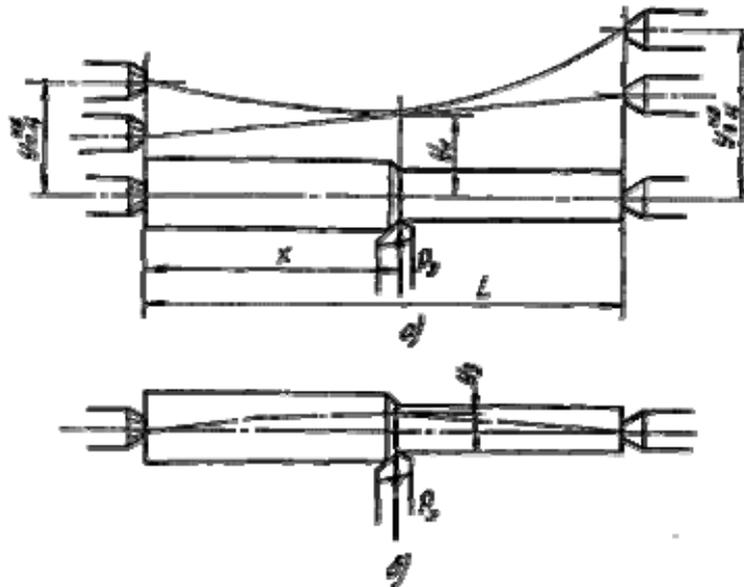


Рис.19.8.Образование упругих перемещений в технологической системе при обработке заготовки нежесткого вала

Прогиб вала в месте приложения силы  $P_1$ :

$$y_1 = \frac{P_1 x^2 (L-x)^2}{3EJL},$$

где  $E$  - модуль упругости материала заготовки;  $J$  - момент инерции сечения заготовки.

На всей длине вала отклонения  $y_4$  и  $y$ ; будут дополняться упругими перемещениями суппорта и деформациями резца.

Таким образом, упругое перемещение в технологической системе на расстоянии  $x$  от передней бабки может быть представлено:

$$y = \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \frac{P_1}{J_{14}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{P_2}{J_{14}} + \frac{P_1 x^2 (L-x)^2}{3EJL} + \frac{P_1}{j_c} + \frac{P_2}{j_f}.$$

Погрешности формы поверхности детали могут быть вызваны и другими причинами, связанными с действием сил и жесткостью технологической системы. Жесткость технологической системы существенно влияет не только на точность изготовления деталей, но и на производительность процесса обработки. Стремясь удержать рассеяние упругих перемещений в допустимых пределах, ограничивают колебания силы резания путем снижения режимов резания и увеличением числа рабочих ходов, т.е. с большими затратами времени на обработку.

Повышение жесткости технологической системы является одним из средств сокращения погрешности  $\Delta$ , динамической настройки и увеличения производительности обработки. Существуют следующие основные пути увеличения жесткости технологических систем.

1. Повышение собственной жесткости конструкции станков, приспособлений и режущего инструмента за счет сокращения числа звеньев в конструкторских размерных цепях, большей жесткости самих деталей и применения устройств, обеспечивающих предварительный натяг наиболее ответственных элементов технологической системы.
2. Обеспечение максимально достижимой жесткости станка, приспособлений и инструментов в процессе их изготовления. Особое внимание нужно уделять контактной жесткости поверхностей стыков деталей и качеству сборки элементов технологической системы.
3. Сокращение числа составляющих звеньев в размерных цепях технологических систем. Такого сокращения можно достичь. Применяя приспособления, исключая или уменьшающие влияние податливости станка на точность изготавливаемой детали.
4. Повышение жесткости заготовки путем применения дополнительных опор, в частности, люнетов.
5. Правильные условия и режимы эксплуатации технологической системы.
6. Систематический надзор за оборудованием и восстановление его первоначальной жесткости регулированием зазоров в подвижных соединениях. Шабрением трущихся и износившихся поверхностей, периодический ремонт.
7. Многообразие факторов, влияющих на жесткость технологической системы, не позволяют установить ее расчетным путем. Обычно жесткость технологической системы определяют эмпирическими методами.

## ЛЕКЦИЯ 20

### 20. Вибрации технологической системы

Технологическая система с ее упругими свойствами и процессами резания, трения, процессами, протекающими в приводах, представляют собой сложную и замкнутую динамическую систему. Ее замкнутость обуславливается связями между звеньями системы, благодаря которым всякое воздействие на систему извне или возникшее в ней воспринимается всей системой. Часты случаи, когда процесс спокойного резания нарушается, звенья системы начинают совершать колебательные движения, не предусмотренные схемой обработки. Установившиеся колебания значительной частоты, называют **вибрациями**.

С возникновением вибрации колеблются станок, приспособление, инструмент и заготовка, в результате на поверхности заготовки возникают волны, повышаются значения параметров шероховатости. Вибрации сопровождаются характерным шумом, снижением стойкости инструмента, и даже нарушением соединений деталей станка и приспособления. Возникновение вибраций снижают производительность процесса обработки, т.к. заставляет работать на пониженных режимах.

Различают два вида вибраций: **вынужденные** и **автоколебания**.

Причинами **вынужденных** вибраций обычно являются колебания, передаваемые извне; динамическая неуравновешенность быстро вращающихся деталей станка, режущего инструмента или заготовки; дефекты передач в станке; наличие зазора между деталями; прерывистый характер резания и т.п. Во всех этих случаях возникновение вибрации легко объяснимо, т.к. налицо источник вибрации.

В отличие от вынужденных колебаний **автоколебания** представляют собой незатухающие колебания, вызываемые переменной силой, действующей в осуществляемом процессе. Автоколебания возникают в процессе резания при определенных условиях и продолжаются пока эти условия не будут изменены или не прекратится процесс резания.

При исследовании автоколебаний используется механическая модель технологической системы, представленная на рис.20.1.

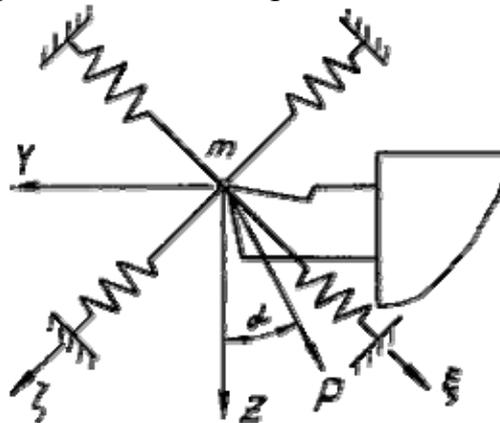


Рис.20.1. Механическая модель технологической системы с упругими связями

В этой модели заготовку рассматривают как абсолютно твердое тело, имеющее равномерное вращательное движение. Весь колебательный процесс связан только с перемещением резца. Массу  $m$  колеблющейся системы рассматривают

сосредоточенной на вершине резца. Упругие связи схематично представлены в виде пружин, на которых подвешена масса. Пружины направлены по главным осям  $\xi$  и  $\zeta$  жесткости системы. Сила  $P$  резания направлена под углом  $\alpha$  к оси  $Z$ .

В процессе работы резец, выведенный какой-либо причиной из состояния равновесия, начинает колебаться в двух направлениях. Его вершина перемещается относительно заготовки по замкнутой траектории, близкой к эллипсу (рис.20.2 а). При движении резца в направлении действия силы от точки 1 к точке 4 глубина резания, а следовательно, и сила резания будут больше, чем при движении резца в направлении противоположном действию силы. На рис. 20.2 б показаны перемещения вершины резца, вызываемые изменениями силы резания.

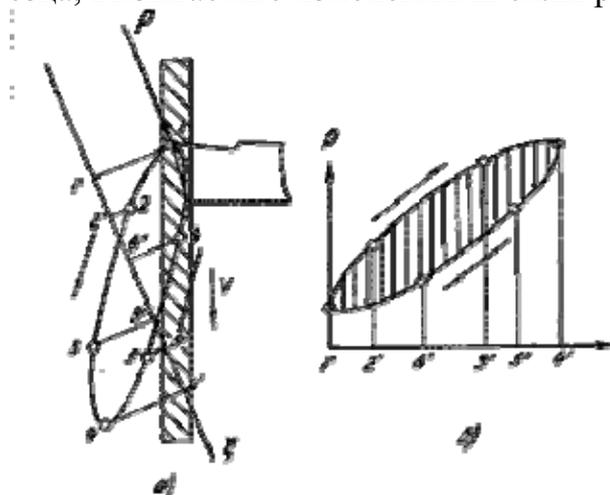


Рис. 20.2. Траектория перемещения вершины резца (а) и изменение силы резания за один цикл колебаний (б)

Движения вершины резца, рассматриваемой модели описывается системой уравнений:

$$\begin{aligned} m\ddot{Z} + k_z\dot{Z} + C_z Z + C_{ZY} Y &= P \cos \alpha; \\ m\ddot{Y} + k_y\dot{Y} + C_y Y + C_{YZ} Z &= -P \sin \alpha \end{aligned}$$

где  $m$  – масса колеблющейся системы, приведенной к вершине резца;

$k_y$  и  $k_z$  – коэффициенты, учитывающие силы сопротивления;  $C_y$ ,  $C_z$  – коэффициенты жесткости, показывающие отношения сил, приложенных к массе, к порождаемым ими перемещениям;  $C_{YZ}$ ,  $C_{ZY}$  – коэффициенты дополнительных упругих связей, налагаемых на массу и препятствующих ее смещению по другой оси координат по принципу взаимозаменяемости,  $C_{YZ} = C_{ZY}$ ;  $P$  – сила резания;  $\alpha$  – угол между направлением силы резания и осью  $Z$ .

Решая эту систему уравнений, можно получить значения параметров, определяющих движение резца в процессе вибраций. Это движение представляет собой сумму двух колебательных движений, сдвинутых по фазе в направлении осей  $Y$  и  $Z$ :

$$\begin{aligned} y &= A_y \sin \omega t; \\ z &= A_z (\sin \omega t - \varphi), \end{aligned}$$

где  $A_y, A_z$  – амплитуды перемещений вершины резца по соответствующим осям координат;  $\omega$  – частота колебаний;  $\varphi$  – сдвиг фаз колебаний по разным осям.

Таким образом, процесс резания становится источником автоколебаний. В общем случае в автоколебательном процессе движения могут совершать либо резец, либо заготовка в отдельности или одновременно.

Существуют следующие меры по повышению устойчивости технологической системы к вибрациям.

1. Повышение жесткости технологической системы – всех ее составляющих звеньев, включая заготовку. Увеличение жесткости повышает частоту собственных колебаний системы и уменьшает их амплитуду.
2. Уменьшение центробежных сил в технологической системе путем лучшей балансировки быстровращающихся деталей.
3. Выбор режимов резания, при которых обработка заготовки будет идти при отсутствии вибраций.
4. Выбор инструмента, геометрия которого повышает виброустойчивость технологической системы. С этой целью рекомендуется применять инструменты, имеющие углы в плане больше  $45^\circ$ , передние углы – положительные, малый радиус при вершине, возможно малый задний угол, не работать сильно затупившимся инструментом.
5. Изоляция технологической системы от внешних воздействий в виде колебаний других станков, молотов, работающих двигателей и т.п. средствами изоляции служат виброопоры, на которые устанавливают станок.
6. Применение виброгасителей гидравлических, механических, ударного действия и т.д., поглощающих энергию колебательного движения и снижающих интенсивность вибраций (рис.20.3).

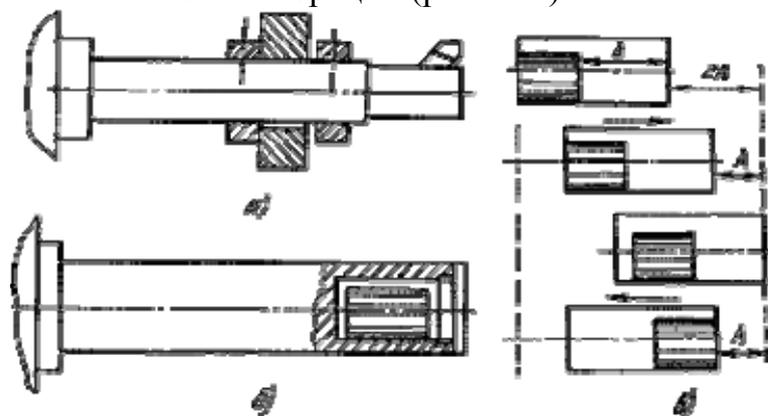


Рис.20.3. Виброгасители ударного действия

**Размерный износ инструмента.** В процессе обработки заготовок инструмент изнашивается. Интенсивность изнашивания инструмента зависит от свойств материала, из которого изготовлен инструмент, свойств материала заготовки, режимов обработки, температуры нагрева, свойств смазочно–охлаждающей жидкости и др.

При исследованиях в области резания материалов мерой износа инструмента чаще служит высота  $h$  площадки, образовавшейся на его задней поверхности. На точности же выдерживаемых размеров отражается износ инструмента по нормали к обрабатываемой поверхности, называемый размерным износом. Именно этот износ и рассматривается дальше.

Протекание изнашивания инструмента во времени характеризуется кривой (рис.20.4 а), у которой принято выделять три участка, соответствующих трем

периодам стойкости инструмента. При обработке заготовок больших размеров изнашивание инструмента приводит к погрешностям формы обрабатываемых поверхностей.

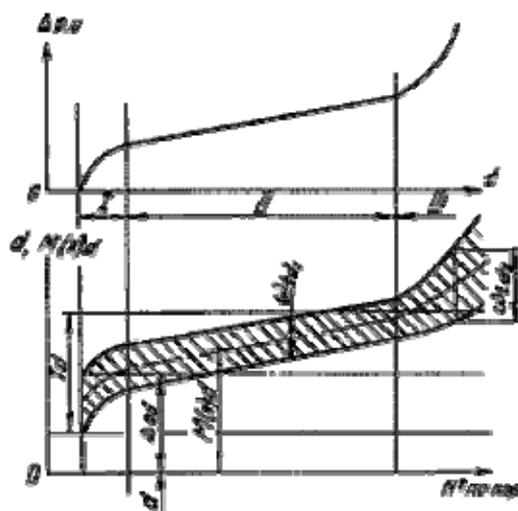


Рис.20.4.Закономерность размерного износа инструмента и характер его проявления на точечной диаграмме

При изготовлении партии сравнительно небольших деталей размерный износ режущего инструмента сопровождается смещением центра группирования  $M(x)$  выдерживаемых размеров. Так, при изнашивании инструмента, характеризуемом графиком на рис.20.4 а, точечная диаграмма получаемого размера шейки вала будет иметь вид, показанный на рис.20.4 б. Точечная диаграмма показывает, что с изнашиванием инструмента на протяжении I и II периодов его работы значение мгновенного поля  $\sigma_d$  рассеяния размеров  $d$  практически не изменяется. При затуплении же резца следует не только интенсивное смещение центра группирования  $M(x)_d$ , но и увеличение значения  $\sigma_d$ . Объясняется это следующим образом. При обработке заготовок острым и затупившимся инструментом будут различными значения силы резания. В формулах, определяющих силы резания, степень затупления инструмента учитывают коэффициентом  $k_1$ . Например, составляющая силы резания:

$$P_r = C_2 \cdot l^{0.75} \cdot S^{0.75} \cdot k_2 \cdot k_1.$$

Для упрощения, обозначив в формуле группу сомножителей (за исключением  $k_1$ ) через  $A$ , получим:

$$P_r = A k_1.$$

Допустив, что изменение состояния процесса обработки связано только с изменением значений  $P_r$  и что, в силу выше указанных причин, значения  $P_r$  рассеиваются в пределах:

$$\sigma_{P_r} = (P_r^{\max} - P_r^{\min}) k_1 = (A_2 - A_1) k_1;$$

при среднем значении  $P_r$ ,

$$\bar{P}_r = 0.5(A_1 + A_2) k_1.$$

Для острого инструмента  $k_1 = 1$ . Следовательно,  $\sigma_{P_r} = A_2 - A_1$  и  $\bar{P}_r = 0.5(A_1 + A_2)$ .

С затуплением инструмента значение  $k_1$  быстро возрастает. Предположим, что  $k_1 = 1,5$ . Тогда  $\sigma_r = (A_1 - A_2)1,5$  и  $\bar{P}_r = 0,5(A_1 + A_2)1,5$ . Значит, с затуплением режущего инструмента увеличивается поле рассеяния и среднее значение силы резания, а это приведет к увеличению поля  $\sigma_r$  и среднего значения упругих перемещений.

Влияние размерного износа на точность и производительность процесса обработки уменьшают следующие практические меры: повышение качества материала, используемого, для изготовления инструмента; повышение качества изготовления и доводки инструмента; рациональный выбор режимов резания; стабилизация сил резания; сокращение вибраций в технологической системе; правильный подбор и применение СОЖ; своевременная компенсация размерного износа инструмента поднастройкой технологической системы; применение автоматических подналадчиков; своевременная смена инструмента для его перетачивания; применение устройств диагностики состояния инструмента.

### ***Тепловые деформации технологической системы.***

В процессе обработки заготовок звенья технологической системы находятся под непрерывным воздействием различных источников теплоты. Основными источниками теплоты являются механическая работа, затрачиваемая на резание, и работа по преодолению сил трения движущимися деталями станка. К этому добавляется теплота, создаваемая работой электрических и гидравлических систем станка, теплота, сообщаемая внешней средой. Неодинаково нагретыми могут быть заготовки, поступающие на обработку. Изменения температуры технологической системы порождают дополнительные пространственные относительные перемещения ее исполнительных поверхностей и, как следствие, добавочные слагаемые погрешности динамической настройки. Перемещения, порождаемые изменениями температуры, получили название **температурных деформаций**.

Распределение теплоты в технологической системе неравномерно. Одни ее компоненты, даже части отдельных деталей, нагреваются сильнее другие слабее.

**Нагрев деталей** станка происходит в результате работы его механизмов, гидроприводов и электроустройств. Теплота станку сообщается также СОЖ, нагревательными устройствами, находящимися вблизи станка, воздухом в цехе. Наибольшей степени в станке нагревается шпиндельная бабка. Температура ее корпуса в различных точках может достигать до 30—70° С, а шпинделей и валов — до 40-100° С. Меньше нагревается станина. Соответственно уровню нагрева детали станка деформируются в трех координатных направлениях, нарушая тем самым первоначальную точность станка.

Тепловые деформации **режущего инструмента** вызывает теплота, отводимая из зоны резания. Несмотря на то, что доля теплоты, приходящаяся на инструмент, составляет лишь 2-5%, и ее оказывается достаточно для нагрева режущих кромок до 900° С. В результате, например, изменение вылета токарных резцов средних размеров в процессе обработки заготовки могут достигать до 0,05-0,06 мм. Значения тепловых деформаций режущего инструмента зависят от скорости и глубины резания, подачи и геометрии инструмента, его вылета, эффективности охлаждения и др.

Тепловые деформации **станка и инструмента** протекают в пространстве и приводят к отклонениям относительного положения заготовки и инструмента, приданного им в процессе настройки технологической системы. Относительное перемещения инструмента и технологических баз заготовки служат причиной непрерывного изменения значения текущего размера, что в свою очередь отражается на всех геометрических показателях точности детали: форме, относительном повороте, расстоянии и размере получаемой поверхности.

Обычно заготовки обрабатывают с перерывами в работе станка, вызываемыми, например, необходимостью замены заготовок. На рис.20.5 приведен график, показывающий тепловые деформации токарного резца, происходящие во время работы заготовок и остановок станка для их замены. Изменение теплового состояния резца и его вылета влекут за собой отклонения формы обработанной поверхности детали.

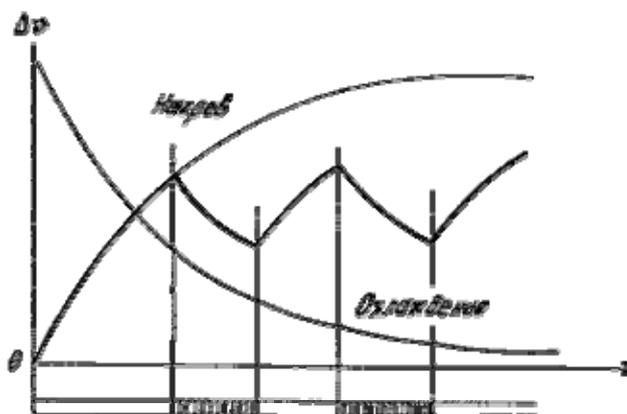


Рис.20.5. Тепловые деформации резца при работе с перерывами

Часть теплоты, выделяющейся в зоне резания, передается в **заготовку**. В зависимости от способа режимов обработки отвод теплоты в заготовку может быть различным. Например, при токарной обработке он может составлять до 10% в общем тепловом балансе, а при сверлении – до 55%. Следовательно, в процессе обработки заготовка может значительно нагреваться и деформироваться. Причем наибольшие деформации возникают при обработке тонкостенных заготовок. В большинстве случаев поверхность заготовки обрабатывают постепенно. Поэтому источник теплоты в зоне резания непрерывно (или с перерывами) перемещается по обрабатываемой поверхности заготовки. На рис. 20.6 показано тепловое поле цилиндрической поверхности заготовки, создаваемое вдоль ее оси резцом.

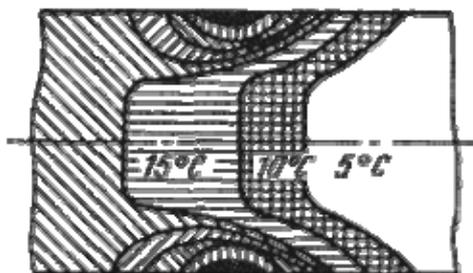


Рис.20.6. Тепловое поле, движущееся вперед источника теплоты в поверхностных слоях заготовки

Впереди источника теплоты в поверхностных слоях заготовки движется опережающая волна тепла, которая при подходе резца к концу заготовки существенно увеличивает ее нагрев. Объясняется это тем, что на границе двух сред (металл-воздух) ухудшается теплопроводность среды и теряет свою скорость теплоотдача. Материал заготовки при этом нагревается и расширяется сильнее, из заготовки удаляется больший слой материала. Вместе с изменениями температур заготовки, на различных ее участках изменяется нагрев резца и его вылет. В результате после обработки и охлаждения заготовки ее поверхность обретает форму, показанную на рис. 20.7.

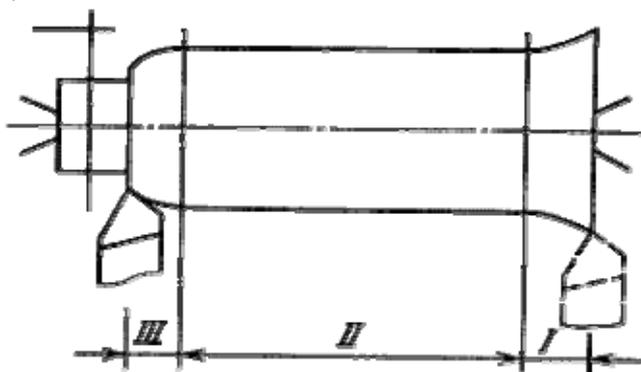


Рис.20.7. Искажение формы поверхности детали под воздействием теплового поля: I – участок, образовавшийся при нарастающем нагреве заготовки и резца в начале обработки; II – участок, возникший при установившемся тепловом поле; III – участок, при ухудшении отвода теплоты в конце обработки

Причиной снижения точности деталей также может быть и разная степень нагрева заготовок, поступающих на обработку, что присуще массовому производству. Различие условий обработки заготовок на предшествующих операциях, нарушение очередности их транспортирования с одной операции на другую приводит к тому, что на обработку попадают и слабо и сильно нагретые заготовки. Получая дополнительный нагрев при обработке на данной операции, заготовки будут иметь различную усадку при остывании. В результате этого произойдет не только смещение  $M(x)$ , но и увеличение значения поля рассеяния размеров в партии деталей (рис.20.8).

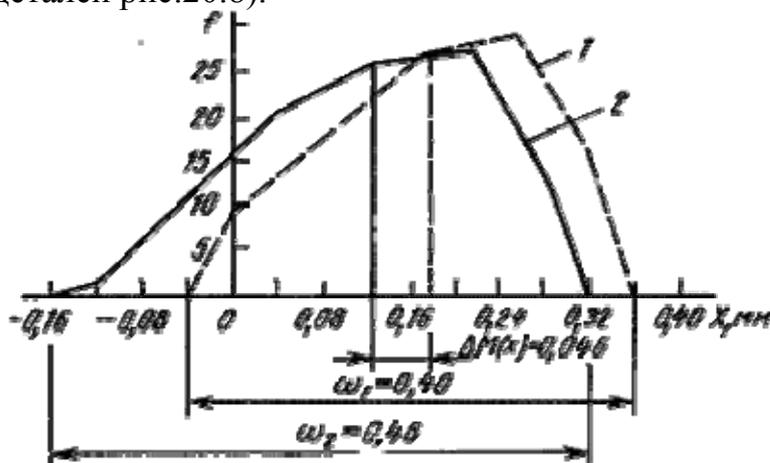


Рис.20.8. Усадка деталей по мере их остывания

В обеспечении требуемой точности детали тепловые деформации технологической системы и заготовок приобретают особую значимость на отделочных операциях, где колебания припусков, а, следовательно, силы резания и

упругих перемещений оказываются незначительными. Основными мероприятиями по уменьшению тепловых деформаций являются следующие: применение СОЖ; создание термоконстантных цехов; введение в конструкцию станков, устройств, стабилизирующих температуру; прогревание станков на холостом ходу до начала работы; сокращение перерывов в работе до минимума; настройка технологической системы на рабочий настроечный размер, учитывающий влияние тепловых деформаций; встраивание в станке автоматических подналадчиков; увеличение скорости резания; шлифование заготовок кругами большего диаметра; установка перед ответственными операциями термостатических устройств, выравнивающих температуру заготовок, поступающих на обработку; чередование операций в технологическом процессе с большим и меньшим нагревом заготовок; применение транспортных средств, обеспечивающих соблюдение очередности в прохождении заготовками операции технологического процесса.

### ***Влияние работающего на точность изготавливаемых деталей***

Технологический процесс изготовления деталей не может быть выполнен без участия человека. В зависимости от уровня автоматизации технологического оборудования это участие может иметь различные формы.

При изготовлении детали на **универсальных неавтоматизированных станках** функции рабочего входит установка заготовки, настройка станка, осуществление технологического процесса обработки заготовки и контроль точности изготовленной детали. Успешное решение задач, возложенного на рабочего зависит от его квалификации, состояния (степень утомления, настроение и т.п.), состояние оборудования и условий, в которых ему приходится работать. На точности и характере распределения отклонений размеров деталей, изготовленных на универсальных станках, отражается постоянная боязнь рабочего получить неисправимый брак. Этот психологический фактор вынуждает рабочего придерживаться при изготовлении детали «безопасных границ полей допусков», что приводит к смещению центра группирования размеров обрабатываемых деталей.

При изготовлении деталей **на настроенных полуавтоматических станках** функции рабочего сводится к установке заготовки в приспособлении, включению станка и съему заготовки или изготовленной детали. Настройку станка чаще осуществляет наладчик, он же контролирует точность полученных размеров. Несмотря на то, что роль квалификации рабочего здесь сведена до минимума, его влияние на точность изготавливаемых деталей может быть весьма существенным, т.к. именно рабочий обеспечивает стабильное и надежное закрепление заготовки.

При изготовлении детали на автоматических станках рабочий из непосредственного исполнителя технологического процесса превращается в руководителя им. В обязанности работающего входят настройка станка, наблюдение за ходом технологического процесса и устранение отклонений в нем. Выполнение этих функций требует всесторонних знаний и навыков, т.е. более квалифицированного труда. Например, оператор, обслуживающий многооперационный фрезерно-расточной станок с программным управлением, одновременно должен владеть квалификацией фрезеровщика, сверловщика, расточника, до тонкостей знать программное управление и устройство станка.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

- качество изготавливаемых деталей находится в прямой зависимости от квалификации;
- создание благоприятных условий для труда, облегчающих физическую и умственную деятельность работающего, является одним из средств повышения качества продукции и производительности труда;
- в массовом и крупносерийном производстве при выполнении однообразной и монотонной работы следует периодически делать перестановку рабочих с одних операций на другие, создавая тем самым разнообразие в их труде;
- при конструировании приспособлений следует избегать ручных зажимов и применять пневматические, гидравлические, электромеханические зажимы, обеспечивающие стабильность сил закрепления заготовок.

## ЛЕКЦИЯ 21

### 21. Информационное обеспечение производственного процесса. Временные связи в производственном процессе.

Информационный процесс является важнейшей составной частью производственного процесса изготовления машины. Информация в производственном процессе – это средство, приводящее, поддерживающее и направляющее его действие.

#### **21.1. Свойства технологической информации и информационные связи**

Технологическая информация представляет собой указание о том, что, как, когда, с помощью чего надо сделать, или сообщения о результатах совершенного действия, изменения первоначальных условий, сообщение каких-то данных и т.п.

Осуществление производственного процесса включает выполнение ряда технологических процессов изготовления деталей и сборки машины, доставку к рабочим местам технологической документации, заготовок, сборочных единиц, инструментов, технологической оснастки, складирование заготовок и продукции, контроль хода производственного процесса и управление им и прочие действия, обеспечивающие функционирование производственного процесса и изготовление качественной продукции.

Каждый этап процесса изготовления машины сопровождается своими информационными процессами, цели и содержание которых обусловлены спецификой решаемых задач. Однако на любом этапе при решении конкретных технологических и производственных задач ведут сбор, запрос, поиск, хранение, переработку, преобразование, передачу и использование информации.

Технологическая информация, поступающая на рабочее место, является исходной в информационном процессе, совершаемом при выполнении операции. Как выполнение любой операции, связанное с решением множества технологических задач (установка заготовки, настройка станка, наблюдение за ходом процесса обработки и управления им), так и анализ полученных результатов требует получения, преобразования, передачи и других действий над информацией.

Таким образом, постановку задачи, ее решение, сообщение о том, что задача решена, и оценку правильности решения связывает замкнутый информационный контур, который может быть назван информационной связью.

**Информационная связь** - это замкнутый контур, образуемый прямым и обратным потоками информации, охватывающий все действия над информацией, необходимые для решения производственной или технологической задачи.

Входы в информационный контур является постановка задачи, выходом – результат ее решения. Замыкает информационный контур сопоставление результата решения с условиями технологической задачи (рис.21.1).



5. придание захватному устройству (ЗУ) робота исходного положения в системе координат технологической системы;
6. перемещение (ЗУ) робота к очередной заготовке;
7. захват роботом заготовки;
8. перемещение заготовки к патрону станка;
9. базирование заготовки относительно кулачков патрона;
10. закрепление заготовки кулачками патрона;
11. разжим ЗУ робота;
12. отвод ЗУ из зоны обработки;
13. проверка правильности установки заготовки.

Каждое упомянутое действие представляет собой частную технологическую задачу. Информационное обеспечение решения частных задач будет осуществляться по-разному. Например, задачи обеспечения первого и второго действий решаются при конструировании лотка, в процессе которого перерабатывается исходная информация о виде, форме, размере и числе заготовок, одновременно размещенных в лотке; о конструкции стола, на котором будет установлен лоток; в конструктивные решения о форме, размерах и местоположения ячеек, базирующих заготовки в лотке, о форме и размерах корпуса лотка и и.д. Необходимо также разработать средства, выдающие информацию о выполнении действий и разработать информационные процессы, управляющие действиями робота и станка.

Из рассмотренного, можно сделать следующие выводы.

1. Решение производственной или технологической задачи обеспечивает информационный процесс.
2. Информационный процесс, сопутствующий решению производственной или технологической задачи, может подразделен на две части. Одна из них связана с разработкой той, что обеспечивает решение задачи (технологии, управляющих программ, технических средств и т.п.), а другая – с управлением процессом, в результате свершения которого достигается решение задачи.
3. Обе части информационного процесса так же, как и его этапы, органически связаны друг с другом.
4. Для раскрытия содержания информационного процесса необходимо расчленение производственной или технологической задачи на частные задачи и элементарные действия.
5. Решение любой частной задачи обеспечивает информационная связь, объединяющая операции над информацией, необходимые для периода от условий задачи к сообщению о том, что задача решена, и заключению, что ее решение верно.

### **21.3. Структура информационных связей в производственном процессе**

Членение производственных и технологических задач влияет образование сопряженных контуров информационных связей, увязывание в день в той же последовательности, в какой должно идти решение частных задач. Например, если в задаче установки заготовки втулки в патрон токарного станка выделить часть действий, непосредственно касающиеся установки заготовки, то информационный процесс составил бы ряд информационных связей, показанных на рис. 21.2.



предприятия одновременно осуществляются технологические процессы изготовления деталей различных наименований, оснащение рабочих мест инструментами, приспособлениями, заготовками, транспортирование готовой продукции на склад, задачи по обеспечению, требуемой точности деталей, непрерывный анализ хода производственного процесса, его диспетчеризации и т.п. требует бесперебойного информационного обеспечения.

Более сложной оказывается разработка информационного процесса для автоматизированного производства, в котором физическая и умственная деятельность человека замещается техническими средствами и управляющими программами и пр.

Любой производственный процесс сопровождается действием большого числа случайных факторов, поэтому структура информационных связей должна для поддержания непрерывности хода процесса обеспечивать возможность его корректировки.

В обычном производстве процесс корректируют руководящие работники всех рангов, диспетчерская служба, операторы. В автоматизированном производстве исполнение этих функций возлагается на технические средства.

В построении информационных процессов для автоматизированных производств участвуют технологи, специалисты в области управления, автоматика, вычислительной техники, конструкторы и др. Задание на проектирование системы управления выдают технологи по завершении разработки технологии изготовления изделий и принятия решений по вопросам транспортирования и складирования заготовок и готовых изделий, инструментального обеспечения, организации и планирования производственного процесса.

В задачи технологов входит выдача технических заданий на проектирование технологического оборудования и оснастки, средств транспорта, инструмента и т.п.

#### **21.4. Временные связи в производственном процессе. Компоненты временных связей**

Временные связи это соотношение между фондами времени, которыми располагают технологическое оборудование, рабочие, производственное подразделение (участок, цех и т.п.) и затратами времени на выполнение технологического процесса изготовления изделий и отдельных операций.

Временные связи образуются также в результате членения затрат времени на составляющие.

Исходным, в определении фонда времени, служит календарное время за вычетом нерабочих дней в избранном периоде.

Для единицы оборудования номинальный фонд времени составляет:

$$\Phi_{\text{н}} = (D_{\text{р}} \cdot t_{\text{сут}} - D_{\text{с.с.}} \cdot t_{\text{с}}) (1 - t_{\text{пр}} / 100),$$

где  $D_{\text{р}}$  – число рабочих дней в планируемом периоде,  $T_{\text{сут}}$  – число рабочих часов в сутки,

$D_{\text{с.с.}}$  – число рабочих дней сокращенной продолжительности,

$t_{\text{с}}$  – число часов, на которое сокращены рабочие сутки,

$t_{\text{пр}}$  – планируемое время простоя оборудования (3—6% — для универсального, 10-12% — для уникального оборудования).

Действительный фонд времени  $\Phi_{д}$  отличается от номинального  $\Phi_{н}$  на величину потерь  $\Pi_{ф}$  фонда времени из-за случайных событий, сопровождающих любой производственный процесс. Потери фонда времени можно определить:

$$\Phi_{д} = \Phi_{н} - \Pi_{ф}$$

Потери фонда времени можно определить:

$$\Pi_{ф} = \Pi_{ф.тех} + \Pi_{ф.орг} + \Pi_{ф.р},$$

где  $\Pi_{ф.тех}$  – потери фонда времени по техническим причинам;

$\Pi_{ф.орг}$  – потери фонда времени по организационным причинам;

$\Pi_{ф.р}$  – потери фонда времени по вине рабочего.

Затраты времени на выполнение операций технологического процесса, называется штучно-калькуляционным:

$$t = \frac{t_{шт}}{n} + t_{зм},$$

где  $t_{зм}$  – подготовительно-заключительное время затрачивается на подготовку к изготовлению партии деталей (получение задания, ознакомление с ним, изучение чертежей и технической документации, подготовка рабочего места, настройка оборудования, сдача изготовленных изделий и другое);

$n$  – число изделий, составляющих партию.

Штучное время представляет собой сумму четырех слагаемых:

$$t_{шт} = t_{ог} + t_{з} + t_{ос} + t_{г}.$$

В формуле  $t_{ог}$  – основное технологическое время – это время непосредственного воздействия на объект производства (изменения формы, размеров, структуры материала и т. д).

Если воздействие на объект проводится вручную то:

$$t_{ог} = t_{руч},$$

и его называют ручным.

Если при воздействии на объект используется оборудование, то  $t_{ог}$  называется машинным:

$$t_{ог} = t_{маш}.$$

Если воздействие на объект производится с помощью машины, но с участием человека, то называется машинно-ручным:

$$t_{ог} = t_{маш.руч}.$$

Вспомогательное время ( $t_{з}$ ) – время, затрачиваемое на переходы, сопутствующие процессу непосредственного воздействия на объект производства (установка, отвод, подвод инструмента, включение, выключение оборудования).

Сумму основного технологического и вспомогательного времени называют оперативным:

$$t_{оп} = t_{ог} + t_{з}$$

Время обслуживания рабочего места ( $t_{ос}$ ) – время, которое затрачивается рабочим на уход за рабочим местом и поддержанием его в рабочем состоянии. Его подразделяют на две части: время технического обслуживания ( $t_{тех.ос}$ ) время организационного обслуживания ( $t_{орг.ос}$ ).

$$t_{ос} = t_{тех.ос} + t_{орг.ос}.$$

Время на техническое обслуживание затрачивается на поднастройку технической системы, смену затупившегося инструмента, удаление стружки с рабочих органов станка, приспособлений.

Время на организационное обслуживание затрачивается на смазку и чистку оборудования, удаление стружки с рабочего места и приведение его в порядок.

Время дополнительное ( $t_{\text{д}}$ ) выделяется на отдых, регламентируется условиями работы (тяжестью и интенсивностью труда), на личные надобности.

Время на обслуживание и дополнительное определяются процентом от операционного.

Время, затрачиваемое на выполнение операций, может быть номинальным, действительным и измеренным.

Фонд времени и затраты времени на выполнение операции являются основными компонентами временных связей в производственном процессе. Производными этих величин являются показатели его эффективности: производительность, уровень загрузки оборудования, ритмичность производственного процесса, длительность цикла изготовления изделий и др.

### **21.5. Виды и формы организации производственного процесса**

Структура временных связей во многом зависит от вида производственного процесса и форм его организации, выбор которых диктуется характером и объемом производной продукции.

#### **Организационные виды и формы производственного процесса изготовления деталей**

В производстве деталей широкой номенклатуры, изготавливаемых единицами (или в небольших количествах), оборудование, для более полной его загрузки, объединяют в группы по общности служебного назначения. Создают например, участки из токарных, фрезерных, сверлильных и т.п. станков. Во главе каждого участка назначается мастер. Изделия при такой организации процесса могут «пролеживать» на складе (изделия небольших размеров и массы) или на подкрановых площадках (крупные изделия).

Такая форма организации технологического процесса приводит к сложным и длинным путем следования изделий, к усложнению планирования и управления производством, и сравнительно невысокому уровню технико-экономических показателей производственного процесса.

С увеличением выпуска одинаковых изделий появится возможность объединить их в группы по однородности служебного назначения и вести изготовление изделий на технологически замкнутых участках. Оборудование на таких участках расставляют по ходу технологического процесса изготовления наиболее типичного представителя группы изделий. Например, технологически замкнутый участок по изготовлению станин, корпусов, валов и т.д.

На таких участках появляется возможность проще и лучше организовать планирование и управление производственным процессом. Пути следования изделий сокращаются. Сокращается и время на перенастройку при переходе к изготовлению

другого изделия. Участок выдает готовую деталь. Техничко-экономические показатели технологически замкнутых участков выше, чем при групповой расстановке оборудования. Однако при этой форме организации снижается коэффициент использования отдельных видов оборудования.

При достаточном объеме выпуска изделий ограниченной номенклатуры технологические замкнутые участки превращаются в комплексные, предназначенные для изготовления типовых узлов производимых машин. На таких участках с изготовлением деталей ведется сборка и испытание узлов.

Рассмотренные формы относятся к непоточному виду производственного процесса, так как ни одна из них не обеспечивает непрерывного движения и равномерного выпуска изготавливаемых изделий.

По мере увеличения объема выпуска одинаковых изделий появляется возможность организации **поточного** производства. Одной из форм поточного производства является **переменно-поточное** производство, называемое еще **многопредметным**. Для этого производства характерен периодический запуск в изготовление партий изделий ограниченной номенклатуры. В продолжение всего периода изготовления изделий одного наименования производственный процесс действует как **непрерывно-поточный**.

Особенностями **поточного** производства является непрерывность движения заготовки, детали, СЕ или машины и их выход с требуемым тактом ( $\tau$ ):

$$\tau = \Phi_{\text{н}} / N,$$

где  $\Phi_{\text{н}}$  – номинальный фонд времени (в год, квартал, час и т.п.);

$N$  – программа выпуска изделий в планируемый период времени;

$\eta$  – коэффициент использования фонда времени.

В поточном производстве оборудование расставляется строго по ходу технологического процесса и связывают его транспортными средствами. Продолжительность операции в поточном производстве должна быть равна или кратна такту. На случай непредвиденных ситуаций, на отдельных рабочих местах создаются резервные (страховые) заделы изделий. В этом производстве обычно используется многостаночное обслуживание.

При поточном производстве значительно упрощается планирование, учета. Сокращается документация. Мастер несет ответственность за ритмичный выпуск деталей. Большой объем выпуска одинаковых изделий позволяет использовать высокопроизводительное оборудование и достигать высоких технико-экономических показателей.

Организационные виды и формы производственного процесса сборки удобно представить в виде схемы (рис.21.3).

**Непоточная стационарная** сборка характеризуется тем, что собираемый объект от начала до конца сборки остается на одном рабочем месте. Сборку ведут рабочий и бригада. Рабочие места оснащаются универсальными приспособлениями и подъемно-транспортными устройствами. Техничко-экономические показатели такой формы организации не высоки. Эта форма используется в единичном и мелкосерийном производствах.

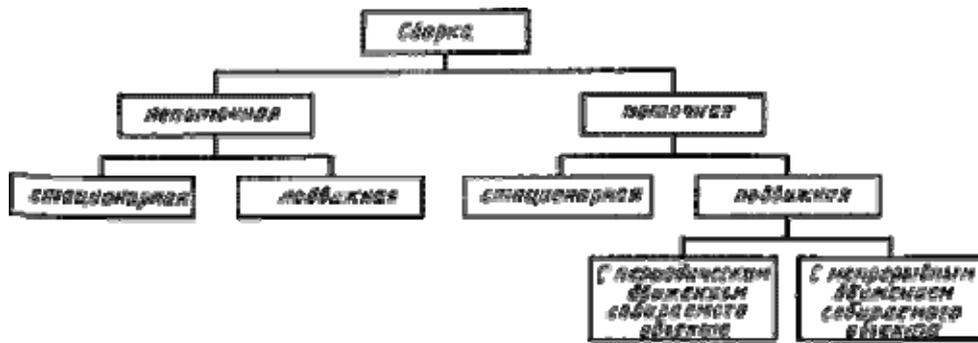


Рис.21.3. Виды и формы организации производственного процесса сборки

При увеличении объема выпуска одинаковых изделий создается возможность перехода к **непоточной подвижной** сборке. В процессе сборки объект периодически перемещается от одного рабочего места на другое. Сборочные операции выполняют рабочие или бригад, специализирующиеся на отдельных работах.

Все рабочие места связывают с помощью транспортных устройств (рольгангов, рельсовых тележек и др.). Выполнив свою операцию, рабочий перемещает собранный объект к следующему месту. Рабочий вынужден придерживаться ритма. В сравнении с непоточной стационарной данная форма организации производственного процесса обеспечивает более высокий уровень технико-экономических показателей.

Дальнейшее увеличение числа одинаковых изделий, подлежащих сборке, делает экономичным использование **поточной** сборки. Одной из ее форм является **стационарная** сборка, при которой все собираемые объекты на протяжении всей сборки остаются на рабочих местах или стендах. Рабочие или бригада по сигналу одновременно переходят от одних собираемых объектов к другим через промежутки времени равные такту. Каждый рабочий выполняет закрепленную за ним одну и ту же операцию на каждом из собираемых объектов. Узкая специализация рабочих способствует повышению качества и производительности труда. Основным преимуществом поточной стационарной сборки является работа с установленным тактом. Применяется в серийном производстве при сборке больших по габаритным размерам, массе или с нежесткими базирующими деталями объектов (автомобили, самолеты).

Использование **поточной подвижной** сборки с непрерывно или периодически перемещающимися собираемыми объектами становится экономичным при выпуске одинаковых изделий в значительных количествах. Для перемещения объектов используют различного рода конвейеры (цепные, ленточные, рамные и др.). При поточной подвижной сборке рабочие места располагают по обе стороны конвейера и оснащают приспособлениями, инструментами, стеллажами.

Число рабочих мест, или позиций, которые должен пройти собираемый объект, определяется по формуле:  $q = \frac{T_s - T_c}{(\tau - \zeta)\tau}$ ,

где  $T_s$ - расчетная трудоемкость всех переходов сборки;

$T_c$ - расчетная трудоемкость переходов, совмещенных с выполнением других переходов;

$\tau$ - расчетный такт выпуска;

$t_{\text{н}}$  - время, необходимое для транспортирования собираемого объекта от одного рабочего места к другому;

$\gamma$  - число параллельных потоков, необходимых для сборки одинаковых изделий при заданном объеме выпуска.

Поточное производство обеспечивает высокую производительность; короткий цикл; высокие технико-экономические показатели; снижение себестоимости; упрощение планирования, управления и учета; постоянство качества продукции. К недостаткам этого производства следует отнести сложность перехода к изготовлению нового изделия.

## ЛЕКЦИЯ 22

### 22. Основы технического нормирования. Пути сокращения затрат времени на выполнение операции

#### 22.1. 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, резбонарезных, сверлильных работ, для зенкерования, развертывания и фрезерования:

$$t_{\text{в.р.}} = t_{\text{н.р.}} = \frac{Lk}{S} = \frac{Lk}{nS_{\text{в.р.}}},$$

где  $S$  – минутная подача, [мм/мин];

$n$  – частота вращения, [мин<sup>-1</sup>];

$S_{\text{в.р.}}$  – подача на 1 оборот шпинделя;

$L$  – длина рабочего хода (рис.22.1), которая определяется по формуле:

$$L = l_1 + L_p + l_2$$

где  $l_1$  – врезание инструмента,

$l_2$  – выход инструмента,

$L_p$  – длина обрабатываемой поверхности детали.

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

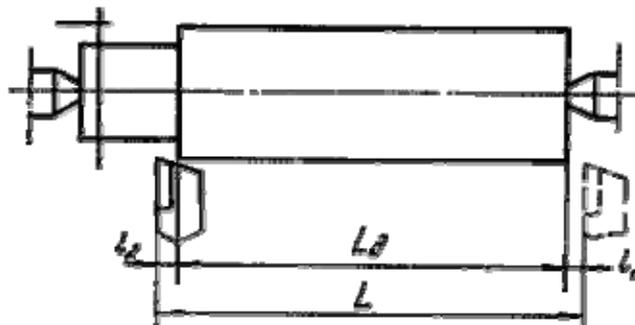


Рис. 22.1. Длина рабочего хода инструмента

Если основное технологическое время является ручным  $t_{\text{в.р.}} = t_{\text{руч.}}$ , 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.22.2), то строят семейство кривых, позволяющих учесть зависимость нормы и от другого размера.

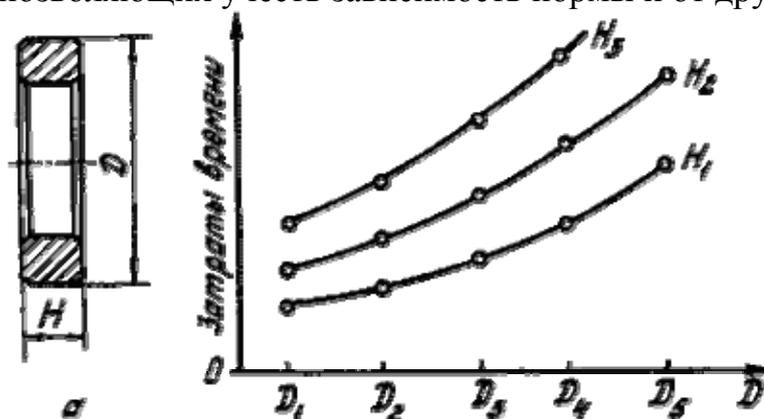


Рис. 22.2. Кольцо (а) и зависимость затрат времени на его изготовление от диаметра D и толщины H(б)

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.

## 22.2. Пути сокращения затрат времени на выполнение операции

Анализ формул, по определению штучно-калькуляционного времени  $t$ :

$$t = t_{\text{шт}}/n + t_{\text{п.з.}}$$

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

### 22.2.1. Пути сокращения подготовительно- заключительного времени

Затраты времени на подготовку к работе складываются из времени  $t_p$  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  $t_s$  статической настройки технологической системы:

$$t_{\text{пз}} = t_p + t_u + t_s.$$

Сокращению затрат времени  $t_{\text{пз}}$  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.

### 22.2.2. Пути сокращения штучного времени

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

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

поскольку доля остальных слагаемых в штучном времени не велика. Сокращение  $t_{\text{шт}}$  возможно путем либо уменьшения  $t_{\text{оп}}$  и  $t_p$ , 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:

$$t_{\text{м}} = \frac{(l_1 + L_2 + l_2)}{vS_{\text{оп}}} k.$$

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.22.3) дает сокращение  $t_{\text{р}}$  почти вдвое по сравнению с обработкой одним резцом.

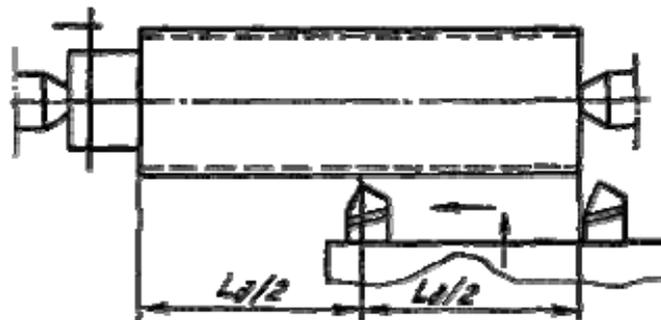


Рис.22.3. Обработка поверхности двумя резцами.

Сокращение пути относительного движения инструмента и заготовки может также осуществляться за счет длин на вход и выход режущего инструмента. На рис.22.4 а показано уменьшение  $t_1$  путем увеличения диаметра фрезы, а на рис.22.4 б - за счет совмещения оси фрезы с плоскостью симметрии заготовки. В обоих случаях  $t_1^* < t_1$ .

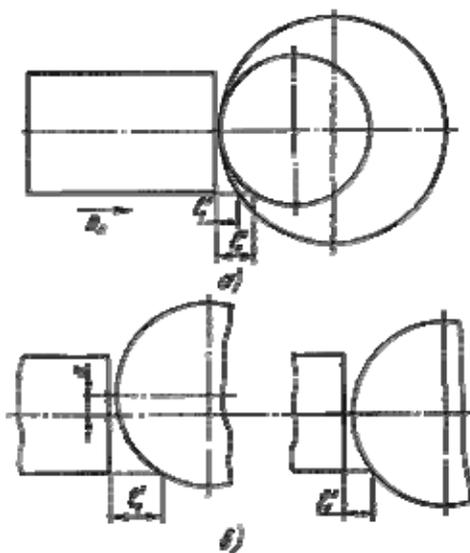


Рис.22.4. Способы уменьшения «недобега» инструмента

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 многорезцовом станке 12-ю инструментами (рис.22.5.). Машинное время в этом случае будет равно машинному времени наиболее длительного основного перехода:

$$t_{\text{м}} = t_{\text{д}}^{\text{м}},$$

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

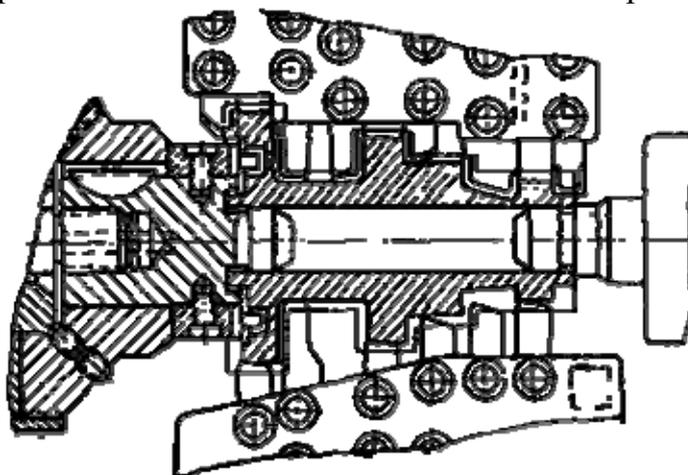


Рис.22.5. Совмещение во времени основных переходов при многорезцовой обработке блока зубчатых колес

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.22.6 а). По окончании обработки стол поворачивается на  $180^\circ$ , начинается обработка очередной заготовки, а на свободном конце стола обработанная заготовка заменяется новой.

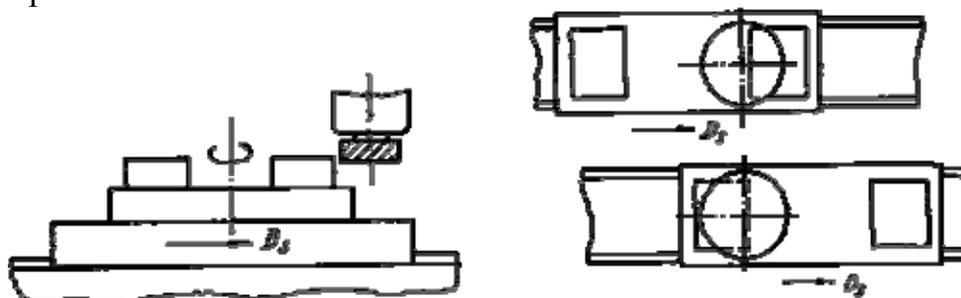


Рис.22.6. Обработка на двухпозиционном станке (а) и «маятниковая» обработка (б)

Совмещение времени установки заготовки с ее обработкой может быть получено и при «маятниковой» обработке (рис.22.6 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.22.7).

При **последовательной** обработке заготовки выполнение основных переходов следует один за другим (рис.22.7 а). Поэтому, время, затраченное на выполнение основных переходов:

$$t_m = \sum_{i=1}^P t_{oi},$$

где  $P$  – число основных переходов в операции.

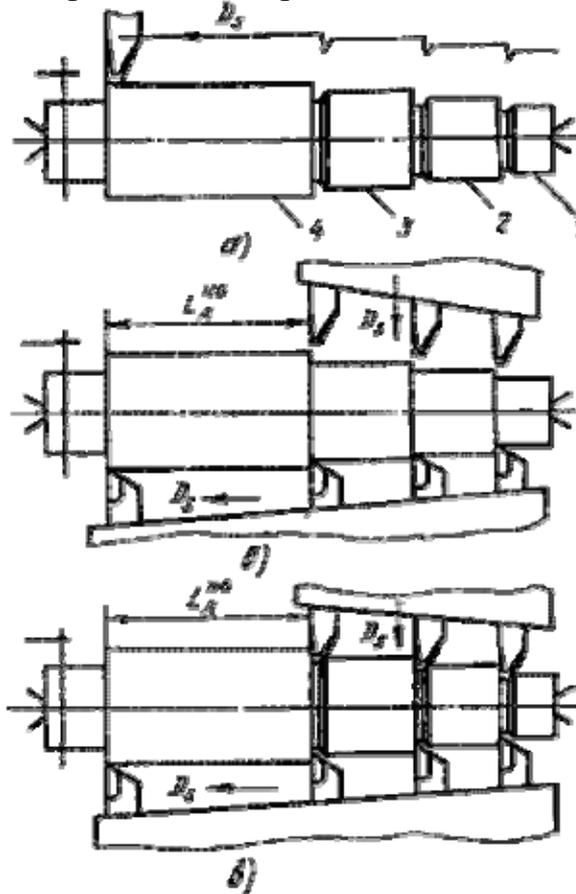


Рис. 22.7. Обработка заготовки вала различными способами

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.22.7 б). Время, затраченное на две группы основных переходов, составит сумма времени выполнения наиболее длительных переходов в каждой из групп основных переходов:

$$t_m = \sum_{i=1}^r t_{oi}^{max},$$

где  $r$  – число групп основных переходов.

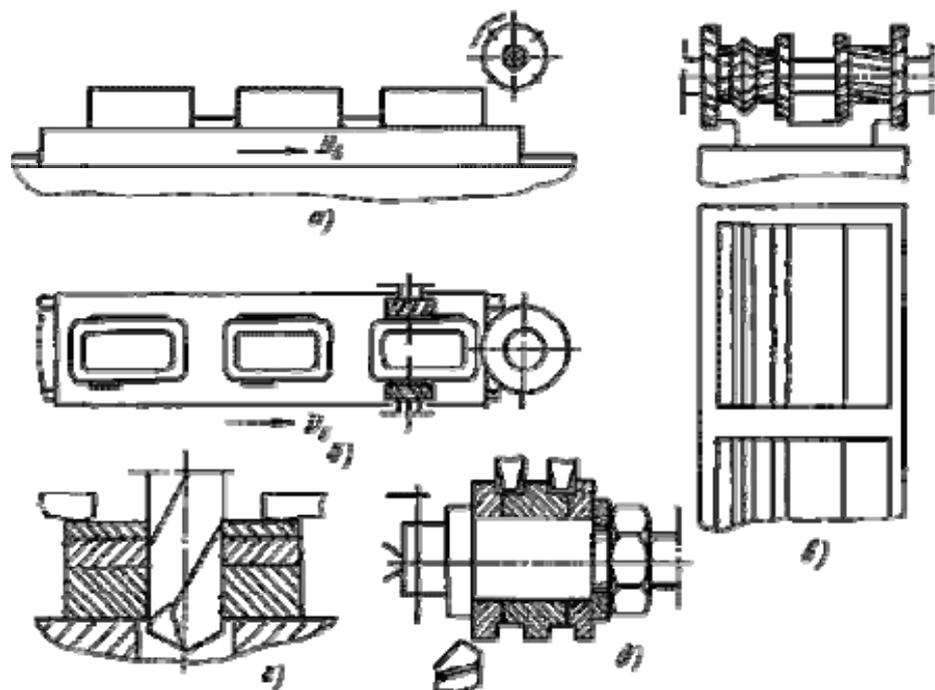


Рис.22.8. Три способа осуществления основных переходов при многоместной обработке

**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.22.7 в-д):

$$t_{\text{осн}} = t_{\text{дл}}^{\text{пр}}$$

Все три способа выполнения основных переходов можно вести как при одноместной (рис.22.7), так и при многоместной обработке (рис.22.8).

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

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{оп}} / n.$$

#### 22.4. 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 прямым образом 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%.

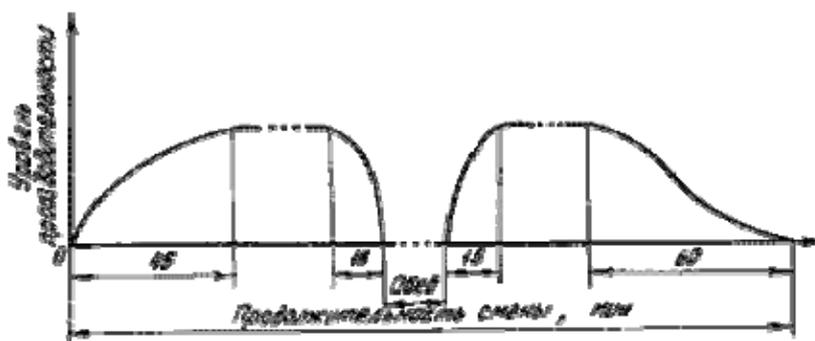


Рис.22.9.Изменение уровня производительности труда в течение смены

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 23

### 23. Экономические связи в производственном процессе

Производственный процесс изготовления машины требует затрат живого и овеществленного труда. Поскольку ресурсы человеческого труда представляют собой наивысшую ценность для человеческого общества, то их рациональное расходование предопределяет уровень благосостояния всех членов общества. В процессе производства продукции экономию затрат труда дает ресурсосберегающая технология.

Связь между затратами обоих видов труда и их сумму отражает формула себестоимости единицы продукции:

$$C = \sum_{i=1}^p M + \sum_{i=1}^n [O + P + H + \left(1 + \frac{a_1 + a_2}{100}\right) Z].$$

Снижение себестоимости машины (СЕ, деталей) может быть достигнуто путем уменьшения значений всех ее слагаемых.

#### 23.1. Сокращение расходов на материалы

Расходы на материалы:

$$M = \sum_{i=1}^p G_1 - \sum_{i=1}^p G_2,$$

где  $G_1$  – масса материала каждой марки, расходуемого на изготовление машины, кг;

$q_1$  – стоимость 1 кг материала надлежащей марки, руб.;  $G_2$  – масса отходов материалов, кг;  $q_2$  – стоимость 1 кг отходов, руб.;  $P$  – число марок материалов, расходуемых на изготовление машины.

Анализ формулы показывает, что возможны следующие пути сокращения расходов на материалы: сокращение массы материалов, расходуемых на изготовление машины; использование, по возможности, более дешевых материалов; получение отходов материалов в виде, пригодном для последующего использования.

Расход материала при изготовлении машины определяется материалоемкостью (металлоемкостью) ее конструкции и массой отходов, образующихся в процессе изготовления.

Металлоемкость конструкции машины полностью зависит от конструктора. Недостаточное знание свойств материалов. Приближенные методы расчета, преднамеренное завышение запасов прочности, непродуманное конструктивное оформление деталей приводят к излишнему расходу материалов. В качестве примера на рис.23.1 показаны две конструкции корпуса редуктора; вторая из них (рис.23.1 б) менее металлоемка.

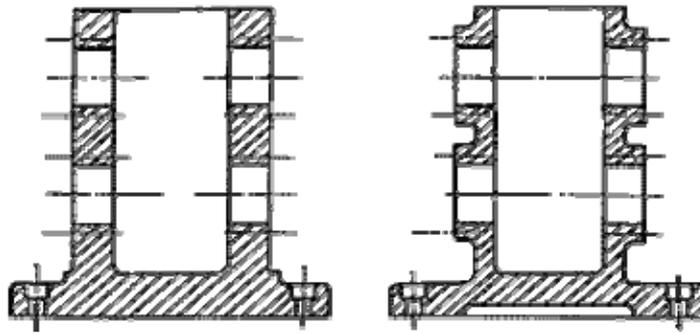


Рис. 23.1. Два варианта конструкции корпусной детали.

### 23.1.1. Сокращение различного рода отходов и потерь металла в процессе изготовления машины является одной из важнейших проблем в народном хозяйстве.

Для суждения о рациональности использования материалов служит коэффициент  $\eta_M$  использования материала, представляющий собой отношение массы  $G_{из}$  готового изделия к массе  $G_{мат}$  материала, затраченного на его изготовление:

$$\eta_M = G_{из} / G_{мат} .$$

Значительное количество отходов и потерь металла возникает при получении заготовок деталей в виде угара металла при плавке, сплесков, остатков в плавильных агрегатах, окалины, заусенцев, облоя, обрезков, брака заготовок.

При механической обработке большую долю отходов составляет стружка, обрезки проката, из которого получают заготовки, обрезки при раскрое листового материала и забракованные детали.

Сокращение потерь и отходов не только экономит материалы, позволяя увеличить выпуск изделий, но и экономит затраты обоих видов труда как на данной, так и на всех предшествующих стадиях производства.

Потери материала сокращаются с уменьшением числа стадий, которые проходит предмет природы до его превращения в изделие. Идеальным было бы непосредственное превращение предмета природы в годное изделие. Например, непосредственное получение болтов из круглого прутка на холодновысадочных автоматах с накаткой резьбы снизило отход металла при изготовлении болтов М10 (рис.23.2) в 2,4 раза по сравнению с изготовлением тех же болтов из шестигранного прутка на токарном автомате.

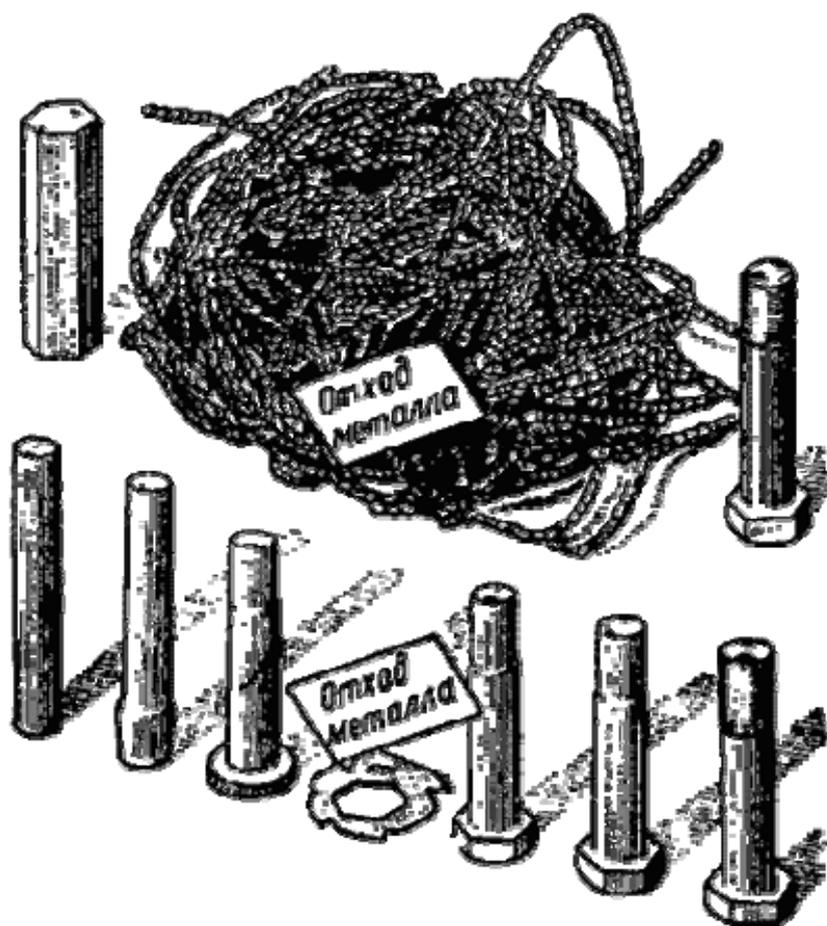


Рис.23.2. Отходы металла при изготовлении болта на токарном автомате (а) и методом холодной высадки с последующей накаткой резьбы (б)

Если получить готовую деталь непосредственно из полуфабрикатов не удастся, наибольший эффект дает максимальное приближение форм и размеров заготовки к готовой детали. Примером может служить сопоставление масс заготовок коленчатого вала, одна из которых, полученная свободной ковкой (рис.23.3 а), имеет массу 163 кг, а другая, полученная штамповкой в закрытых штампах (рис.23.3 б), имеет массу 87 кг. Трудоемкость механической обработки заготовки при одинаковом объеме выпуска и на том же оборудовании в первом случае составляет 40,6, а во втором – 19 нормо-часов, т.е. сокращается на 59%.

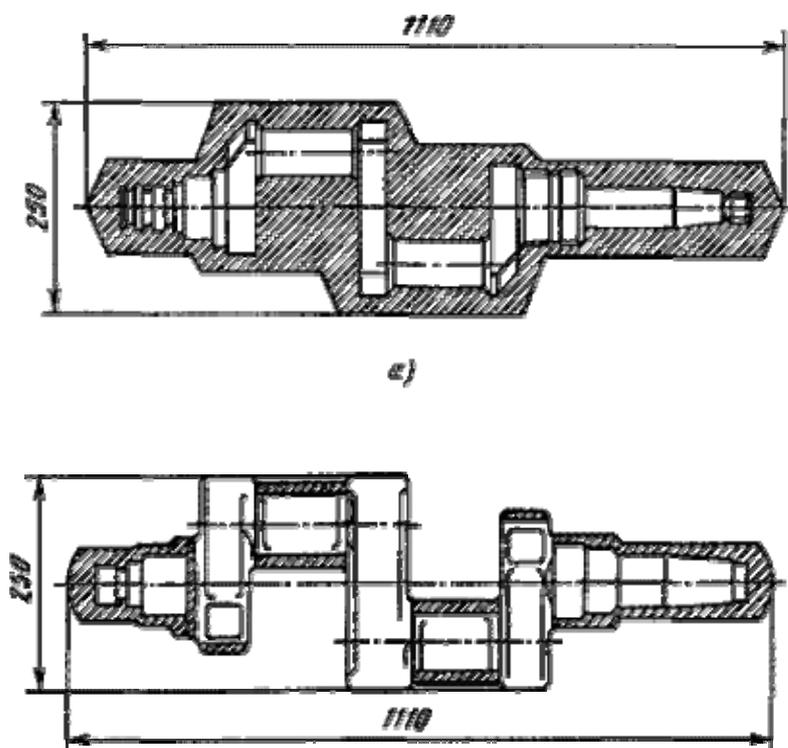


Рис. 23.3. Заготовки коленчатого вала

Большую экономию материала и снижение трудоемкости механической обработки обеспечивают переход к использованию точных отливок, сварных заготовок и внедрение рационального раскроя листов.

### 23.1.2. Использование наиболее дешевых материалов

Выбору наиболее дешевых материалов при конструировании деталей способствует точность формулировки их служебного назначения и условий, в которых им предстоит работать.

Экономию дорогих металлов дает конструкция детали, отдельные части которой сделаны из разных материалов. Например, стыковая сварка позволяет сделать стержень клапана из стали 40Х, а головку клапана из стали 40Х10С2М (рис.23.4). Те же результаты обеспечивает применение биметаллов – двухслойных материалов (сталь - бронза, сталь – алюминиевые сплавы и др.). Из биметаллических материалов изготавливают втулки, служащие опорами валов, вкладыши подшипников автомобильных и тракторных двигателей и других деталей.

Широкие возможности в экономии металлов создает появление новых неметаллических материалов с высокими механическими свойствами. Например, синтегран – материал, получаемый из крошки гранита и связующей смеси. Обладая высокой прочностью, синтегран не дает усадки, хорошо гасит вибрации, легко схватывается с металлом. Его можно использовать для изготовления корпусных деталей, валов, ступиц зубчатых колес, стержней инструментов и других деталей.



где  $s$ - часовая ставка рабочего первого разряда, устанавливаемая на определенный период времени коллективным договором, руб.;

$z$ - разрядный коэффициент работы, определяемый по квалификационному справочнику;

$t$  - время, затрачиваемое на выполнение операции (штучно- калькуляционное время), мин;

$f$ - число станков или рабочих мест, обслуживаемых одним рабочим;

$m$  -число операций, необходимых для изготовления единицы продукции.

Затраты на заработную плату наладчиков рассчитываются так же, как и расходы на заработную плату основных рабочих, но при своих значениях  $s, z, f$  и  $t$ .

Сокращение расходов на заработную плату производственных рабочих и наладчиков может быть осуществлено путем уменьшения числа операций, необходимых для изготовления изделия, снижения квалификации работы за счет ее упрощения, сокращения времени, затрачиваемого на выполнение операции, увеличения числа единиц оборудования, обслуживаемого рабочим и наладчиком. Внедрение обслуживания одним рабочим нескольких единиц оборудования требует комплексного решения нескольких технологических и организационных вопросов. Загрузку оборудования и рабочего наглядно можно представить с помощью циклограммы (рис.23.5).

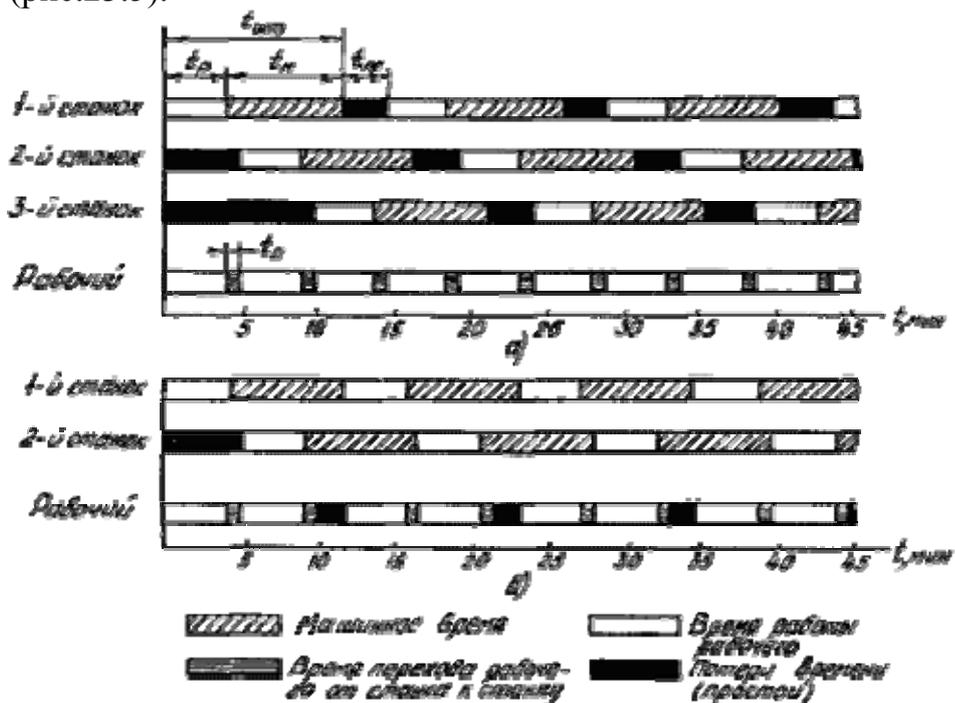


Рис.23.5. Циклограмма многостаночного обслуживания

Сокращение времени на переходы от одного станка к другому обеспечивается грамотной расстановкой оборудования (рис.23.6). Число операций и квалификация работы предопределяются сложностью конструкции изделия и построением технологического процесса. Затраты времени на выполнение операции зависят от значений величин, составляющих штучно-калькуляционное время, и ее структуры. Пути сокращения затрат времени на выполнение операции были рассмотрены ранее.

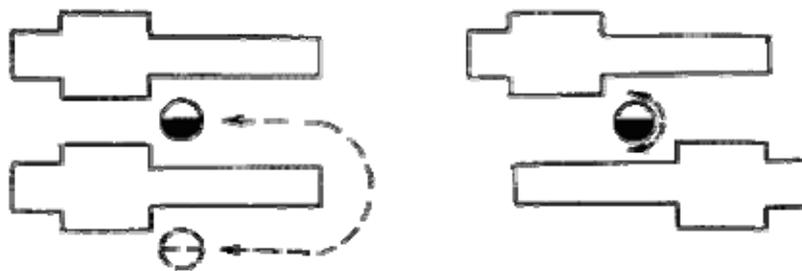


Рис.23.6. Расстановка оборудования при многостаночном обслуживании

### **23.3. Сокращение расходов на содержание, амортизацию и эксплуатацию средств труда**

Средства труда на предприятии должны находиться в рабочем состоянии. Для этого их нужно содержать в надлежащих условиях и своевременно ремонтировать.

Средства труда постепенно изнашиваются в физическом и моральном смысле, в результате чего их использование становится либо невозможным, либо экономически невыгодным. Средства, необходимые для замены износившегося или морально устаревших оборудования и приспособлений новыми, накапливают за определенный период в виде амортизационных отчислений, входящих в себестоимость единицы продукции.

Для приведения средств труда в действие расходуются электроэнергия, сжатый воздух, топливо, охлаждение, смазочные материалы и пр. затраты на эксплуатацию средств труда и расходы на амортизацию части здания, относящейся к ним, так же включаются в себестоимость единицы продукции.

Основными путями сокращения расходов на содержание, амортизацию и эксплуатацию средств труда являются следующие.

1. Бережное отношение к средствам труда (соблюдение условий эксплуатации; защита от воздействия вредных факторов, ускоряющих изнашивание оборудования и приспособлений; тщательный уход; систематический контроль состояния, своевременное техническое обслуживание и ремонт.
2. Приобретение оборудования, приспособлений и инструментов, стоимость которых находится в соответствии с видом, объемом и длительностью выпуска производимой продукции.
3. Повышение коэффициента использования оборудования, особенно дорогостоящего.
4. Снижение затрат на силовую электроэнергию за счет применения оборудования, мощность электродвигателей которого соответствует выполняемой работе. Экономия электроэнергии, расходуемой на нагрев, сварку, обработку заготовок, а так же затрат на пар, газ, сжатый воздух и другие энергоносители.
5. Экономически целесообразное приобретение и использование инструментов.
6. Эксплуатация режущих инструментов с режимами, соответствующими их экономической стойкости, своевременный вывод из работы затупившегося инструмента, снижение стоимости перетачивания.

7. Рациональное использование объема части здания, относящейся к изготовлению данного изделия и используемой для размещения оборудования, стеллажей, заделов и пр.

#### **23.4. Сокращение накладных расходов**

К накладным расходам относятся расходы на заработную плату инженерно - технических работников, счетно-конторского персонала, обслуживающего персонала, вспомогательных рабочих, если они не закреплены за определенными рабочими местами; расходы по содержанию транспорта; расходы по охране труда и технике безопасности; расходы по хозяйственному инвентарю; канцелярские расходы и пр.

Сокращение накладных расходов может осуществляться за счет уменьшения значений всех слагаемых, составляющих накладные расходы: упрощения управленческого аппарата. Сокращение брака и потерь и т.д.

## ЛЕКЦИЯ 24

### 24. Технологичность конструкции изделия. Выбор наиболее экономичного варианта технологического процесса

#### 24.1. 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. 24.1.

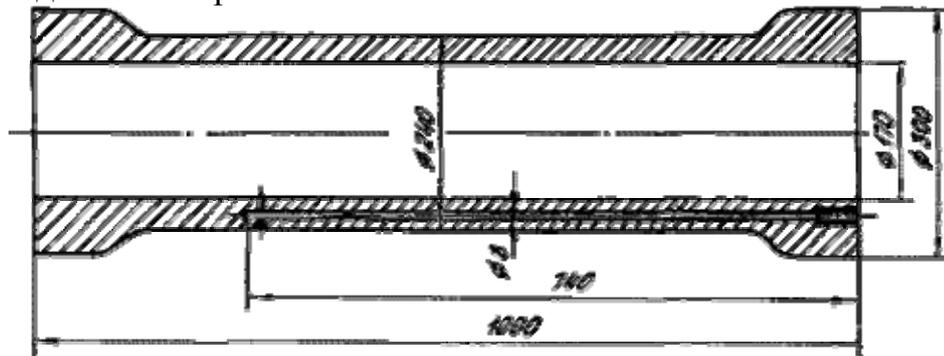


Рис.24.1. Пример нетехнологичной конструкции корпуса гидравлического цилиндра

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.24.2. 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.24.2. а) затруднена тем, что при врезании сверло будет скользить и может сломаться. Без канавки для выхода шлифовального круга (рис.24.2 б) переход от цилиндрической к плоской поверхности получится с закруглением. Долбить шпоночный паз во втулке до упора (рис.24.2 в) невозможно; необходимо отверстие (кольцевая выточка) для выхода резца. Обработка сквозного ступенчатого отверстия проще, чем обработка двух отверстий с противоположных сторон втулки (рис.24.2 г).

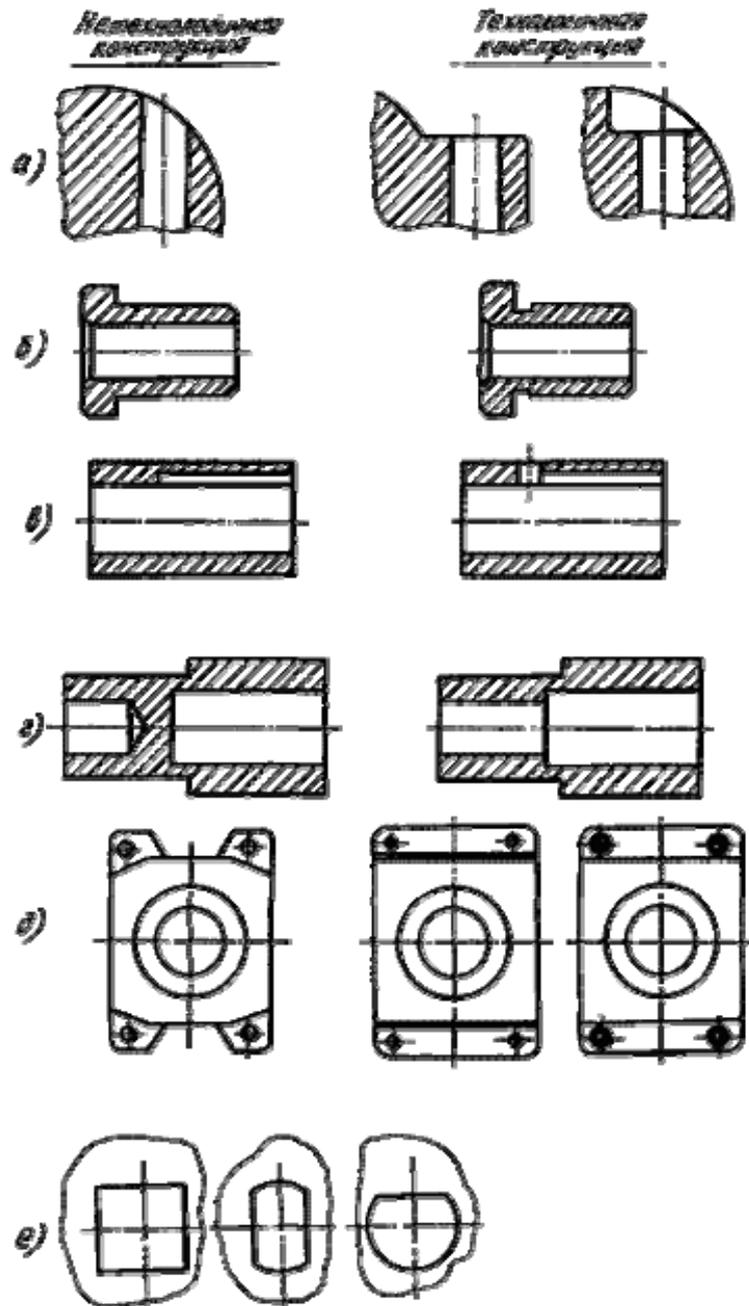


Рис. 24.2. Примеры нетехнологичных и технологичных конструкций деталей

Размещение крепежных отверстий в корпусе на сплошной полке (рис.24.2 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.24.2 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.24.3) технологичная при ее изготовлении в многоместном приспособлении на горизонтально-фрезерном станке (рис.24.3 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.24.3 б) – введения криволинейной поверхности определенного радиуса.

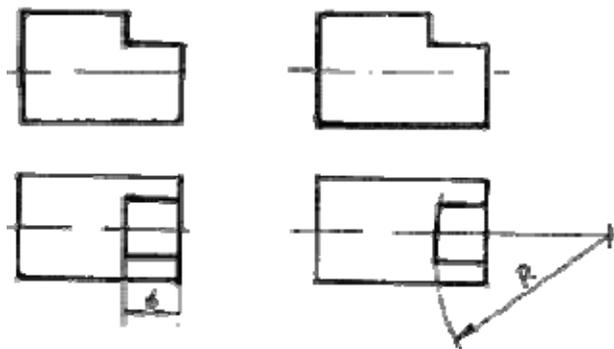


Рис.24.3 Технологичные конструкции оси.

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.24.4. 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.

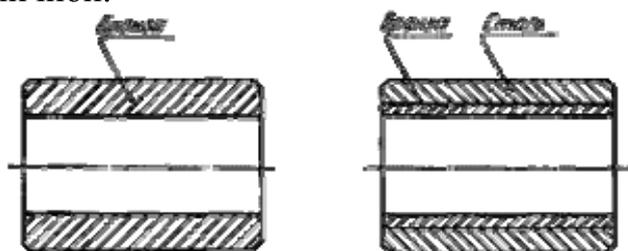


Рис.24.4 Технологичная (а) и экономичная(б). но менее технологичная конструкция подшипника скольжения

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

## 24.2. 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.

### **24.3. 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.

#### **24.4. 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.

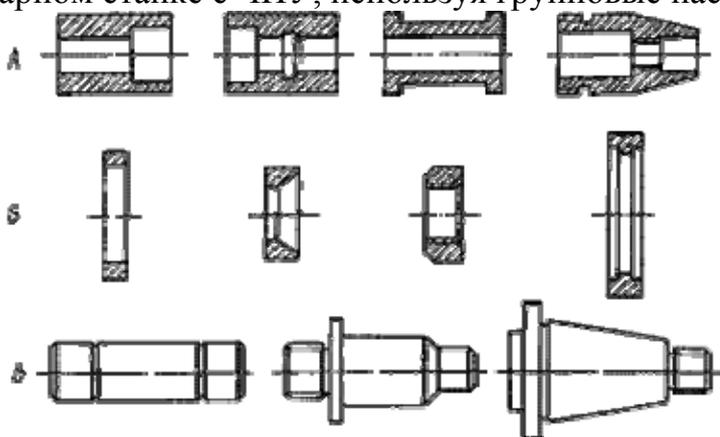


Рис.24.5. Объединение деталей в группу

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.

#### 24.5. 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):

$$C = b + mx.$$

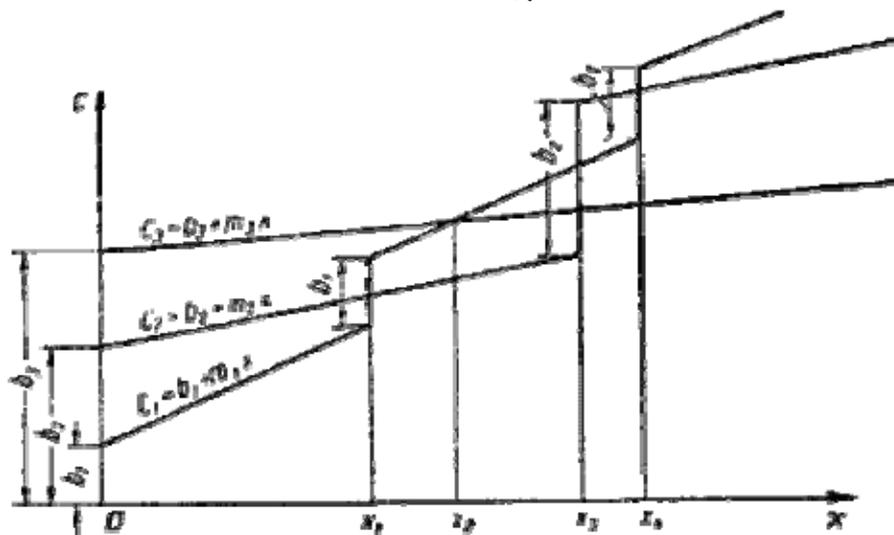


Рис.24.6. Графическое сопоставление себестоимости трех различных вариантов технологического процесса

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

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

каждое из которых действительно при своих предельных значениях  $x$ , что и отображает график, приведенный на рис.24.6. Первый вариант технологического процесса будет экономичнее при  $0 < x < x_1$  и  $x_3 = x < x_2$ , второй – при  $x_1 = x < x_2$ , а третий - при  $x = x_2$  и при больших значениях  $x$ .

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

## **24.6. 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. большой 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 25

### **25. 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.

#### ***25.1. 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.25.1. показаны схемы некоторых размерных цепей токарного станка.

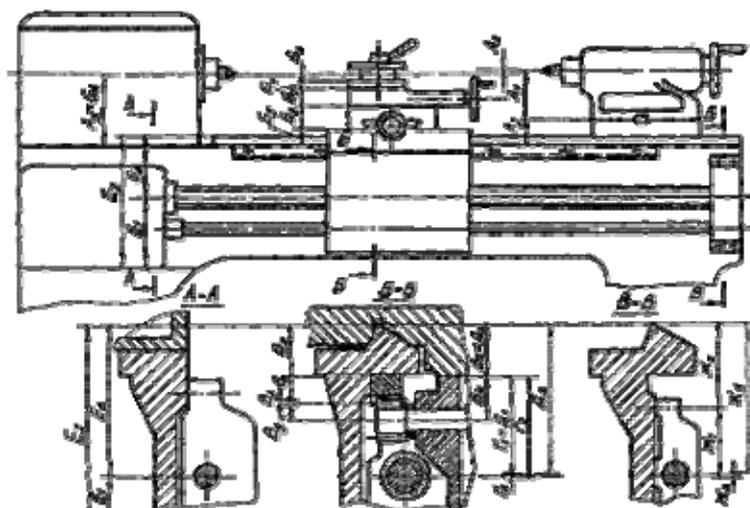


Рис.25.1. Размерные цепи токарного станка

## **25.2. 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 **комплект** 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 устанавливают 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.

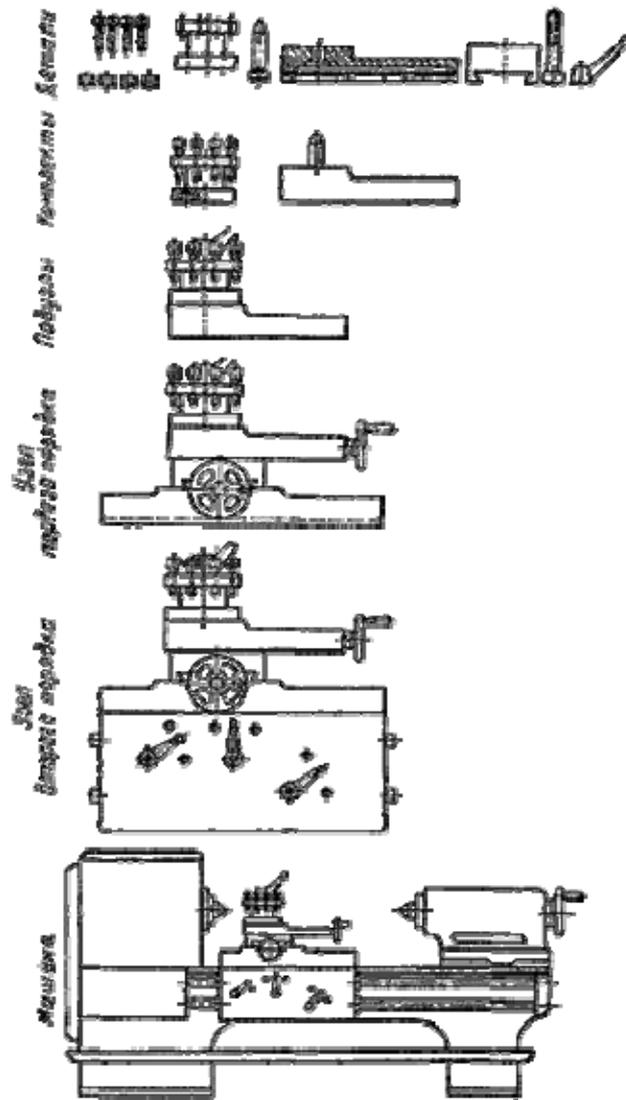


Рис.25.2. Виды сборочных единиц

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.25.4. приведен фрагмент схемы ее сборки.

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

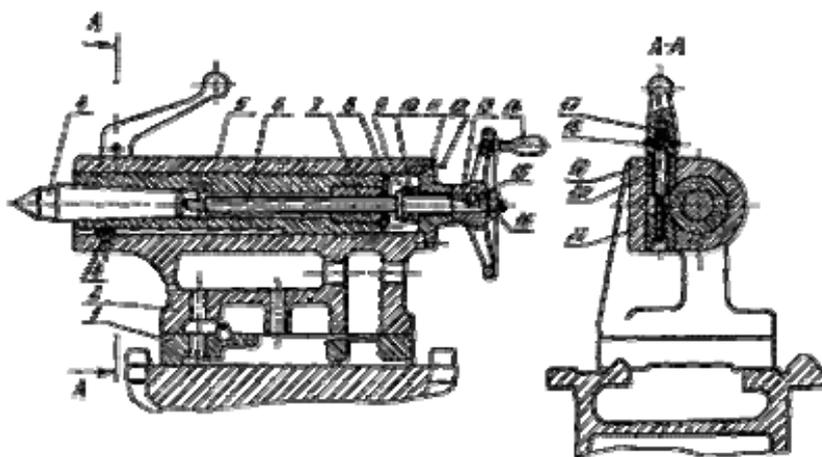


Рис.25.3. Задняя бабка токарного станка

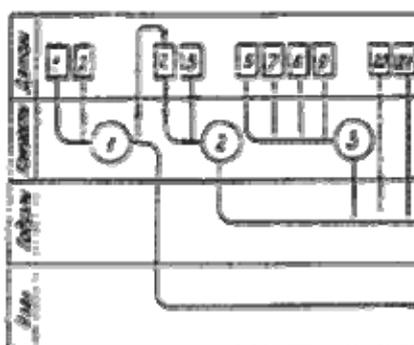


Рис. 25.4. Схема сборки задней бабки токарного станка

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 возможностям многошпиндельными 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 26

### 26. 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.

### **26.1. 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. 26.1).

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.26.1).

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. 26.1).

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. 26.1, поверхность 14).

Назначение свободных поверхностей - завершить конструктивное оформление детали.

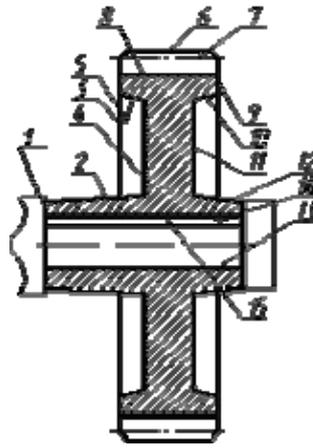


Рис.26.1.Функциональное назначение поверхностей детали: 1, 5, 13—основные поверхности; 7 – исполнительные поверхности; 14 – вспомогательные поверхности; 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15 – свободные поверхности

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.

## **26.2. 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 переменнo-поточное 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.

### ***26.3. 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. 26.2 приведена схема.

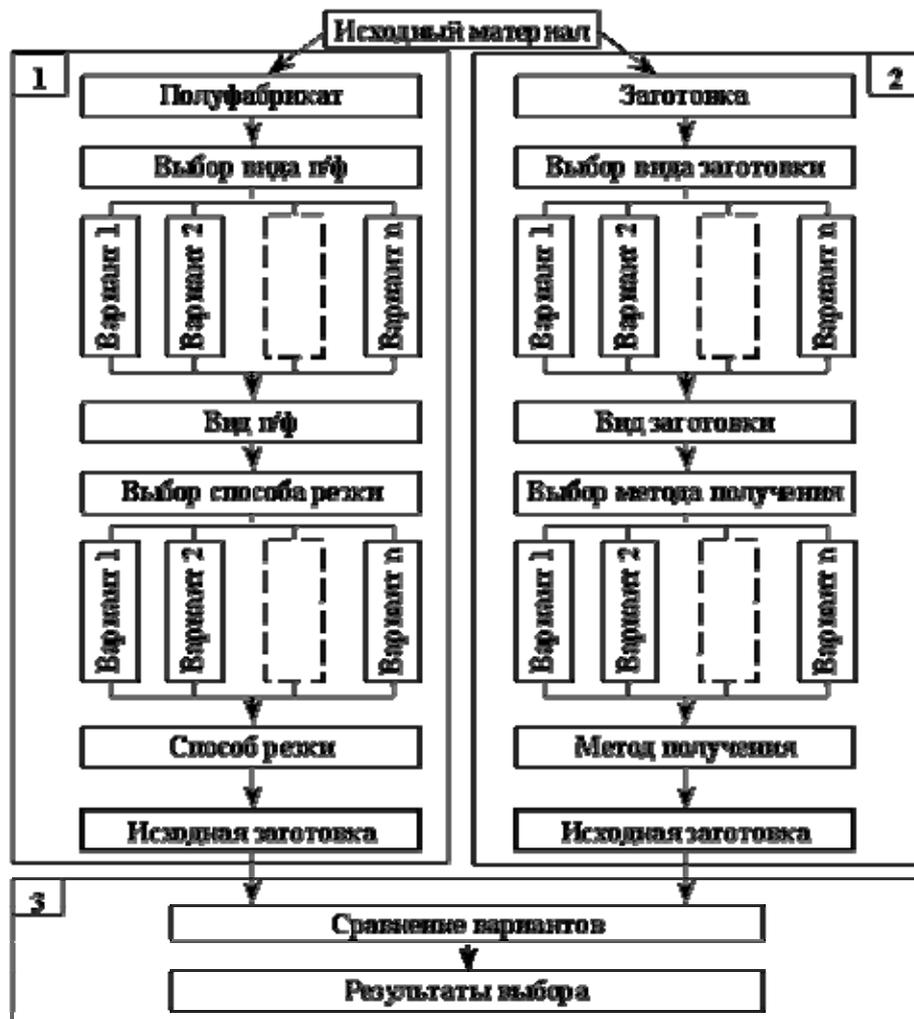


Рис. 26.2. Схема выбора исходной заготовки

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.

#### **26.4. 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 допустимых 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.

### **26.5. 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,  $N_1$  и  $N_{\Sigma}$ , 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:

$$\epsilon = \frac{T_1}{T_2},$$

где

$T_1$  – допускаемое отклонение показателей точности заготовки;

$T_2$  – 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

$$\epsilon_{\text{итог}} = \prod_{i=1}^n \epsilon_i,$$

где

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

$\epsilon_i$  – 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 ( $T_2$ ). Однако выбранная технологическая система способна обеспечить определенное качество детали ( $T_2$ ) лишь при определенном качестве исходной заготовки ( $T_1^{\text{ис}}$ ). Если  $T_1 \geq T_1^{\text{ис}}$ , то рассматриваемая система обеспечит получение поверхности требуемого

качества из выбранной заготовки ( $T_1$ ). Если же  $T_1 \leq T_1$ , то необходимо продолжить выбор системы и найти такую, которая обеспечит на выходе  $T_1$ , и т.д. Схема определения необходимого количества переходов по обработке поверхностей заготовки приведена на рис.26.3. Значения  $T_1, T_2, T_{n-1}, T_n$  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.

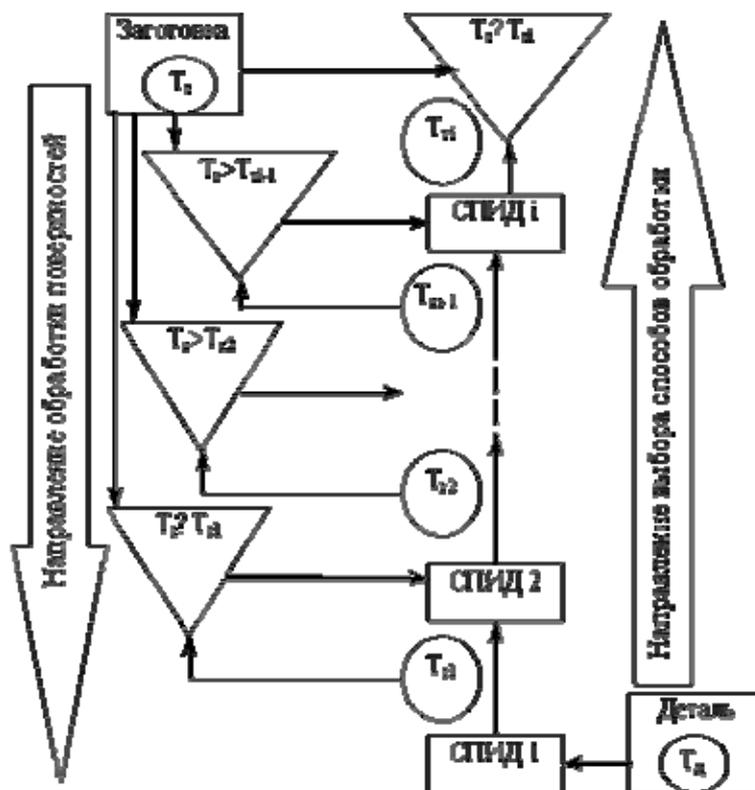


Рис. 26.3.Схема определения необходимого количества переходов по обработке поверхности заготовки

## ЛЕКЦИЯ 27

### 27. Расчет припусков, режимов резания. Оформление документации

#### 27.1. 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.27.1).

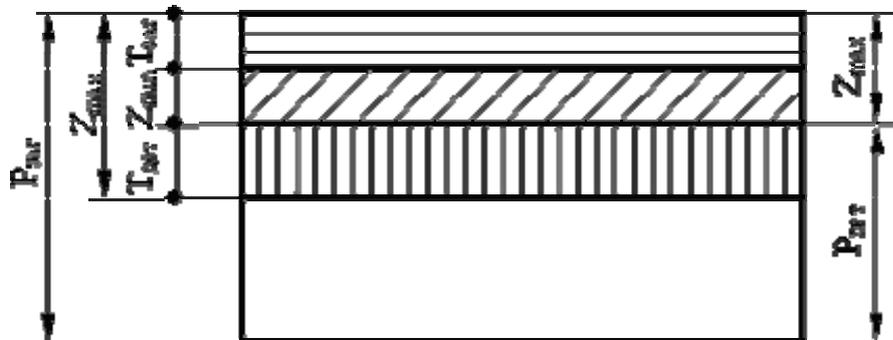


Рис. 27.1. Схематичное отображение различия в толковании понятия “припуск”

Таким образом, прежнее понимание –; новое понимание –  $Z_{max} = Z_{min} + T_{дет}$ ,

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.27.2).

Определение припуска является важной технико-экономической задачей.

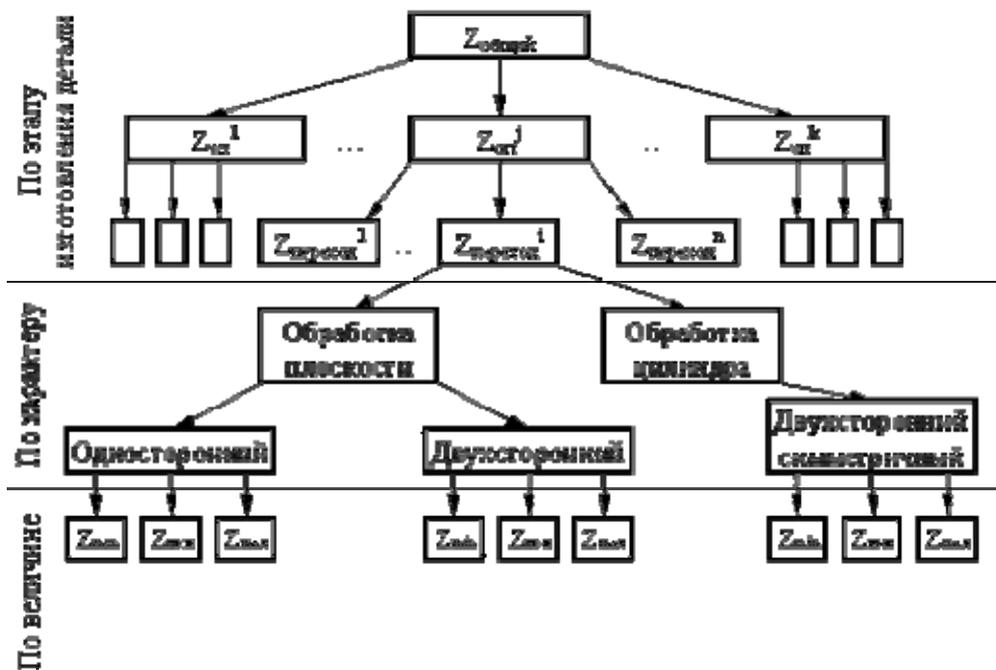


Рис. 27.2. Классификация припусков

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.

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

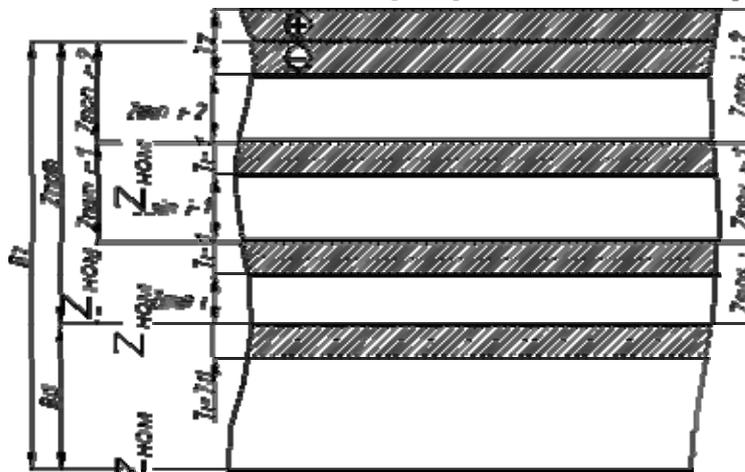


Рис.27.3. Схема припусков и допусков размеров

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

На рисунке индекс  $Z$  относится к заготовке;

$$Z_{\text{зад}, i-1} = Z_{\text{зад}, i} + |T_{\text{зап}}|; \quad Z_{\text{зад}, i-1} = Z_{\text{зад}, i}$$

$d$  – к детали

Из схемы (рис.27.3) видно, следующее:

$Z_{\text{зад}}$  - 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  $Z_{\text{зад}}$  могут совпадать;

$Z_{\min}$  - 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.27.4); б) внутренняя (рис.27.5); как располагается поле допуска на выдерживаемый размер а) “в тело” (рис.27.4,а), (рис.27.5,а); б) симметрично (рис.27.4 б), (рис.27.5,б); – номинальный и максимальный припуски определяются по-разному.

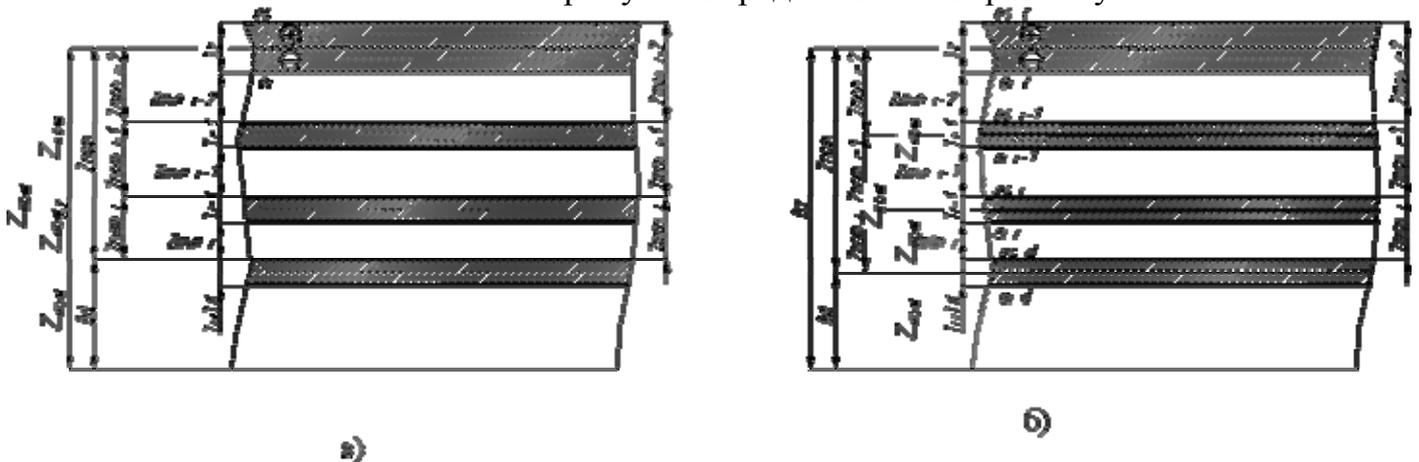


Рис.27.4 Схема определения припусков при обработке наружной поверхности:

$$\begin{aligned}
 & Z_{\max} = Z_{\text{ннл}} + T_1, & Z_{\text{ннл}} &= Z_{\text{ннл}}; \\
 \text{а) } & Z_{\text{ннл}-1} = Z_{\text{ннл}-1} + T_{1-1}, & Z_{\text{ннл}-1} &= Z_{\text{ннл}-1}; \\
 & Z_{\text{ннл}-2} = Z_{\text{ннл}-2} + |p l_{1-2}|, & Z_{\text{ннл}-2} &= Z_{\text{ннл}-2} + T_{1-2}; \\
 & Z_{\text{ннл}} = Z_{\text{ннл}} + \sigma_{1-2} + |p l_{1-2}|, & Z_{\text{ннл}} &= Z_{\text{ннл}} + T_1; \\
 \text{б) } & Z_{\text{ннл}-1} = Z_{\text{ннл}-1} + \sigma_{1-1} + |p l_{1-1}|, & Z_{\text{ннл}-1} &= Z_{\text{ннл}-1} + T_{1-1}; \\
 & Z_{\text{ннл}-2} = Z_{\text{ннл}-2} + \sigma_{1-2} + |p l_{1-2}|, & Z_{\text{ннл}-2} &= Z_{\text{ннл}-2} + T_{1-2};
 \end{aligned}$$

Следует отметить, что основу и  $Z_{\text{ном}}$  и  $Z_{\text{max}}$  составляет  $Z_{\text{min}}$ . 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:

$$Z_{\text{нл}} = R_2 + T + \Pi + \Phi + Y + P,$$

где

$R_2$  – высота микронеровностей поверхности заготовки после ее обработки на предшествующем переходе;

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

$\Pi$  – погрешность смещения и поворота поверхности заготовки относительно ее технологических баз;

$\Phi$  – погрешность формы поверхности заготовки, допущенная при ее обработке на предшествующем переходе;

$Y$  – 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.

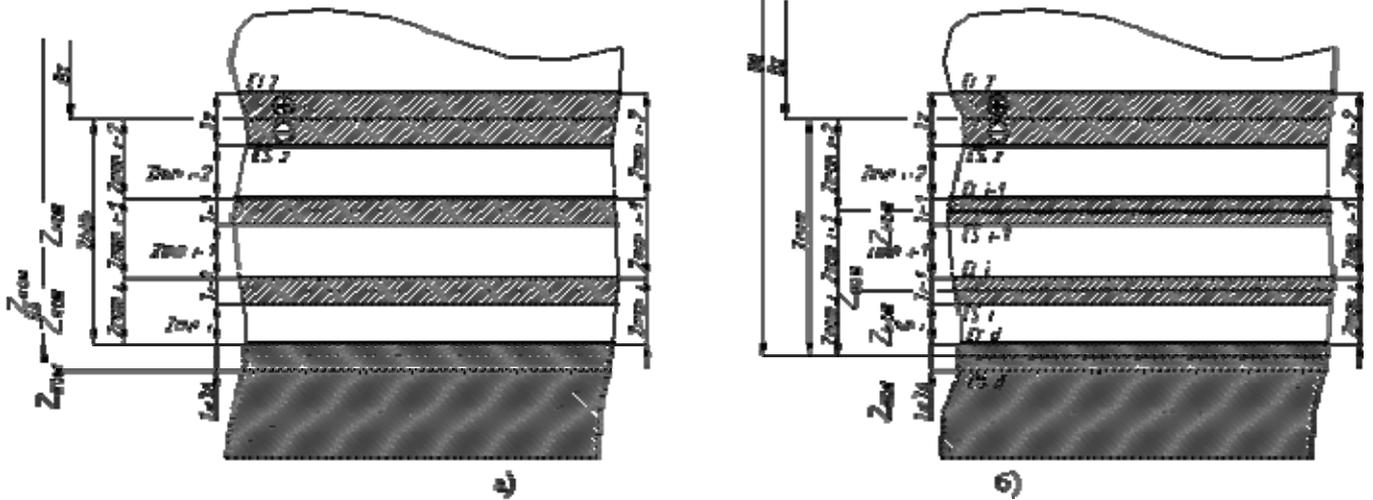


Рис. 27.5. Схема определения припусков при обработке внутренней поверхности:

$$\begin{aligned}
 & Z_{\text{зад}} = Z_{\text{зад}} + T_i; & Z_{\text{зад}} = Z_{\text{зад}}; \\
 \text{а) } & Z_{\text{зад}i-1} = Z_{\text{зад}i-1} + T_{i-1}; & Z_{\text{зад}i-1} = Z_{\text{зад}i-1}; \\
 & Z_{\text{зад}i-2} = Z_{\text{зад}i-2} + |ES_{\text{зад}}|; & Z_{\text{зад}i-2} = Z_{\text{зад}i-2} + T_{\text{зад}}; \\
 & Z_{\text{зад}} = Z_{\text{зад}} + ES_i + |BI_{\text{зад}}|; & Z_{\text{зад}} = Z_{\text{зад}} + T_i; \\
 \text{б) } & Z_{\text{зад}i-1} = Z_{\text{зад}i-1} + ES_{i-1} + |BI_i|; & Z_{\text{зад}i-1} = Z_{\text{зад}i-1} + T_{i-1}; \\
 & Z_{\text{зад}i-2} = Z_{\text{зад}i-2} + ES_{\text{зад}} + |BI_{i-1}|; & Z_{\text{зад}i-2} = Z_{\text{зад}i-2} + T_{\text{зад}};
 \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

- при параллельной обработке противоположных поверхностей (двусторонний припуск):

$$2Z_{\text{зад}} = 2 \left[ (R_r + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i \right];$$

- при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения:

$$2Z_{\text{зад}} = 2 \left[ (R_r + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2} \right].$$

Знание величины  $Z_{\text{зад}}$  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.27.6, 27.7).

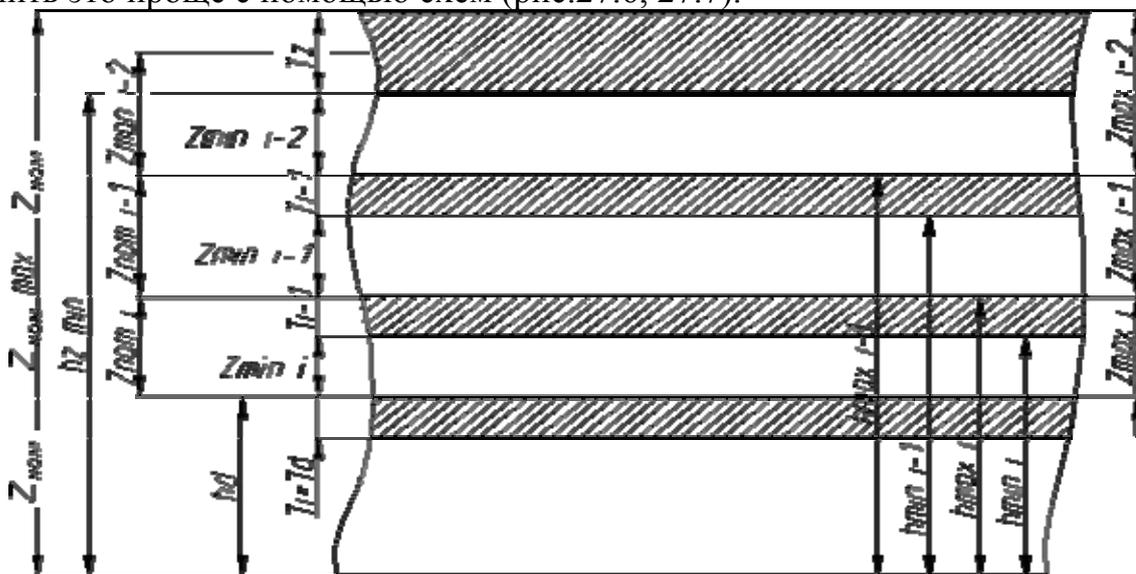


Рис.27.6.Схема связей между межпереходными размерами, припусками и допусками для охватываемых поверхностей

В соответствии со схемой (рис.27.6) предельные значения межпереходных размеров равны:

$$\begin{aligned} k_{max} &= k_0 + Z_{max i}; & k_{max} &= k_0 + Z_{max i}; \\ k_{max-1} &= k_{max} + Z_{max i-1}; & k_{max-1} &= k_{max} + Z_{max i-1}; \\ k_{min i} &= k_{max-1} + Z_{min i}; & k_{min i} &= k_{max-1} + Z_{min i}; \end{aligned}$$

Предельные размеры заготовки можно представить в общем виде:

$$\begin{aligned} k_{max} &= k_0 + Z_{max} - T_{max}; \\ k_{min} &= k_0 + Z_{min}. \end{aligned}$$

Предельные значения припуска исходной заготовки:

$$\begin{aligned} Z_{max} &= \sum_{i=1}^n Z_{max i} - T_{max}; \\ Z_{min} &= \sum_{i=1}^n Z_{min i}, \end{aligned}$$

где

$n$  – количество переходов по обработке поверхности заготовки;

$T_{max}$  – допуск, ограничивающий отклонение размера исходной заготовки.

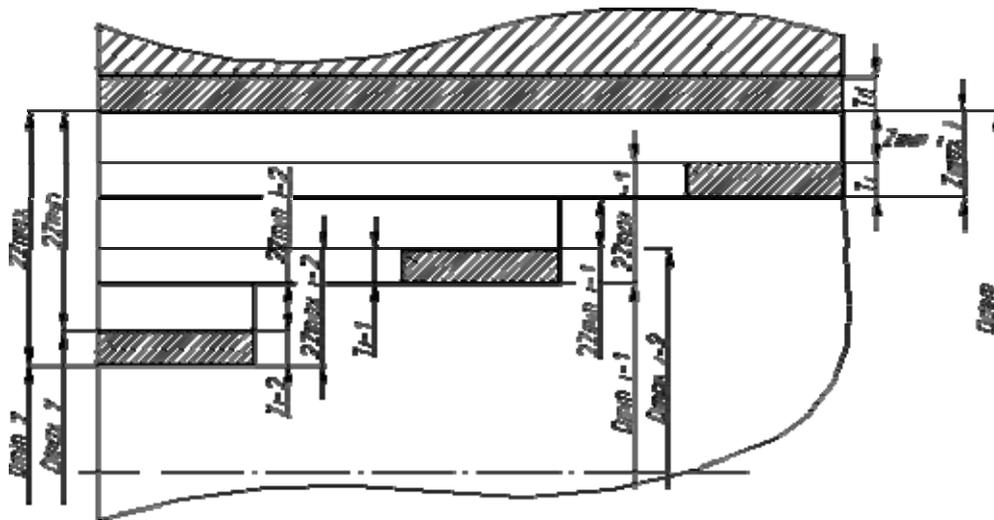


Рис. 27.7.Схема связей между межпереходными размерами, припусками и допусками для охватывающих поверхностей

Например, предельные значения диаметра отверстия исходной заготовки равны:

$$D_{max} = D_0 - 2Z_{max}^{min};$$

$$D_{min} = D_0 - 2Z_{min}^{min} + T_{max}.$$

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.

## 27.2. 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 ( $a_p$ ); подачей ( $f$ ); 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.

### **27.3. 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.

### **27.4. 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, комплекточные 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.

## Основная литература

1. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. ГОСТ 21496. Изд-во стандартов, 1982, 35с.
2. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1969. 358с.
3. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения. В 2-х кн. М.: Машиностроение, 1982. Кн.1. 283с.; Кн.2. 269с.
4. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. Учебник для машиностр. И приборостр. Спец. Вузов. М.% Высшая школа, 1985. 304 с.
5. Допуски и посадки: Справочник. В 2-х ч. В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. Л.: Машиностроение, 1983. Ч1. 543 с.; Ч.2 448с.
6. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1997.- 592с.: ISBN 5-217-02692-8.
7. Марков Н.Н. Взаимозаменяемость и технические измерения. Учебник. М.: Изд-во стандартов, 1983. 288с.
8. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». Л.: Машиностроение, 1985. 512с.
9. Материаловедение: Учебник для высших технических заведений / Б.Н.Арзамасов, И.И.Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др. ; Под общ. Ред. Б.Н. Арзамасов. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Машиностроение, 1986. 786 с.
10. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. В 2-х т. Л.: Машиностроение, 1983. 786с.
11. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. 592с.
12. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / Под ред. В.С.Корсакова. Изд. 3-е доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1977, 416с.
13. Подураев В.Н. Технология физико-химических методов обработки. М.: Машиностроение, 1985. 264с.
14. Пугачев В.С. Теория вероятности и математическая статистика: Учеб. Пособие для вузов. М.: Наука, 1979. 496с.
15. Размерный анализ технологических процессов / В.В.Матвеев, М.М.Тверской, Ф.И.Бойков и др. М.: Машиностроение, 1982. 264с.
16. Справочник инструментальщика/ И.А.Ординарцев, Г.В.Филлипов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. Л.: Машиностроение, 1987. 846с.
17. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К.Мещерякова. М.: Машиностроение. 1985. Т1.656с.; Т2. 496с.
18. Технологичность конструкции изделий: Справочник / Под ред. Д.Адамирова. М.: Машиностроение, 1985. 368с.
19. Технология машиностроения (специальная часть): Учебник для машиностроительных специальностей вузов /А.А.Гусев, Е.Р.Ковальчук, И.М.Колесов и др. М.: Машиностроение, 1986. 480 с.

20. Цепи размерные. Основные понятия, методы расчета линейных и угловых цепей. Методические указания РД 50-635-87 / И.М.Колесов, Е.И.Луцков, А.И.Кубарев и др. М.: Изд-во стандартов. 10876. 42с.

21. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для вузов. Изд. 6-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1987. 352с.

22. Методические указания по выполнению анализа вариантов базирования и выбору технологических баз для студентов спец. 0501 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / ИЭИ им. В.И.Ленина: сост. Птуха Л.И. – Иваново, 1982.

23. Методика выполнения анализа вариантов базирования / ИЭИ им. В.И.Ленина: сост. Л.И.Птуха – Иваново, 1994.

Размерный анализ конструкции изделия/ ИЭИ им. В.И.Ленина: сост. Л.И.Птуха - Иваново, 1999.