

# *Лекция №4.*

## *ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.*

*Ст. преподаватель кафедры*

*«Технология металлов»*

*Миранович Алексей Валерьевич*

## **4.1. Классификация погрешностей механической обработки**

При разработке рабочих чертежей деталей назначаются допустимые отклонения от номинальных размеров, которые отвечают требованиям точности их изготовления.

**Точность деталей характеризуется:**

- 1) допускаемыми отклонениями ее действительных размеров от номинальных;**
- 2) допускаемыми отклонениями от геометрической формы детали или ее отдельных элементов (овальность, огранка, некруглость, нецилиндричность, изогнутость, конусообразность и др.);**
- 3) допускаемыми отклонениями поверхностей и осей детали от их взаимного расположения или расположения относительно базы (например, отклонение межцентрового расстояния двух отверстий, не параллельность плоскостей, осей, несоосность, отклонения базового торца относительно оси отверстия и др.).**

**Самостоятельным критерием является оценка точности детали в зависимости от шероховатости поверхности.**

**При изготовлении деталей необходимо также соблюдать требования к физико-механическим свойствам материала, а в отдельных случаях и такие требования, как точность массы детали, дисбаланс и др.**

**Точность изготовления детали** – степень соответствия ее всем требованиям рабочего чертежа, технических условий и стандартов. Чем больше это соответствие, тем выше точность изготовления.

Действительные отклонения параметров реальной детали от их заданных номинальных значений называют **погрешностью изготовления.**

Разность предельных отклонений рассматриваемого параметра называется **допуском.** Допуски, проставляемые на рабочем чертеже, носят название конструкторских.

В процессе разработки ТП технолог проставляет допуски на размеры заготовок, которые необходимо выдержать при выполнении промежуточных технологических операций, например допуски на длину при отрезке заготовки, на размеры после черновой обработки и т.д. Эти **допуски** называют **технологическими** или **операционными.**

Все первичные (элементарные) погрешности обработки можно разделить на систематические постоянные, систематические переменные и случайные.

При изготовлении деталей необходимо также **соблюдать требования к физико-механическим свойствам материала,** а в отдельных случаях и такие **требования, как точность массы детали, дисбаланс и др.**

**Точность изготовления детали – степень соответствия ее всем требованиям рабочего чертежа, технических условий и стандартов.** Чем больше это соответствие, тем выше точность изготовления.

**Систематическими постоянными** называют такие **погрешности, которые при обработке партии заготовок постоянны по величине и знаку,** например возникающие вследствие погрешности в размере режущего инструмента (развертки, зенкера и др.), в результате неточности профиля фасонного резца или погрешности настройки станка.

**Систематическими переменными погрешностями** называют **такие погрешности, которые в процессе обработки закономерно изменяются по времени,** т.е. в зависимости от количества изготовленных изделий. К этой группе относятся погрешности, **вызываемые износом режущего инструмента,** и погрешности, обусловленные тепловыми деформациями элементов технологической системы в период работы станка.

**Случайными погрешностями** называют **такие, которые для заготовок данной партии имеют различные величины,** причем **появление таких погрешностей и точное их значение заранее предсказать невозможно** (например, погрешность установки заготовки, изменение размеров заготовки в результате колебаний припуска или неравномерной твердости).

## 4.2. Факторы, влияющие на точность механической обработки

**Основные технологические факторы.** На точность механической обработки влияет ряд технологических факторов: геометрические погрешности изготовления станка и изнашивание его элементов; неточность изготовления и изнашивание инструмента; деформации обрабатываемой заготовки; погрешность установки заготовки; жесткость технологической системы; погрешность настройки станка; погрешности, вызываемые тепловыми деформациями системы; остаточные напряжения в материале заготовки; неточность средств и методов измерений; вибрации технологической системы и др.

**Основные факторы, вызывающие погрешность обработки.**

Геометрическая погрешность изготовления станка и изнашивание его элементов. Геометрическая погрешность изготовления станка возникает вследствие неточностей при сборке и обработке его основных узлов. Для каждой группы станков установлены нормы точности станков, которые регламентируют точность изготовления и сборки деталей. Например, отклонение от прямолинейности, плоскостности и параллельности направляющих должно быть 0,02 мм на длине 1000 мм. Допуск радиального биения шпинделей должен составлять 0,01...0,05 мм, а торцового – 0,01...0,02 мм.

**Геометрическая погрешность** изготовления **станка** вызывает отклонения значений **размеров, формы и расположения обработанных поверхностей**. Например, при обработке консольно закрепленной заготовки отклонение от параллельности оси шпинделя токарного станка по отношению к направляющим станины в горизонтальной плоскости характеризуется конусообразностью:

$$\Delta_{\text{кон}} = \Delta_{\text{д}} L_3 / L_P,$$

где –  $\Delta_{\text{д}}$  допустимое отклонение оси шпинделя от параллельности по отношению к направляющим станины токарного станка на длине пути резания  $L_P$ ;  $L_3$  – длина обрабатываемой заготовки, мм.

**Неточность изготовления и изнашивание инструмента.** Неточность изготовления фасонного режущего инструмента (сверла, развертки, метчики, протяжки, фасонные резцы, фрезы) непосредственно влияет на точность обработки.

Линейный износ инструмента зависит от длины пути резания  $L_P$  и определяется, например при точении вала следующей зависимостью:

$$t_{\text{и}} = t_0 (L_P + l_{\text{доп}}) / 1000 ,$$

где  $t_0$  – относительный износ инструмента для данных условий выполнения операций, определяемый по нормативам;  $L_P = (\pi d / 1000) (L_{\text{п}} / S)$ ;  $l_{\text{доп}}$  – дополнительный путь резания, учитывающий интенсивное начальное изнашивание:  $l_{\text{доп}} = 1000$  м;  $d$  – диаметр обрабатываемого вала, мм;  $L_{\text{п}}$  – длина прохода, мм;  $S$  – подача, мм/об.

**Деформации обрабатываемой заготовки.** При установке заготовки в приспособление под действием усилия закрепления происходит ее деформация, что приводит к изменениям размеров и формы детали.

Например, при закреплении тонкостенного кольца в трехкулачковом патроне кольцо деформируется, утрачивая круглую форму. После растачивания внутренней поверхности и снятия сил зажима вследствие упругой деформации заготовки наружная поверхность кольца примет круглую форму, а внутренняя ее потеряет.

При чистовой обработке тонкостенных нежестких заготовок (колец, гильз, валов, корпусных деталей) необходимо применять приспособления, которые обеспечивают равномерное распределение сил зажима по поверхности детали. К таким приспособлениям относятся пневматические и гидравлические устройства, различные цанговые зажимы, разрезные втулки, мембранные патроны и др. При обработке нежестких валов применяют люнеты.

**Погрешность установки заготовки.** При установке заготовки в приспособление ее положение должно быть определено относительно режущего инструмента.

**Погрешность установки** зависит от правильного выбора базовых поверхностей, точности изготовления и износа приспособления, смещения измерительной базы в направлении получаемого размера при закреплении заготовки.

Таким образом, **погрешность установки  $\Delta_y$**  состоит из трех слагаемых: **погрешности базирования  $\Delta_b$** , **погрешности закрепления  $\Delta_z$**  и **погрешности изготовления приспособления  $\Delta_{пр}$** . При этом

$$\Delta_{\text{БП}} = \sqrt{\Delta^2 + \Delta_3^2 + \Delta} \quad .$$

**Жесткость технологической системы.** Основным источником погрешностей механической обработки является недостаточная **жесткость системы станок–приспособление–инструмент–деталь**. Она представляет собой замкнутую упругую систему, которая деформируется под действием сил резания.

Погрешности от упругих деформаций системы составляют в отдельных случаях 80 % общей погрешности механической обработки.

Сила резания действует не только на режущий инструмент, но и на заготовку, причем основное влияние на деформацию оказывает радиальная составляющая  **$R_y$  силы резания**, направленная по нормали к обрабатываемой поверхности. В процессе обработки **сила резания вызывает упругие отжатия элементов технологической системы**. Их величины зависят от силы резания и жесткости элементов системы, т.е. от их способности противостоять действующей силе.

**Неравномерность упругих отжатий** обусловлена нестабильностью силы резания вследствие неравномерной глубины резания, непостоянством размеров заготовок в партии, механическими свойствами материала, затуплением инструмента. Форма и размеры заготовки при этом изменяются.

Таким образом, **точность обработанных поверхностей зависит от жесткости элементов технологической системы.**

Под жесткостью какого-либо **элемента технологической системы** понимают отношение радиальной составляющей  $R_y$  силы резания к смещению лезвия инструмента в направлении действия этой силы:

$$J = \frac{1}{\Delta y}$$



**Податливость технологической системы.** Величина, обратная жесткости, называется **податливостью**:

$$\mathcal{W} = \Delta l / y,$$

**В процессе обработки на систему влияют** и другие составляющие силы резания –  $P_z$  и  $P_x$ , однако при определении жесткости эти силы не учитывают.

Расчет жесткости основывается на определении жесткости заготовки, узлов станка, инструмента и приспособления. Жесткость элементов технологической системы находят экспериментально, а жесткости детали и некоторых инструментов определяют аналитически.

Для **определения жесткости вала при обработке его в центрах** на токарном станке **используют формулу** изгиба балки, свободно лежащей на двух опорах:

$$f = Pl_B^3 / (48EI),$$

где  $f$  – стрела прогиба, см;  $P$  – нагрузка, Н;  $L_B$  – длина вала, см;  $E$  – модуль упругости, Па;  $I$  – момент инерции, см<sup>4</sup>.

Нестабильность силы резания, неоднородная жесткость элементов технологической системы вызывают ее вибрации, которые влияют на шероховатость обрабатываемой поверхности.

**Определение жесткости системы сводится к нахождению перемещений элементов системы.** Известно, что **деформация системы равна сумме деформаций отдельных ее элементов**, следовательно, **суммарная деформация системы**

$$\Delta l_{\Sigma} = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots + \Delta l_n,$$

где  $\Delta l_n$  – перемещение  $n$ -го элемента системы.

**Погрешность настройки станка.** При изнашивании инструмента возникает необходимость каждый раз настраивать его на выполняемый размер.

**Установка инструмента на соответствующий размер осуществляется двумя способами.**

**По первому способу** настройку инструмента производят последовательным приближением его к заготовке на заданный размер. После снятия пробных стружек проверяют размер универсальными измерительными инструментами. По набору данных определяют величину и направление смещения инструмента.

Установку инструмента на размер для обработки пробных деталей осуществляют при помощи лимбов, индикаторов и т.д. При этом **погрешность настройки инструмента  $\Delta_n$**  включает погрешности регулирования  $\Delta_r$  и измерения  $\Delta_{из}$  размеров пробных деталей.

Учитывая, что  $\Delta_n$  и  $\Delta_r$  относятся к радиусу, а  $\Delta_{из}$  – к диаметру, получим:

для поверхностей вращения

$$\Delta_{из} = \sqrt{(K_P \Delta_P)^2 + (K_H \Delta_n / 2)^2}$$

для плоских поверхностей

$$\Delta_{из} = \sqrt{(K_P \Delta_P)^2 + (K_H \Delta_n)^2}$$

Коэффициенты  $K_P = 1,14 \dots 1,73$  и  $K_H = 1$  учитывают отклонения величин  $\Delta_P$  и  $\Delta_n$  от нормального закона распределения.

**По второму способу** установку инструмента производят по эталонам или с помощью специальных приспособлений станка.

**Настройку по эталону** выполняют при неработающем станке. При этом учитывают упругие отжатия технологической системы, подбирая нужную толщину шупа между эталоном и инструментом. **Погрешность настройки по эталону будет складываться из погрешностей изготовления эталона и установки инструмента.**

## **Погрешность при тепловых деформациях системы.**

В процессе обработки элементы технологической системы нагреваются в результате трения подвижных частей станка.

Различают два вида теплового состояния системы:

- **нестационарное** (пуск станка до теплового равновесия системы) и
- **стационарное** (окончание обработки).

Нагрев деталей станка, заготовки, инструмента, приспособления приводит к линейному и объемному увеличению их размеров. Происходит удлинение режущего инструмента, увеличиваются детали станка и обрабатываемая заготовка.

При черновой обработке нагрев заготовки будет больше, чем при чистовой. Если чистовую обработку осуществлять сразу после черновой, то погрешности формы обработанной заготовки из-за температурных деформаций будут большими. Поэтому между черновой и чистовой обработками следует выдержать необходимый промежуток времени для остывания заготовки.

Полную погрешность обработки  $\sum \Delta$ , связанную с температурными деформациями деталей станков, определить весьма сложно.

Только в некоторых случаях, например при равномерном нагреве деталей, можно вычислить изменение их размеров:

где  $L_d$  – размер детали;  $\alpha_d$  – коэффициент линейного расширения материала детали;  $t_d$  – изменение температуры детали.

### 4.3. Методы оценки надежности технологических систем по параметрам точности

При оценке надежности технологических систем по параметрам точности определяют возможность применения рассматриваемого ТП для изготовления продукции с заданными параметрами качества; изменение точностных характеристик технологических систем во времени и их соответствие требованиям, установленным в нормативно-технической документации.

Контроль точности технологических систем осуществляют по альтернативному (при разработке ТП на этапе технологической подготовки производства и при управлении ТП) или количественному (при определении периодичности подналадок технологического оборудования, выбора методов и планов статистического регулирования технологических процессов и операций и т. д.) признаку.

При контроле по альтернативному признаку проверяют соответствие параметров ТП и средств технологического оснащения требованиям, установленным в нормативно-технической документации.

При контроле по количественному признаку определяют ряд значений показателей точности.

**Коэффициент точности** (по контролируемому параметру  $x$ )

$$K_T = \frac{R}{T},$$

где  $R$  – поле рассеяния (или размах  $R$ ) контролируемого параметра за установленную наработку технологической системы, определяемое с доверительной вероятностью по выражению  $R = kS$ , здесь  $k$  – коэффициент, зависящий от закона распределения параметра  $x$  и величины  $T$ ;  $S$  – среднеквадратическое отклонение параметра  $x$ ;  $T$  – допуск параметра  $x$ .

**Размах  $R$**  (разность максимального и минимального параметров в объединенной выборке, состоящей из серии мгновенных выборок)

$$\omega \approx R = x_{\max} - x_{\min},$$

**Коэффициент мгновенного рассеяния** (по контролируемому параметру)

$$K_P(t) = \frac{\omega(t)}{\Delta(t)},$$

$\omega(t)$  – поле рассеяния параметра в момент времени  $t$ .

**Коэффициент смещения** (контролируемого параметра)

$$K_C = \frac{\bar{\Delta}(t)}{\Delta(t)}$$

$\bar{\Delta}(t)$  – среднее отклонение параметра относительно середины поля допуска в момент времени  $t$ :

$$\bar{\Delta}(t) = \left[ \bar{x}(t) - x_0 \right]$$

$\bar{x}(t)$  – среднее значение параметра;  $x_0$  – параметр, соответствующий середине поля допуска (при симметричном поле допуска  $x_0$  совпадает с номинальной величиной  $x_{НОМ}$ ).

**Коэффициент запаса точности** (по контролируемому параметру).

$$K_3 = 0,5 - K_C(t) - 0,5K_P(t)$$

Для обеспечения надежности технологической системы по параметрам точности необходимо в любой момент времени (в пределах установленной наработки) выполнить следующие условия:

$$K_T \leq K_{T.O} < 1; \quad K_3(t) > 0$$

где  $K_{T.O}$  – нормативное (предельное, технически обоснованное) значение  $K_T$

В условиях единичного и мелкосерийного производства, когда число одноименных деталей не позволяет применить указанные выше коэффициенты, контроль точности технологической системы можно выполнить по альтернативному признаку, используя метод приведенных отклонений (ГОСТ 27.202-83). В одну выборку включают детали, характеризующиеся конструктивным подобием и общностью ТП обработки.

**Точность технологической операции считается удовлетворительной при выполнении одного из следующих условий:**

$$0 \leq \Delta_{\text{пр}i} = \frac{\Delta_{D_i} - \Delta_{H_i}}{T_i}; \quad 0 \leq \Delta_{\text{пр}i} = \frac{\Delta_{B_i} - \Delta_{D_i}}{T_i}; \quad 0 \leq \Delta_{\text{пр}i} = \frac{\Delta(D_i \Delta_{O_i})}{T_i}$$

при расчете приведенных отклонений размера соответственно относительно нижнего  $\Delta_{H_i}$ , верхнего  $\Delta_{B_i}$  предельных отклонений и координаты середины поля допуска  $\Delta_{O_i}$  ;

$$0 \leq \Delta_{\text{пр}i} = \frac{\Delta_{\Phi, D_i}}{T_{\Phi i}} \leq$$

при расчете приведенных отклонений для параметров формы и расположения для всех деталей  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , объединенных в выборку. В приведенных  $\Delta_{D_i}$  формах  $\Delta_{\Phi, D_i}$  и  $\Delta_{\Phi, D_i}$  — действительные отклонения размера и формы (расположения)  $i$ -й детали;  $T_i$  и  $T_{\Phi, i}$  — допуск соответственно размера и формы (расположения)  $i$ -й детали.

#### 4.4. Достижимая и экономическая точность

**Под достижимой точностью** понимают точность, которая может быть обеспечена при обработке заготовки рабочим высокой квалификации на станке, находящемся в нормальном эксплуатационном состоянии, при максимально возможных затратах труда и времени на обработку.

**Экономическая точность** – такая точность, для обеспечения которой затраты при данном способе обработки меньше, чем при использовании другого способа обработки той же поверхности.

Для достижения высокой точности, заданной допуском  $T$ , требуются большие затраты на обработку  $C$  (рисунок 4.2).

Например, для обеспечения точности  $T_2$  при чистовом точении требуются затраты  $C_1$ , а для более высокой точности  $T_1$  – большие затраты  $C_2$ . Чистовое точение экономично при допуске более  $T_3$ , при меньшем допуске экономично шлифование.

Граница экономической точности шлифования и притирки определяется соответственно величинам  $T_2$  и  $T_4$ . Средняя экономическая точность, например, чистового шлифования – 5...8-й качества, доводки – 5-й качество.

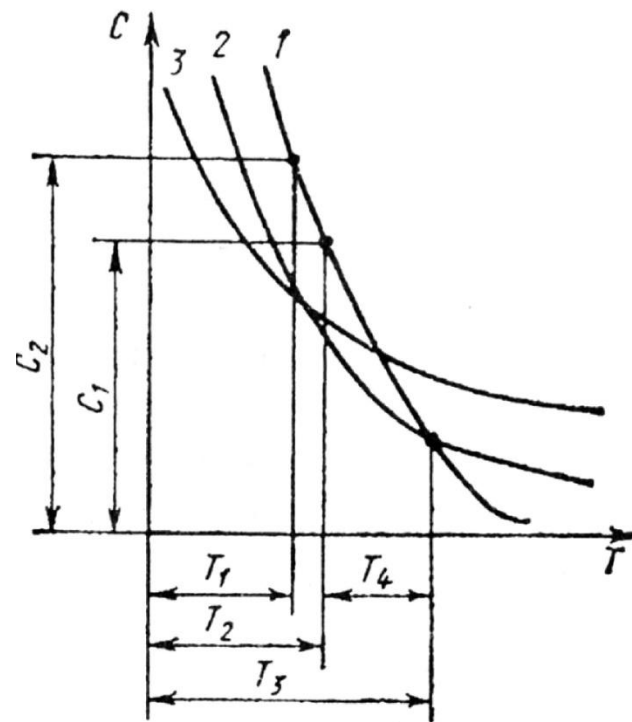


Рис.унок 4.2 – Экономическая точность обработки: 1 – при точении; 2 – при шлифовании; 3 – при притирке