

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 Δ_y состоит из трех слагаемых: погрешности базирования Δ_b , погрешности закрепления Δ_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, см⁴.

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 Δl_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 Δ_n** включает погрешности регулирования Δ_r и измерения $\Delta_{из}$ размеров пробных деталей.

Учитывая, что Δ_n и Δ_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 Δ_P и Δ_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; α_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 $R = k S$, 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 Δ_{H_i} , верхнего Δ_{B_i} предельных отклонений и координаты середины поля допуска Δ_{O_i} ;

$$0 \leq \Delta_{\text{пр}i} = \frac{\Delta_{\Phi, D_i}}{T_{\Phi i}} \leq 1$$

при расчете приведенных отклонений для параметров формы и расположения для всех деталей $i = 1, 2, 3, \dots, n$, объединенных в выборку. В приведенных Δ_{D_i} формах Δ_{Φ, D_i} и Δ_{Φ, 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.

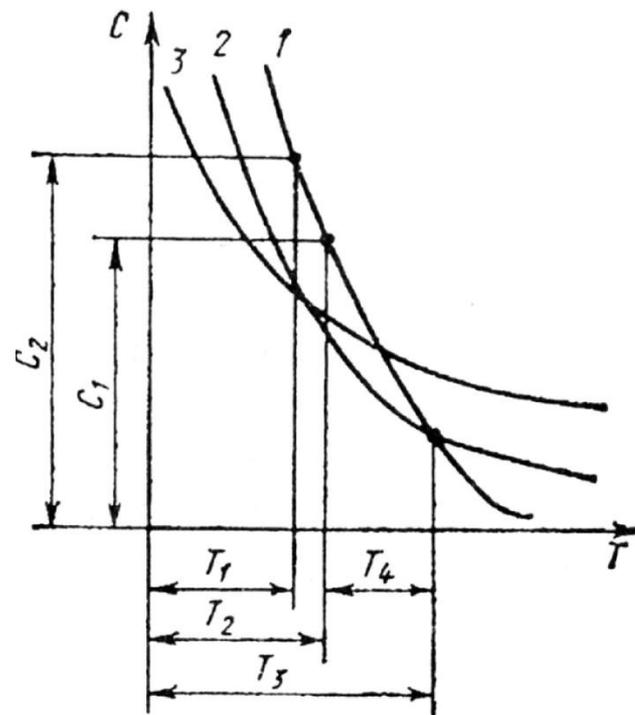


Рис.унок 4.2 – Экономическая точность обработки: 1 – при точении; 2 – при шлифровании; 3 – при притирке