

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ХАРКІВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

І.М. Пижов

Конспект лекцій
(Теорія точності)

з дисципліни «Теоретичні основи технологій машинобудування»

Харків-2018

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1.....	3
Лекция 2.....	6
Лекция 3.....	10
Лекция 4.....	13
Лекции 5, 6.....	18
Лекция 7.....	25
Лекция 8, 9.....	29
Лекции 10, 11.....	36
Лекция 12, 13.....	40
Лекция 14.....	49
Литература.....	55

ЛЕКЦИЯ 1

План лекции:

1. *Понятие о точности.*
2. *Основные методы получения заданной точности при мехобработке на металлорежущих станках.*
 - метод пробных ходов и промеров;
 - метод лимба;
 - метод автоматического получения размеров;
 - активное управление получаемыми размерами в процессе обработки.

1. Точность механической обработки

В последние годы в связи с возросшими требованиями к качеству и эксплуатационным показателям машины значительно выросли требования к точности мехобработки. Эти вопросы становятся одними из главных в технике.

Точность конкретной детали – это есть степень ее соответствия чертежу, спроектированному конструктором. С абсолютной точностью (без отклонений от номинального размера) как одну, так и партию деталей изготовить практически невозможно т.к. в процессе обработки имеют место погрешности. В этом случае точность детали характеризуется соотношением между действительной погрешностью (Δ) и допуском (Td) на размер.

В общем случае должно иметь место соотношение:

$$\Delta \leq Td.$$

При решении проблемы точности в МШ технолог должен обеспечить:

- требуемую конструктором точность изготовления или сборки машины (изделия) при высокой производительности и низкой себестоимости;
- необходимые средства измерения и контроля фактической точности обработки или сборки;
- установку допусков технологических операционных размеров, размеров исходных заготовок и их выполнение в ходе техпроцесса;
- исследовать фактическую точность установленных техпроцессов и проанализировать причины возникновения погрешностей обработки и сборки.

В МШ применительно к процессам мехобработки и сборки машины рассматриваются три критерия точности:

- отклонения действительных размеров от номинальных;
- отклонения формы;
- отклонения взаиморасположения поверхностей;
- требуемая шероховатость обработанных поверхностей.

Следует иметь в виду, что с увеличением точности возрастает себестоимость изделия т.к.:

- увеличивается расход материала за счет увеличения количества операций (а, следовательно, и припуска на обработку);

-возрастает трудоемкость обработки т.к. чистовые и отделочные операции имеют, как правило, большую продолжительность по сравнению с черновыми (в основном из-за режимов обработки и т.д.);

-увеличивается вероятность появления брака;

-для выполнения более точных операций привлекаются рабочие более высокой квалификации; используется более дорогое оборудование, инструменты и оснастка, иногда требуются специальные помещения. Кроме этого, возрастают затраты времени на более частую переналадку оборудования и переточку инструмента, требуется более тщательный уход за оборудованием и др.;

-увеличиваются сроки подготовки производства.

В связи с этим требуемая точность должна строго обосновываться и не завышаться. Она может устанавливаться 3-мя методами:

- на основании теоретических данных путем анализа и расчета функций отдельных узлов и механизмов машины;

- путем научных экспериментальных исследований на макетах или отдельных образцах машины. В худшем случае на одном экземпляре машины;

- на основании опыта эксплуатации аналогичных машин.

Основные методы получения заданной точности при мехобработке на металлорежущих станках

В настоящее время в МШ применяются 4 основные метода достижения заданной точности. Целесообразность того или иного метода прежде всего зависит от следующего:

а) - типа производства (Нг.);

б) - применяемого оборудования;

в) - конструкции детали.

Рассмотрим эти методы подробно.

1. Метод индивидуального получения размеров со снятием стружки пробными ходами (метод пробных ходов и промеров). В этом случае рабочим первоначально производится индивидуальная выверка заготовки, измеряется действительный размер детали и производится ряд пробных проходов (обработок) сопровождаемых промерами размеров. При этом вначале снимаются большие слои материала, а затем (по мере приближения к окончательному размеру) глубину резания уменьшают.

Здесь часто применяют разметку (чертилками, штангенциркулями и т.д.), которая показывает контур готовой детали, положение центров отверстий, контуры выемок и окон. При работе рабочий старается совместить траекторию движения режущего инструмента с линией разметки.

Достоинства метода:

- на сравнительно неточном оборудовании можно получить достаточно высокую точность, т.е. точность во многом определяется квалификацией рабочего (субъективный фактор);

- исключается влияние износа инструмента на точность;

- из маломерной и неточной заготовки путем разметки можно выкроить требуемый участок и получить готовую деталь;
- не требует сложных приспособлений.

Недостатки метода:

- зависимость достигаемой точности от минимальной толщины срезаемого слоя (для резцов $\approx 0,005 - 0,02\text{мм}$, а иногда и $0,05\text{мм}$);
- влияние человеческого фактора на процесс (брак и др.);
- низкая производительность и высокая себестоимость обработки;
- при пробных ходах и промерах на коротких участках глубина резания меньше (а иногда больше) чем затем на всей обрабатываемой поверхности, что вызывает неточность обработки.

Этот метод трудоемкий и примитивный по технике выполнения, а поэтому применяется в единичном или как исключение в мелкосерийном производстве. Однако он не требует сложной подготовки производства и может осуществляться на универсальных станках.

2. Получение заданных размеров по лимбу. При обработке каждой детали режущий инструмент устанавливается в требуемое положение по лимбу станка. Нужное деление лимба определяется либо путем обработки первой детали методом пробных ходов и промеров, либо при помощи имеющихся эталонов. Такой метод применяют в мелкосерийном производстве при обработке небольших партий деталей. В этом случае трудоемкость настройки намного меньше, точность обработки зависит от квалификации рабочего – станочника.

При этом субъективный фактор складывается из двух моментов:

- точности определения необходимого деления лимба;
- ошибки, закладываемой на каждой новой детали, при совмещении лимба.

3. Метод автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках. Установку заготовок производят без выверки непосредственно в приспособлениях по ТУБ. Станок предварительно настраивается как по режимам резания, так и по траектории движения режущего инструмента. Примеры использования метода представлены на рис. 1.

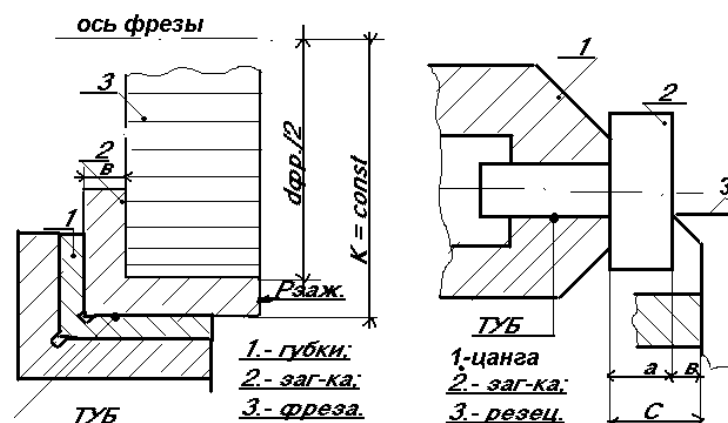


Рис. 1. Примеры использования метода 3

Первоначальную настройку и последующие поднастройки инструмента производит не рабочий – станочник, а наладчик (который в данном случае является работником более высокой квалификации). При этом для настройки используются специальные устройства (шаблоны, эталонные детали, индикаторные приспособления и др.). Этот метод наиболее распространен и является основным в машиностроении. Применяется в серийном и массовом производствах. На точность обработки оказывает влияние как **субъективный** фактор рабочего – наладчика (одинаковый для всей партии изделий в пределах наладки), так и **объективный** (точность измерительных устройств, например применяемых при наладке).

4. Активное управление получаемыми размерами в процессе обработки.

Требуемый размер с заданной точностью получается за счет специальных устройств, установленных на станках. Такие устройства следят за ходом изменения размеров и активно участвуют в обеспечении их точности.

Различают два вида активного управления точностью.

При обработке за один проход (например, при бесцентровом шлифовании, растачивании - подналадчик, установленный на станке, при выходе размера из поля допуска автоматически корректирует положение режущего инструмента. Т.е. применяется автоматическая система управления с обратной связью: измерительное устройство проверяет обрабатываемую деталь и дает команду на рабочий орган станка.

При многопроходной обработке (например, внутреннее круглое наружное многопроходное шлифование). В этом случае производится непрерывное или периодическое измерение обрабатываемого размера «на ходу». И, когда размер достигает нужного значения, такое устройство отключает подачу станка. Такие системы называются системами активного контроля. При активном управлении точностью резко повышается производительность, практически исключается брак, субъективный фактор отсутствует (за исключением некоторого влияния регулировки подналадчика и его инерционности).

ЛЕКЦИЯ 2

План лекции:

- 1. Экономическая и достижимая точности обработки.*
- 2. Основные факторы, влияющие на точность обработки.*

Экономическая и достижимая точности обработки

Экономическая (среднеэкономическая) точность обработки это такое ее значение для данных конкретных условий работы, которая при минимальной себестоимости достигается в нормальных производственных условиях при работе на исправных станках с применением необходимых приспособлений, инструментов при нормальной затрате времени и квалификации работы соответствующей данному характеру работ.

Достижимая точность это точность, которую можно получить в особых, наиболее благоприятных и тщательно поддерживаемых условиях. При этом требуется особо тщательная наладка станка, высокая квалификация рабочего при значительном увеличении затрат времени, что приводит к резкому повышению стоимости обработки.

Значения величин экономической и достижимой точности в настоящее время полностью изучены для различных видов обработки и приводятся в справочной литературе. Они уточняются и изучаются по мере развития науки и техники.

В массовом и крупносерийном производствах при стабильном поточном выпуске закладываются условия получения экономической точности, а достижимая применяется при индивидуальном и мелкосерийном производствах (а если в массовом - то, как вынужденная).

Таким образом, экономическая точность – это точность, получаемая при различных видах обработки с учетом износа оборудования, приспособлений, а также погрешностей базирования и др. факторов. Она характеризуется величиной затрат, необходимых для применения данного вида обработки, которые не должны превышать затрат при любом другом способе, пригодном для обработки этой же поверхности.

Основные факторы, влияющие на точность обработки

1. Погрешности, вызываемые нестабильностью упругих деформаций технологической системы СПИД под действием силы резания при данной жесткости этой системы.

2. Погрешности настройки станка (погрешности пробных ходов и промеров при индивидуальном методе получения размеров).

3. Погрешности, возникающие в результате размерного износа режущего инструмента, а также вследствие неточности его изготовления.

4. Тепловые деформации системы СПИД и деформации под действием остаточных напряжений.

5. Погрешности установки обрабатываемой заготовки.

6. Погрешности, вызываемые геометрической неточности станка и неточностью изготовления приспособления;

7. Качество (шероховатость) обработки, которая влияет на точность измерений.

1. Погрешности, вызываемые нестабильностью упругих деформаций технологической системы СПИД под действием силы резания при данной жесткости этой системы. В процессе мехобработки станок, приспособление, инструмент и деталь образуют замкнутую цепь взаимосвязанных элементов, называемую технологической системой СПИД. Эта система имеет определенную жесткость и является упругой системой, т.е. под действием силы резания, прикладываемой к системе, происходит ее деформация. В конечном счете, перемещается обрабатываемая деталь и режущий инструмент, и возникают систематические погрешности. Однако

погрешность является не столько абсолютной величиной деформации, а колебания величины деформации в партии обрабатываемых деталей.

Причиной появления погрешности Δ_y является нестабильность деформаций в системе СПИД, вызванных нестабильностью силы резания в партии обрабатываемых заготовок и нестабильностью жесткости в отдельных сечениях по пути перемещения режущего инструмента. В свою очередь причиной нестабильности силы резания является:

- непостоянство глубины резания t (непостоянство припусков на обработку в пределах;
- колебание механических свойств обрабатываемого материала, в основном твердости;

- износ режущего инструмента (U_3). Например, при обработке стали 2Х13 при увеличении U_3 до 0,7-0,8 мм (резец) составляющая силы P_y возрастает до двух раз. Особенно это проявляется при обработке с большими сечениями среза. Наиболее распространенные виды погрешностей формы при точении приведены на рис. 2.

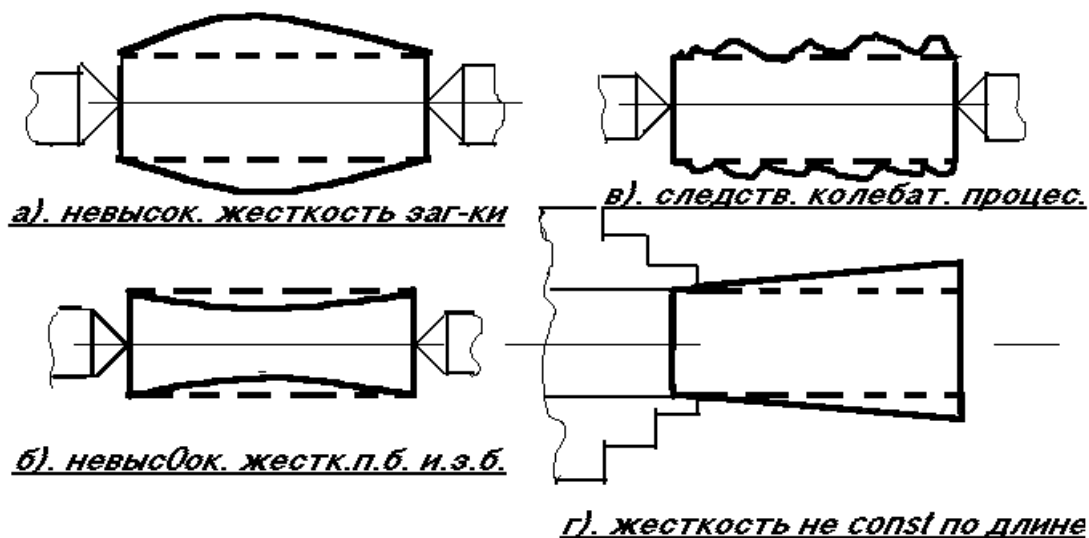


Рис.2. Наиболее распространенные виды погрешностей формы при точении

- колебание припуска связано с погрешностью размеров исходной заготовки. Ввиду колебаний P_y происходит отжим резца от детали, т.е. копирование на детали погрешностей заготовки, но меньшей величины. Эта погрешность равна:

$$\Delta_{заг.} = D_{заг. \max.} - D_{заг. \min.} = 2 \Delta_y \text{ (рис.3).}$$

После каждого хода погрешность детали уменьшается пропорционально уточнению ϵ и жесткости технологической системы j и обратно пропорционально коэффициенту уменьшения погрешностей K_y . Это справедливо до определенного числа ходов, когда погрешности заготовки больше погрешности, вносимой влиянием данной технологической системы. Когда $\epsilon \rightarrow 1$, общая погрешность детали становится равной погрешности обработки на данном станке и ее нельзя уменьшить путем увеличения числа проходов (i).

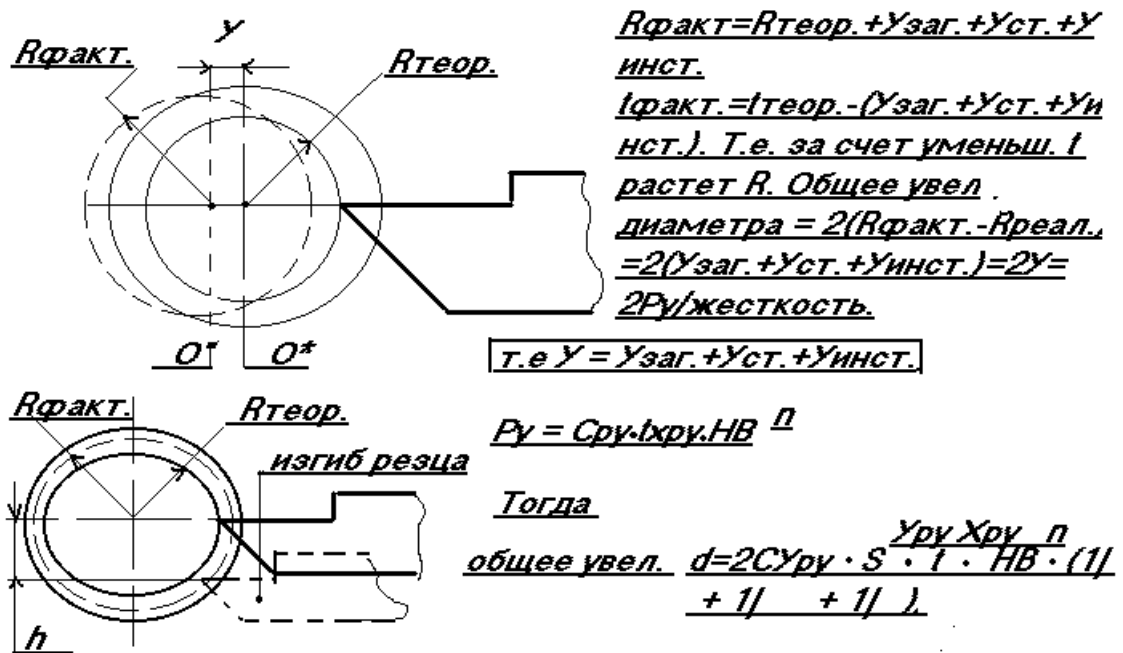


Рис. 3.

Отношение одноименных погрешностей исходной заготовки и обработанной детали принято называть **уточнением ϵ** :

$$\epsilon = \Delta \text{ исх. заг.} / \Delta \text{ обр. дет. (рис.4).}$$

В тех случаях, когда $K_y > 1$, а $\epsilon < 1$ (при малых значениях j), каждый новый ход не только не повышает точность, но даже, наоборот, снижает ее. Так, при обточке длинных и тонких валов, прогиб меняется по длине детали даже при $P_y = \text{const}$ (из-за уменьшения диаметра, а, следовательно, и j). Погрешность, равная удвоенному прогибу, тоже растет. В тоже время $P_y \neq \text{const}$, т.к. ввиду отжима заготовки каждый ход производится с увеличенной (t).

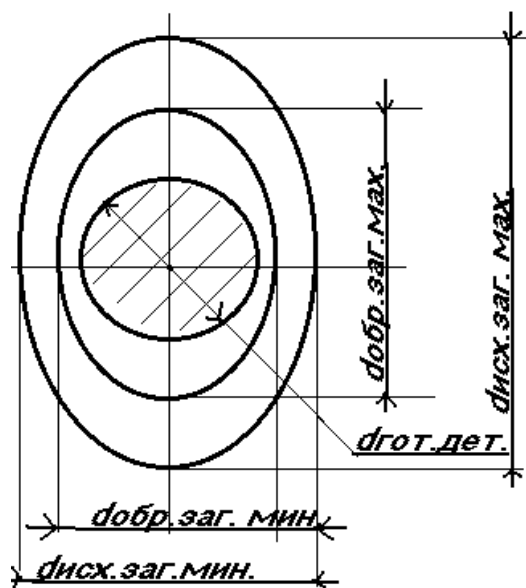


Рис.4.

Сила P_y при обработке стали находится в квадратичной зависимости от **НВ**. Чем больше номинальное значение P_y (чем больше t и s), тем больше, приращение ее при одной и той же величине **НВ**. Практически влияние **НВ** на точность велико, т.к. рассеивание значений твердости материала может достигать в партии деталей 30-40% от ее среднего значения. Так сталь 2Х13 в пределах даже одного прутка может иметь разброс твердости 5-20 НВ (причем как в продольном, так и в поперечном направлениях). В пределах одной партии этот разброс составляет 116 – 210 НВ, т.е. до 80%. *Отсюда вывод: при колебаниях твердости в партии заготовок имеем рассеивание размеров, а при колебании ее в пределах одной заготовки – погрешность формы.*

ЛЕКЦИЯ 3

План лекции:

1. Понятие о жесткости технологической системы.
2. Обеспечение режимом резания заданной точности обработки при высокой производительности труда.
3. Методы повышения жесткости системы СПИД.

Жесткость технологической системы

Оказывает очень большое влияние на точность обработки. Высокая жесткость системы СПИД является одним из основных условий получения точных деталей. *Жесткость как качество системы – способность оказывать сопротивление действию сил, которые стремятся ее деформировать.* Она выражается отношением радиальной составляющей силы резания, прикладываемой к системе (по нормали к обрабатываемой поверхности) к смещению режущей кромки установленного на размер инструмента, отсчитываемому в том же направлении (предложено проф. Соколовским А.П.).

$$j_c = P_y / y \text{ [кН/мм]}.$$

Физически показатель жесткости выражается величиной усилия (кН), которая вызывает деформацию равную единице длины приращения (для СПИД = 1 мм).

Величина, обратная жесткости, называется податливостью (ω). Ею удобно пользоваться при нахождении жесткости системы СПИД по значениям жесткости отдельных ее элементов, а также при расчете погрешностей обработки, связанных с упругими отжатыми этих элементов.

$$\omega = 1 / j = y / P_y \text{ [мм/кН]}.$$

$$y = P_y / j.$$

Общие значения жесткость и податливости системы СПИД определяются по зависимостям:

$$1 / j_o = 1 / j_1 + 1 / j_2 + \dots + 1 / j_n;$$

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots + \omega_n$$

Таким образом, податливость – величина деформации, вызываемая единицей силы (1 Н), т.е. это способность технологической системы упруго

деформироваться под действием внешних сил. Существуют стандарты на жесткость серийного металлорежущего оборудования. Например, общая жесткость токарных станков с высотой центров 200 мм находится в пределах 20 – 30 кН/мм.

Если рассмотреть обработку детали на токарном станке (рис.5), то можно увидеть, что когда резец находится у задней бабки то под действием составляющей силы резания R_y происходит изгиб заднего центра, пиноли, отжатие задней бабки $y_{з.б.}$. Одновременно с этим происходит отжатие режущего инструмента $y_{р.и.}$. Затем, по мере перемещения резца происходит увеличение отжатия передней бабки $y_{п.б.}$. В некотором сечении заготовки А-А фактический ее диаметр будет равен:

$$d_{ф.} = d_{настр.} + 2(y_{з.б.} + y_{п.б.} + y_{р.и.} + y_{заг.});$$

Вначале обработки $y_{п.б.} \approx y_{заг.} \approx 0$, а в конце - $y_{з.б.} \approx y_{заг.} \approx 0$

Таким образом в формуле жесткости:

$$y_{общ.} = y_{ст.} + y_{пр.} + y_{р.и.} + y_{заг.}$$

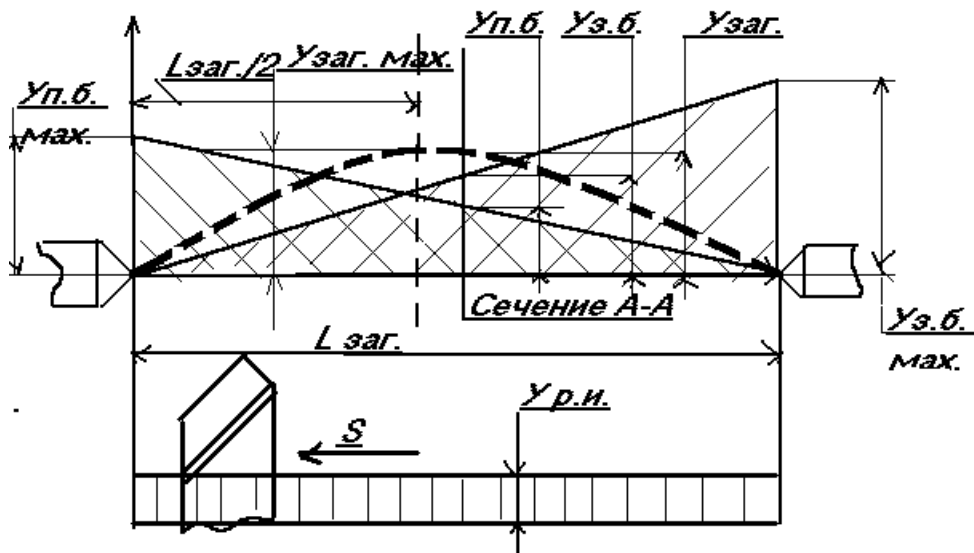


Рис.5.

Формулы для расчета прогиба резца (сверла), а также заготовки, закрепленной различными способами, приводятся в справочной литературе и учитываются при назначении оптимальных режимов резания. Жесткость станков также является известной величиной. Повышение жесткости системы СПИД и отдельных ее элементов может осуществляться рядом искусственных мер. Например, для повышения жесткости длинных валов, обрабатываемых на токарных станках, применяются люнеты, причем при отношении $L/d = (8 - 13)$ это должны быть неподвижные, а при $L/d \geq (15 - 20)$ подвижные люнеты.

Обеспечение режимом резания заданной точности обработки при высокой производительности труда. Одним из примеров решения данной задачи применительно к токарной обработке является формула проф. Соколовского А.П. для расчета подачи в зависимости от требуемой точности детали и погрешности исходной заготовки:

$$S = [1/(\lambda C_p)^{4/3} (1/\varepsilon)^{4/3} j^{4/3}].$$

Приняв $\lambda = P_y/P_z \approx 0,4$ и $\varepsilon = \Delta$ исх. заг. / Δ обр. дет. имеем:

$$S = [(2,5/C_p)^{4/3} (\Delta \text{ исх. заг.} / \Delta \text{ обр. дет.})^{4/3} j^{4/3}]$$

Эта подача обеспечивает требуемое уточнение ε при максимально возможной производительности труда.

Методы повышения жесткости системы СПИД

1. Созданием жесткой конструкции и изменением размеров элементов технологической системы:

-массивные станки имеют большую жесткость;

-конструкция и состояние приспособления и инструментов (уменьшение вылетов оправок и инструментов, увеличение количества кулачков в патронах, сечение державок, применение специальных материалов, создание точных опорных поверхностей и обеспечение хорошего контакта детали, инструмента в приспособлении, своевременная профилактика, ремонт, регулирование;

-повышение жесткости закрепления обрабатываемых заготовок путем увеличения базовых поверхностей, применения дополнительных опор и др.

2. Сокращение общего числа звеньев технологической системы и даже отдельных элементов, например, промежуточных приспособлений, державок и т.д., а также деталей станков и приспособлений. Например, замена нескольких мелких деталей одной сложной и массивной, отливка корпусов шпиндельных бабок совместно со станиной и др.

3. Повышение качества механической обработки деталей и, особенно поверхностей стыков. Иначе контакт поверхностей будет происходить не по всей площади, а по отдельным местам (выступам) в зависимости от R_z , W_z и отклонений формы. Величина сближения стыков под действием P_y (в результате чего растет контакт поверхностей), характеризует жесткость стыков (ξ):

$$\xi = q|y \text{ (Н/мм}^3\text{)}.$$

Здесь q -давление в контакте, Н/мм^2 ; y - деформация (сближение) стыков, мм.

На ξ значительное влияние оказывает материал детали и метод обработки табл.).

Таблица 1. Влияние метод обработки на ξ

Вид обработки	ξ
Строгание	470
Шабрение	745
Шлифование	1690
Притирка	1980

4. Повышением качества сборки. При этом жесткость существенно зависит от тщательности пригонки сопрягаемых поверхностей, величин возникающих в них S и N .

Например, жесткость шпинделя револьверного станка с различной величиной зазоров в отдельных соединениях меняется от 20600 кН/м до 88300 кН/м. Для получения высокой жесткости по данным проф. Решетова Д.Н. необходимо в соединениях создавать предварительный натяг. В неподвижных соединениях он должен быть не менее 1,5 МПа, а в подвижных 0,1 – 0,2 МПа.

5. Правильным режимом эксплуатации станков. Необходимо обеспечивать стабильные условия эксплуатации при которых $j = \text{const} = \text{max}$. С этой целью обеспечивают прогрев станка на холостом ходу, обеспечивают непрерывную и равномерную подачу смазки в трущиеся части, а также постоянство усилий зажима всех механизмов и узлов системы и т.д. *Пример: жесткость шпиндельной бабки круглошлифовального станка при нормальной температуре неработающего станка 15100кН/м, а через 30 минут разогрева на холостом ходу -22400кН/м, т.е. увеличилась на 44%.*

6. Систематическим надзором за оборудованием в процессе его эксплуатации с периодической проверкой жесткости всех элементов СПИД. За счет шабрения трущихся поверхностей и стыков, регулировки соединений, устранения зазоров можно восстановить потерянную жесткость.

Производительность мехобработки находится в непосредственной связи с j . Основное уравнение жесткости может быть представлено в виде формул:

$$Y = P_y / j = (C_{py} \cdot t^{x_{py}} \cdot S^{y_{py}}) / j;$$

$$y = \omega \cdot P_y;$$

$$Y = \omega \cdot C_{py} \cdot t^{x_{py}} \cdot S^{y_{py}}.$$

Т.к. $t \cdot S$ – производительность (ПТ), то податливость выступает в качестве коэффициента пропорциональности между ПТ и погрешностью обработки. Например, по данным проф. Соколовского увеличением j в 4 раза можно до двух раз снизить t_0 , т.е. повысить ПТ.

ЛЕКЦИЯ 4

План лекции:

1. Методы определения жесткости системы СПИД.
 - статический;
 - динамический.
2. Погрешности многоинструментальной и многошпиндельной обработки.
3. Расчет режимов резания, обеспечивающих достижение требуемой точности обработки и ПТ.
4. Достоинства метода управления упругими перемещениями.

Методы определения жесткости системы СПИД. Различают следующие виды жесткости:

- статическая (при неработающей, неподвижной машине);
- динамическая (при работающей машине).

Следует иметь в виду, что j и ω можно определить расчетным путем лишь для ограниченного количества несложных деталей. В основном это делают опытным путем. При этом производят ступенчатое возрастающее нагружение силой от «0» до «мах». Максимальная сила устанавливается в зависимости от типоразмера станка. Затем производят ступенчатое разгружение системы. В процессе опыта производится измерение прогибов и по результатам составляется табличная и графическая зависимости (рис. 6).

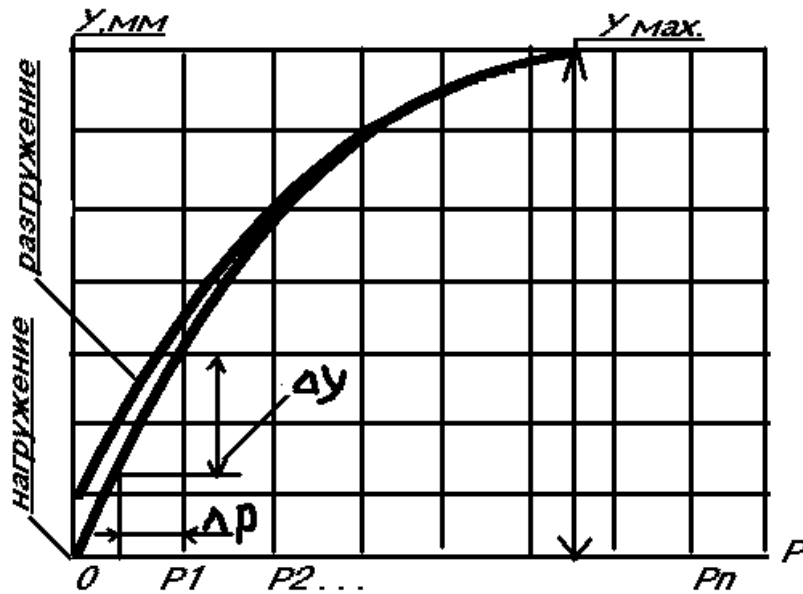


Рис. 6.

В общем случае $j_{ст.} = P_y / y$. Согласно рисунку 6 ориентировочно (ввиду нелинейности зависимости) можно определить: $j = P_{мах.} / Y_{мах.}$, а более точно для конкретного интервала нагружения $j = \Delta P / \Delta y$.

Зная статическую жесткость можно найти динамическую по формуле:

$$j_{дн.} = j_{ст.} \cdot K_{п.},$$

где $K_{п.} = 1 / (1,2 - 1,4)$. При малой жесткости $K_{п.} = 1/2$.

Следует иметь в виду, что жесткость СПИД при одновременном действии составляющих силы резания P_y, P_z, P_x больше, чем при действии только P_y .

Производственный (динамический) метод

На станке производят обработку ступенчатой заготовки или заготовки, имеющей биение. При этом на обрабатываемой поверхности создается уступ (или эксцентриситет), принимаемый за погрешность $\Delta_{исх.заг.}$.

После обработки за один проход на обработанной поверхности тоже возникает уступ (биение), копирующий в уменьшенном виде $\Delta_{исх.заг.}$ и представляющий собой Δ обр.заг.

Динамическую жесткость рассчитывают по величине уточнения:

$$j = \lambda \cdot C_p \cdot S^{0.75} \cdot (\Delta_{исх.заг.} / \Delta_{обр.заг.}).$$

Погрешности многоинструментальной и многошпиндельной обработки

Концентрация ТО посредством использования многоинструментальной и многошпиндельной обработки существенно повышает ПТ и экономичность производства.

В связи с сокращением числа установов и исключения соответствующих погрешностей установки, погрешность взаимного расположения обрабатываемых поверхностей снижается (как правило). Однако в этом случае могут возникать некоторые специфические погрешности, связанные с упругими деформациями и динамикой СПИД, снижающие точность и размеров и формы. Так, например, при многорезцовой обработке ступенчатого вала с одновременным началом и окончанием работы всех резцов наладки, упругие деформации отжатия передней (Уп.б.) и задней (Уз.б.) бабок под действием равнодействующей нормальных составляющих усилий резания P_y от каждого резца вызывают смещение и поворот заготовки на угол α , что приводит к погрешности диаметра и формы (рис.7):

При этом погрешности уменьшаются справа налево. Их можно рассчитать, зная Уп.б. и Уз.б.

При многорезцовой обработке ступенчатых отверстий на алмазно-расточных станках вибрации одновременно работающих резцов взаимодействуют друг с другом, изменяя общую погрешность и Rz. При этом в зависимости от расположения резцов и количества, одновременно работающих инструментов они могут, как увеличиваться, так и уменьшаться. Пример конструкции борштанги приведен на рис. 8.

При многошпиндельной обработке шероховатость и отклонения формы поверхностей отверстий возрастают с ростом числа одновременно работающих шпинделей. При существующей конструкции приводов главного движения каждый шпиндель (вступающий в работу) дополнительно снижает точность на 10-15%.

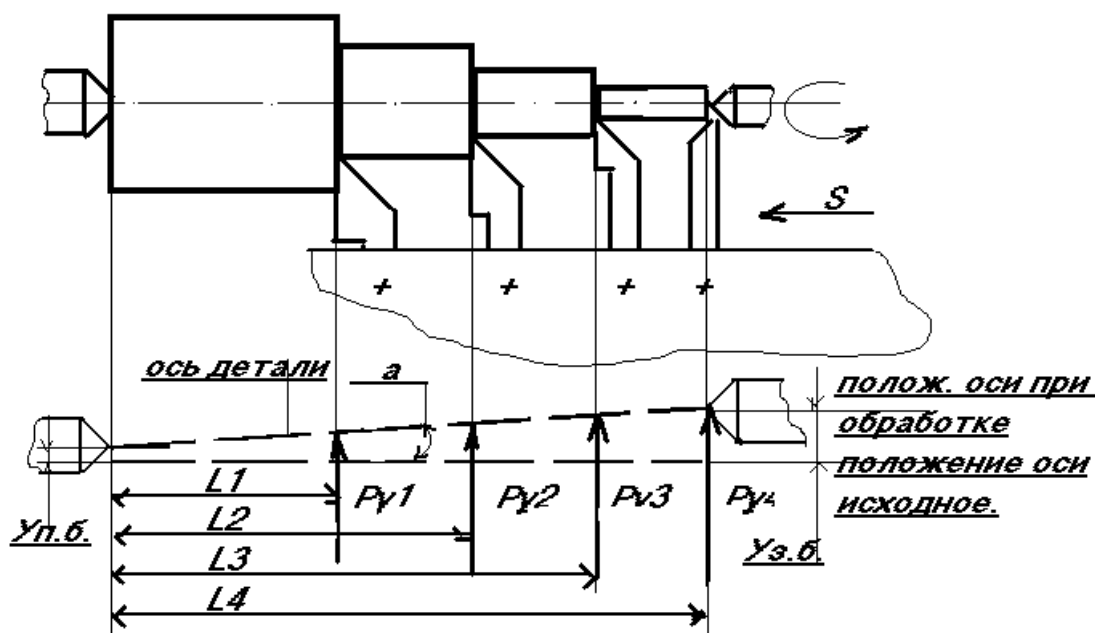


Рис. 7.

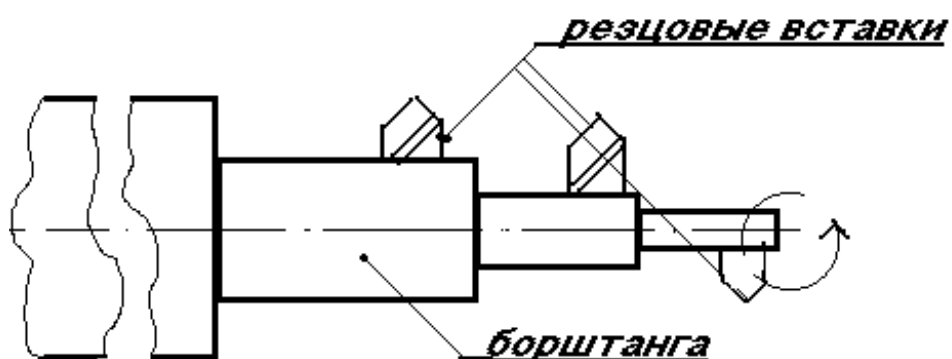


Рис. 8.

Расчет режимов резания, обеспечивающих достижение требуемой точности обработки и ПТ. В обычных условиях режимы резания назначают исходя из задачи увеличения ПТ и снижения себестоимости обработки. В случае точной обработки возникает задача (дополнительная) – обеспечение требуемой точности. Ранее было показано, что фактическая точность размеров и геометрическая точность зависят от отжатый (У) системы СПИД, т.е. от ее жесткости. При этом абсолютная величина приращения силы ΔP_y во многом определяется уровнем режимов резания. Например, при обработке стали с HB170 при $t=0,2\text{мм}$ и $s=0,06\text{мм/об.}$ $\Delta P_y \approx$ в 30 раз меньше, чем при $t=2\text{мм}$ и $s=0,3\text{мм/об.}$ Как отмечалось выше, стабилизировать силу P_y можно путем регулирования величины $S_{пр.}$ (формула проф. Соколовского):

$$S = [(1/\lambda \cdot C_p)^{4/3} \cdot (1/\epsilon)^{4/3} \cdot j^{4/3}].$$

На рисунке 9 приведены экспериментальные данные, показывающие изменение допустимой подачи при обработке стали ($L/d=5$, $t=1\text{мм.}$) в зависимости от d на станках различной жесткости

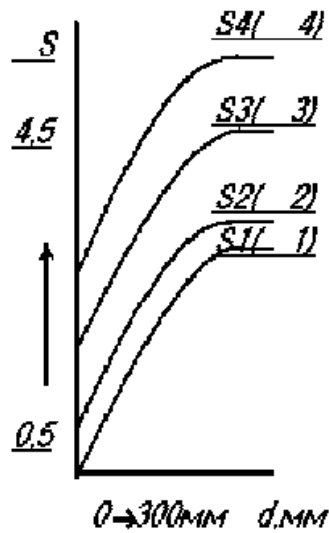


Рис. 9.

Здесь $j_1 < j_2 < j_3 < j_4$

Возможность регулирования подачи позволяет осуществлять управление точностью процесса обработки заготовок по выходным данным.

Пример: Обработка стали НВ 145-165 на станке 1А62; $\varphi=45^\circ$; $\varphi_1=15^\circ$; Т15К6; $V=43$ м/мин в условиях колебания припуска от 4-х до 8-ми мм на диаметр (рис.10). Первые девять заготовок обработаны при $S=0,24$ мм/об., а заготовки №№ 10-18 с $S \neq \text{const}$ (в зависимости от фактического припуска):

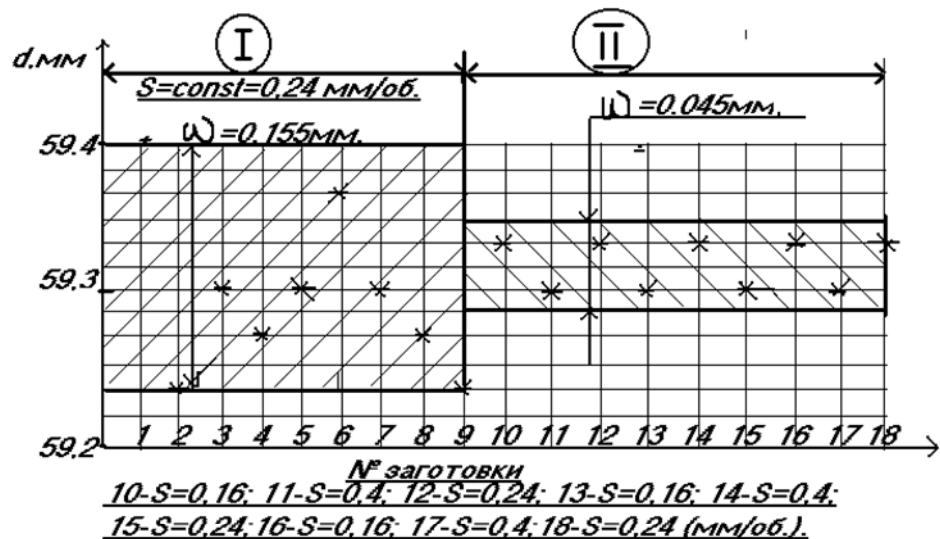


Рис. 10.

Как видно из рисунка, поле рассеивания заготовки уменьшается в 3,5 раза. При бесступенчатом изменении подачи оно могло бы быть еще меньше. При использовании системы автоматического регулирования оно может быть уменьшено до 10 раз.

Аналогичные результаты получены и по уменьшению отклонений формы в случае изменения $S_{пр}$ по длине одной заготовки.

Достоинства метода управления упругими перемещениями.

1. Существенно повышается точность обработки за счет снижения рассеивания размеров, порождаемого совокупным действием факторов, являющихся случайными при обычной обработке (причем чем выше разброс припусков и твердости, тем выше эффективность метода).

2. Увеличивается штучная производительность труда за счет применения наивыгоднейших режимов резания, допускаемых системой СПИД, а также за счет прохождения режущим инструментом холостых ходов и участков с Z_{min} при $S_{мах}$.

3. Используется чрезвычайно тонкий механизм регулирования технологической системы, работающей без скачков с сохранением постоянного размера статической настройки.

4. Обеспечивается обработка заготовок с $P_z = const$.

5. Способствует более экономичному использованию оборудования и режущего инструмента (с точки зрения их долговечности).

Недостатки метода:

- повышенная стоимость станков и оснастки;
- неравномерность шероховатости заготовки по ее длине.

ЛЕКЦИИ 5, 6

План лекций:

1. Обеспечение точности механической обработки.

2. Методы настройки станков и расчеты настроечных размеров, погрешностей настройки и режимов резания.

3. Динамическая настройка. 1. Настройка по пробным заготовкам с помощью рабочего калибра.

4. Настройка по пробным заготовкам с помощью универсального мерительного инструмента.

5. Расчет настройки без учета переменных систематических погрешностей.

6. Расчет настройки с учетом переменных систематических погрешностей.

Обеспечение точности механической обработки

Задача управления точностью обработки и снижения ее погрешностей решается по нескольким направлениям:

1. Точностными расчетами и осуществлением первоначальной настройки станка, обеспечивающими минимум систематических погрешностей, которые связаны с настройкой, а также реализация максимального периода работы станка без поднастройки.

2. Расчетом режимов резания с учетом фактической жесткости системы СПИД при котором обеспечивается требуемое уточнение заготовок в процессе их обработки.

3. Точное управление (ручное и автоматическое) процессом обработки и своевременная точная поднастройка станка.

Методы настройки станков и расчеты настроечных размеров, погрешностей настройки и режимов резания. Для осуществления ТО необходимо произвести предварительную настройку станка. Настройкой (наладкой) называется процесс подготовки технологического оборудования и оснастки к выполнению ТО (ГОСТ 3.1109-82).

В условиях единичного и мелкосерийного производства (метод пробных ходов и промеров) задачами настройки являются:

а) - установка приспособлений и режущих инструментов в положения, обеспечивающие наивыгоднейшие условия резания (теоретически правильные статические и динамические углы резания, хорошие условия стружкообразования, высокая ПТ, стойкость режущего инструмента) и требуемое качество поверхности.

б) - установка режимов работы станка.

При крупносерийном и массовом типах производств, (когда используется метод автоматического получения размеров) добавляется еще и третья задача - обеспечение точности взаимного расположения режущих инструментов, приспособления, кулачков, упоров, копиров и др. устройств, определяющих величину и траекторию перемещения инструментов относительно детали.

Это наиболее сложная и ответственная задача, решение которой в значительной степени определяет точность обработки.

В настоящее время применяются специальные методы настройки станков (статическая, по пробным заготовкам с помощью калибров и с помощью универсального инструмента по пробным заготовкам).

Динамическая настройка. 1. Настройка по пробным заготовкам с помощью рабочего калибра. Настройка осуществляется по тому же рабочему калибру, которым пользуются в дальнейшем рабочий при обработке изделия. После настройки изготавливается одна или (реже) несколько деталей.

Если размеры находятся в пределах допусков, предусмотренных калибром, то настройка считается правильной.

Недостаток. Даже когда поле рассеивания $\sigma < Td(D)$, нет гарантии того, что значительная часть деталей окажутся бракованными, т.к. кривая рассеивания может занимать внутри поля допуска различные положения, а при изготовлении пробной детали (одной) нельзя определить какому участку поля рассеивания она соответствует (рис. 11).

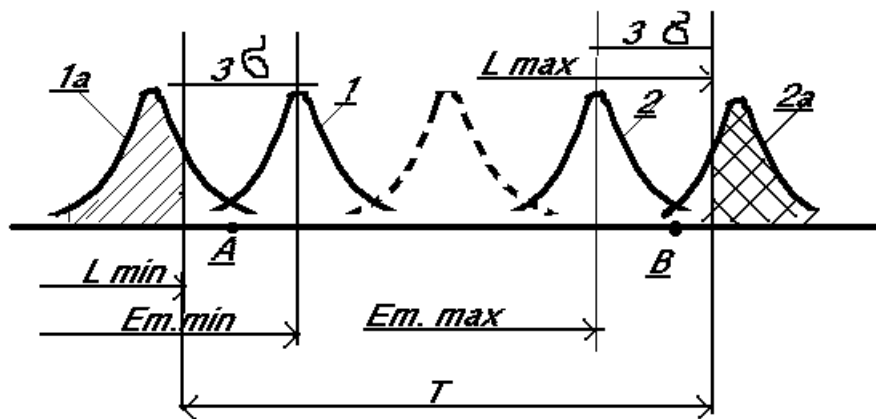


Рис. 11.

Если точки «А, В» принадлежат кривым «1, 2», то это хорошо, а если «1а, 2а», возможен брак (заштрихованная область). При увеличении числа пробных заготовок вероятность брака снижается, однако опасность не устраняется. Брак будет равен нулю, если центр группирования кривой находится от L_{min} , L_{max} на расстоянии не менее 3σ (кривые 1, 2), а наилучший вариант – посередине поля допуска (пунктир). Таким образом, методом настройки по рабочему калибру при небольшом числе пробных заготовок задачу повышения точности решить нельзя. Нужен метод, предложенный проф. Яхиным А.Б. (см. дальше).

2. Настройка по пробным заготовкам с помощью универсального мерительного инструмента. Первоначально рассчитывают настроечный размер и устанавливают режущий инструмент в рассчитанное положение. Затем обрабатывается пробная партия деталей, и проводятся измерения. О результатах первичной наладки судят вычисляя среднеарифметический размер обработанной партии пробных деталей. Затем рассчитывается величина корректировки (необходимая) – если среднеарифметический размер отличается от первоначального настроечного размера и начинают обработку деталей. В этом случае погрешности настройки (Δ_n) зависит от величины как:

- погрешности измерительного инструмента;
- погрешности среднеарифметического Δ_n ;
- погрешности корректировки Δ_k .

Общая погрешность настройки определяется как:

$$\Delta_n = 2K \cdot \sqrt{(\Delta^2_{изм.} + \Delta^2_{смещ.} + \Delta^2_{рег.})}$$

где $2K=1,2$ - коэффициент, учитывающий несоответствие действительных законов рассеивания входящих величин нормальному. При этом $\Delta^2_{изм.}$ – берется по паспорту станка.

Если имеется некоторая совокупность (партия) заготовок, распределение размеров которых подчиняется нормальному закону (σ) и если ее разбить на группы по m штук и определить среднеарифметическое

внутри каждой из этой групп (σ_1), то распределение этих групповых средних тоже будет подчиняться нормальному закону:

$$\sigma_1 = \sigma / \sqrt{m}$$

При этом центры группирования средних как для групп, так и для всей партии совпадают (рис. 12).

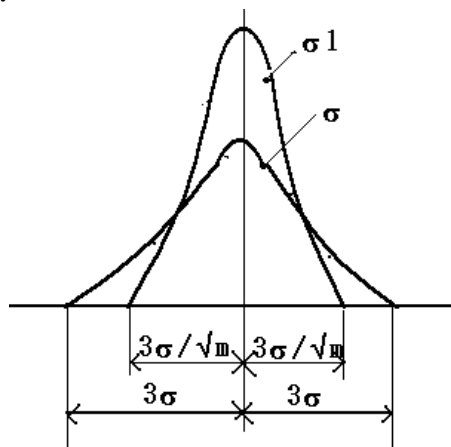


Рис. 12.

1. Расчет настройки без учета переменных систематических погрешностей. Если центр группирования размеров пробных заготовок располагается по отношению к предельным размерам партии заготовок ближе, чем на 3σ (точка М), то часть общей кривой рассеивания размеров обработанной партии заготовок может выйти за $T_d(D)$. Даже если это расстояние несколько больше 3σ - тоже возможен брак, т.к. точка М может принадлежать кривой групповых средних, центр группирования которых (а, следовательно, и всей партии) смещен на величину Р от требуемого положения кривой, исключающего возможность брака.

Брак будет невозможен в случае, когда минимальный размер групповых пробных заготовок, определяющий положение точки М (рис. 13).

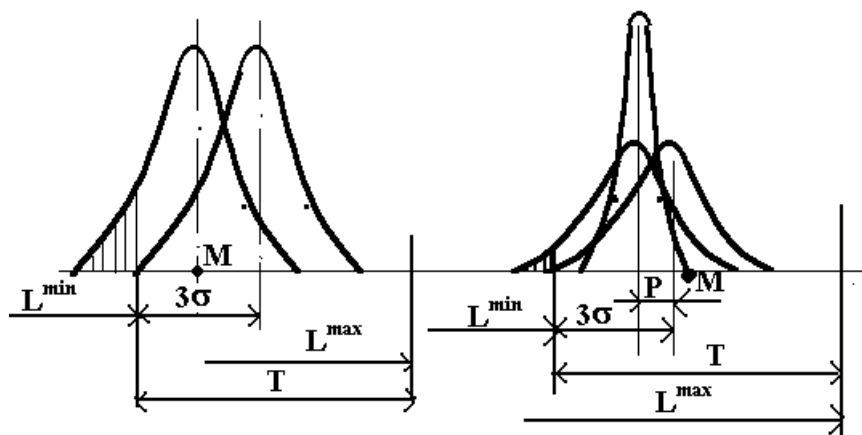


Рис. 13

$$L_{гр.ср. \min} \geq L_{\min} + 3\sigma + 3\sigma / \sqrt{m} \quad (1)$$

или

$$L_{гр.ср. \max} \leq L_{\max} - 3\sigma - 3\sigma / \sqrt{m} \quad (2).$$

Очевидно, что даже когда центр группирования групповых средних расположится левее точки **M** на расстоянии $3\sigma/\sqrt{m}$, он отстоит от L_{min} на величину 3σ , т.е. брак невозможен (рис. 14):

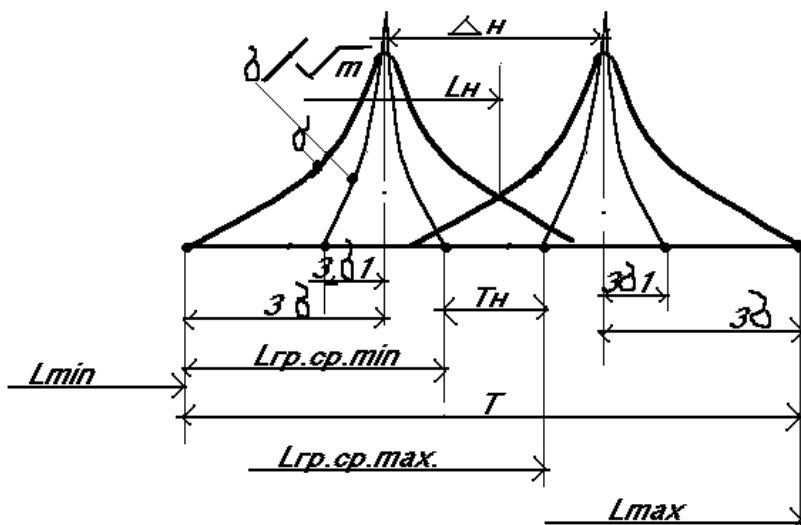


Рис. 14.

Тогда можно записать выражение для расчета допуска настройки T_n :

$$T_n = L_{гр.ср.мах} - L_{гр.ср.мин} = T - 6\sigma \cdot (1 + 1/\sqrt{m}) \quad (3).$$

Увеличивая m можно расширить T_n и облегчить настройку, однако возрастает время обработки пробных заготовок. В общем случае:

$$M > [6\sigma \cdot (1 + 1/\sqrt{m})]^2 \quad (4).$$

Рекомендуется $m=2-8$ ($m > 8$ не эффективно). При отсутствии систематических погрешностей с учетом (3) условие обработки без брака можно записать:

$$6\sigma \cdot (1 + 1/\sqrt{m}) + T_n < T \quad (5).$$

Здесь $6\sigma \cdot (1 + 1/\sqrt{m})$ - часть поля допуска T для компенсации случайных погрешностей, вызывающих рассеивание размеров. В общем случае, когда систематические погрешности оказывают существенное влияние, это условие имеет вид:

$$6\sigma \cdot (1 + 1/\sqrt{m}) + T_n + \Delta_{сист.} < T \quad (6).$$

Следует иметь в виду, что величина допуска T_n не совпадает с погрешностью настройки $\Delta_n = \omega_n$, рассчитываемой по формуле:

$$\Delta_n = \omega_n = 1,2\sqrt{(\omega^2_{рег.} + \omega^2_{изм.} + \omega^2_{смещ.})} \quad (7)$$

Погрешность настройки определяет расстояние между крайними допустимыми положениями вершин кривых рассеивания при настройке. Допуск T_n – разрешенное колебание значений групповых средних, вызываемое погрешностями регулирования и измерения, и является частью общей погрешности.

$$T_n = 1,2\sqrt{(\omega^2_{рег.} + \omega^2_{изм.})} \quad (8)$$

$$\Delta_n - T_n = 6\sigma/\sqrt{m}.$$

Здесь $6\sigma/\sqrt{m}$ - поле вероятного смещения положения вершины кривой рассеивания групповых средних пробных заготовок. Таким образом, при обработке точных заготовок, когда поле допуска незначительно превышает

рассеивание размеров (когда невозможно заранее предусматривать компенсацию переменной систематической погрешности, например износ режущего инструмента.), задача настройки станка сводится к обеспечению совмещения вершины кривой фактического распределения размеров с серединой поля допуска, т.е. $E_m = E_c$. При этом настроечный размер определяется по выражению (например, алмазное точение когда $T_m \rightarrow \infty$):

$$L_H = \frac{1}{2}(L_{\min} + L_{\max}) \pm T_H. \quad (9)$$

2. Расчет настройки с учетом переменных систематических погрешностей. При обработке крупных заготовок происходит интенсивный износ режущего инструмента. При этом возникает задача рационального расположения кривой рассеивания в поле допуска с целью использования части допуска на компенсацию переменных систематических погрешностей обработки. Этим удается увеличить срок работы станка без подналадки (повысить ПТ).

Как видно из рисунка, часть допуска T используется для компенсации погрешности настройки ($T_H = \omega H$), вторая часть – для компенсации случайных погрешностей, вызывающих рассеивание размеров ($6\sigma \cdot (1 + 1/\sqrt{m})$). Остальная часть (ν) может быть использована для компенсации погрешностей, порождаемых совокупным действием систематически действующих факторов, постоянных по величине и изменяющихся во времени по определенным законам (например, износ режущего инструмента). Когда кривая рассеивания пересекает (после обработки определенного количества деталей) L_{\max} - необходима поднастройка, т.е. кривую надо вернуть вниз, в исходное положение. Естественно, что при такой настройке нельзя определять настроечный размер (групповой средний) по величине среднего арифметического, а необходимо вычислять его по значениям предельных размеров:

$$L_{gr.sp.min} = L_{\min} + 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m}). \quad (10)$$

При этом для случая обработки валов исключено появление маломерных заготовок.

При наличии существенного влияния переменных систематических погрешностей, уменьшающих размеры охватываемых заготовок (например, значительное увеличение резца от нагрева в начале обработки), в эту формулу вводят возможную величину погрешностей (a), т.е.:

$$L_{gr.sp.min} = L_{\min} + a + 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m}). \quad (11)$$

Если применяется охлаждение, то $a \approx 0$.

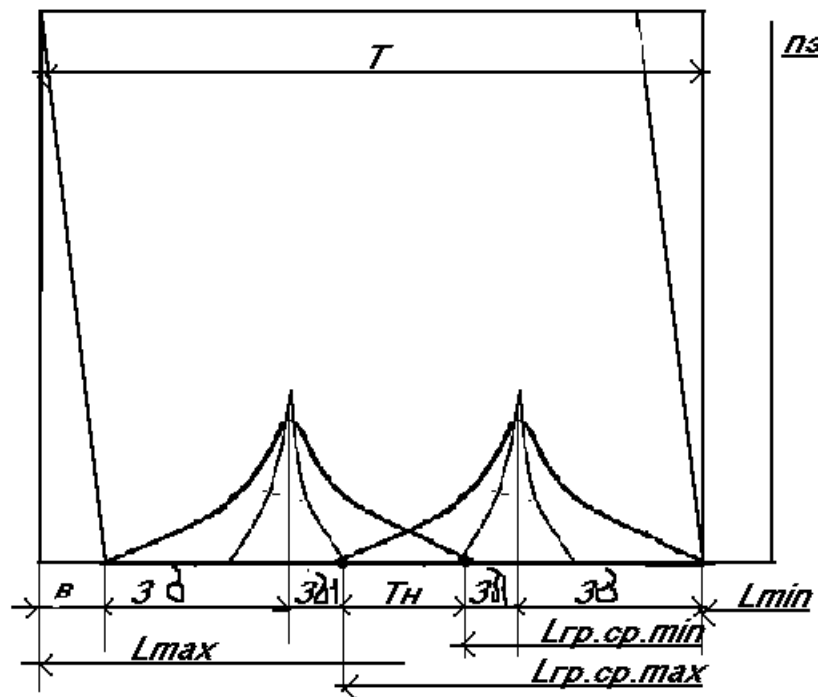


Рис. 15.

С учетом (в) имеем:

$$L_{гр.ср.маx} = L_{маx} - b - 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) \quad (12)$$

Тогда допуск на настройку:

$$T_{н} = T - b - 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m}).$$

Таким образом при увеличении $T_{н}$ с целью упрощения и ускорения наладки при прочих равных условиях приходится уменьшать (b), что увеличивает число подналадок и уменьшает ПТ. Поэтому производить расширение поля допуска на настройку обычно целесообразно при условии изменения др. факторов, входящих в зависимость, в частности при увеличении T или уменьшении 6σ .

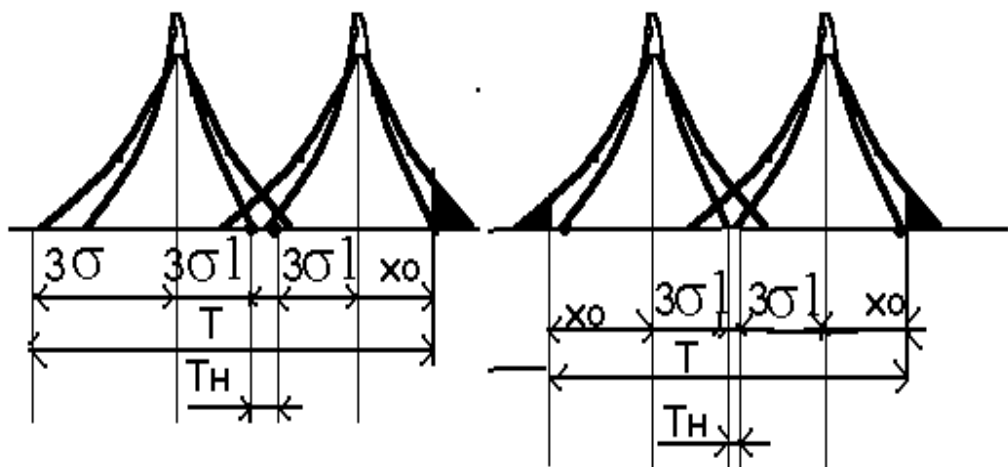


Рис.16.

Рис.17.

Последовательность расчета настройки станка при обработке вала.

1. По выражению (10) определяется $L_{гр.ср.мин}$.
2. По выражению (13) T_n (миним. необходимый).
3. Определяется $L_{гр.ср.мах} = L_{гр.ср.мин} + T_n$.
4. Часть допуска (v) вычисляется по зависимости из выражения (13):
 $v = T - 6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) - T_n$, а при заданном (v):

$$L_{гр.ср.мах} = L_{мах} - v - 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m}).$$

Если условие (5) не выполняется и сумма случайных и систематических погрешностей обработки оказывается больше допуска, т.е. $[6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) + T_n + \Delta_{сист.}] > T$, то при обработке заготовок возможен брак. Если нет возможности повысить точность операции, то настройку надо производить так, чтобы получать исправимый брак.

Если справить брак невозможно, настройку необходимо производить с учетом минимального брака. Количество возможного брака в этом случае определяют по формулам математической статистики. При этом X_0 вычисляют по зависимости:

$$2X_0 = T - T_n - 6\sigma/\sqrt{m}.$$

Решение о настройке станка с заведомо технически возможным исправимым или неисправимым браком можно принять только на основе точного анализа экономической целесообразности данного варианта обработки.

ЛЕКЦИЯ 7

План лекции:

1. *Статическая настройка.*
2. *Управление точностью обработки. Управление точностью по выходным данным (поднастройка станка).*

Статическая настройка. 1. Режущий инструмент устанавливается в заранее рассчитанное положение при помощи эталонов, шаблонов, установок в комплекте со щупами, при помощи специальных приспособлений. Отличается от предыдущего тем, что настройка ведется в статическом состоянии оборудования, т.е. без учета динамических факторов. Иногда отдельные настроечные блоки настраиваются вообще вне станка. При этом не учитываются отжатия системы СПИД под действием прикладываемой силы резания. Тогда формула несколько иная:

$$\Delta_n = 2K \cdot \sqrt{(\Delta_{эт.}^2 + \Delta_{уст.}^2)},$$

где $2K = 1.2$; $\Delta_{эт.}$ - погрешность установки эталона (реально 10-20 мкм); $\Delta_{уст.}$ - погрешность установки (при касании по эталону $\approx 15-20$ мкм, а при невысокой жесткости эталона - 20-40 мкм.).

С достаточной для практики точностью в большинстве случаев удается осуществить настройку с погрешностью $\Delta_n \leq 0,1 T_d(D)$.

Существует два подхода к определению уровня настройки. При этом в любом случае уровень настройки должен быть внутри поля допуска обрабатываемого размера и находиться на некотором расстоянии от границы поля допуска. *Если размерный износ инструмента протекает медленно и*

переналадка станка регламентируется не точностью обработки, а иными явлениями, то уровень настройки располагается в середине поля допуска (рис. 18).

Дуст. INSTR. (Dнастр.) = Dmin (dmin) + 1/2Td (TD) = Dmax (dmax.) - 1/2TD (Td).

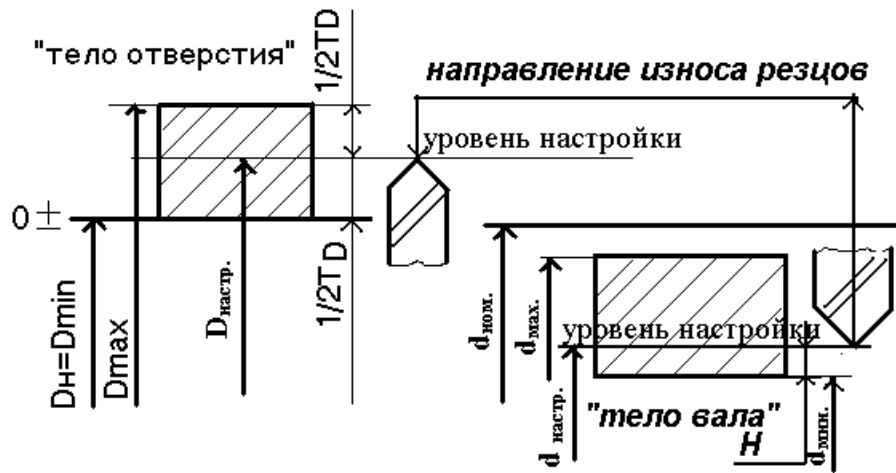


Рис. 18.

Если износ инструмента протекает интенсивно, то уровень настройки располагают на расстоянии ($H \approx 1/5 - 1/6Td$ (TD)) от границы поля допуска. При этом большая часть последнего относится в сторону прогрессирующего износа инструмента.

2. Инструмент вводится в соприкосновение с поверхностью калибра и закрепляется. При точных настройках в качестве калибров могут служить мерные плитки (набор). Эталоны и калибры устанавливаются на место детали (заготовки). В отдельных случаях могут применяться индикаторные устройства.

При определении размера настройки $L_{\text{н.расч.}}$ рекомендуется вводить поправку $\Delta_{\text{попр.}}$:

$$L_{\text{н.расч.}} = (L_{\text{max}} + L_{\text{min}}) / 2 \pm \Delta_{\text{попр.}},$$

где L_{max} , L_{min} - предельные размеры детали, а $\Delta_{\text{попр.}}$ рассчитывается по формуле:

$$\Delta_{\text{попр.}} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3.$$

При этом Δ_1 - учитывает деформацию упругой системы $\Delta_1 = P_y / j$ (при двусторонней обработке $2\Delta_1$); Δ_2 - учитывает шероховатость обработанной поверхности т.к. положение вершины резца определяет впадины, а при измерении контакт происходит по вершинам неровностей, в то время как у калибра $R_z \approx 0$ ($\Delta_2 = R_z$, а при двусторонней обработке $\Delta_2 = 2R_z$); Δ_3 - учитывает величину зазоров в ПШК шпинделя при односторонней обработке $\Delta_3 = 1/2S$ (S - диаметральный зазор). При двусторонней обработке $2\Delta_3$. Так для токарных станков средней точности $\Delta_3 = 0,04 \text{ мм}$, а для повышенной точности $\Delta_3 = 0,03 \text{ мм}$. Для этих групп станков при обработке деталей с $R_z = 10 \text{ мкм}$ $\Delta_{\text{попр.}} = 0,106 \text{ мм}$ и $\Delta_{\text{попр.}} = 0,042 \text{ мм}$ соответственно. Следует иметь в виду, что погрешность определения $\Delta_{\text{попр.}}$ составляет $\approx 50\%$, поэтому этим

методом нельзя обеспечить точность заготовок выше 8-9 квалитетов. Метод широко используется на станках с ЧПУ и ОЦ. Δ попр. - величина всегда положительная (за исключением некоторых случаев, когда при дополнительном нагружении лезвие не отжимается, а врезается в металл). Δ попр. имеет знак « - » для вала и « + » для отверстия.

Управление точностью обработки. Управление точностью по выходным данным (поднастройка станка). Поднастройкой (подналадкой) станка называется процесс восстановления первоначальной точности взаимного расположения инструмента и обрабатываемой заготовки, нарушенного в процессе обработки партии заготовок. Так при обработке валов для компенсации износа резца и т.д. производят перемещение резца на величину $A/2$ (на радиус), равную половине смещения вершины кривой рассеивания (рис. 19).

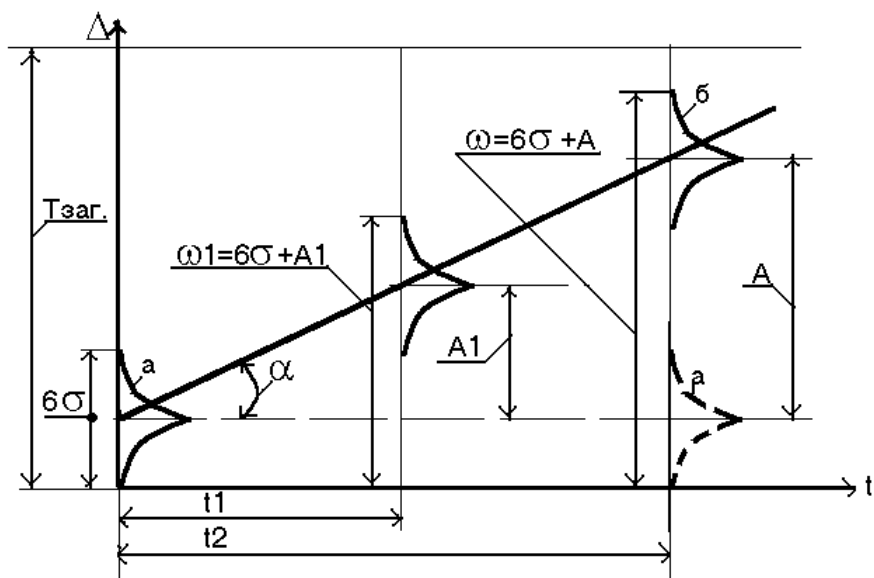


Рис. 19.

В результате этого поле рассеивания размеров заготовок возвращается в положение (а) из положения (б). Здесь важно своевременно установить момент требуемой подналадки и продолжительность обработки заготовок между подналадками. Поднастройку осуществляют при достижении суммарного рассеивания размеров партии заготовок $\omega = 6\sigma + A$, где 6σ - поле рассеивания размеров заготовок под влиянием случайных погрешностей; $A = \Delta_{п.с.} = t_2 \cdot \text{tg}\alpha$. Смещение вершины кривой за время t_2 под влиянием переменных систематических погрешностей. При сокращении времени t_2 до t_1 , смещение вершины кривой уменьшается с A до A_1 , а $\omega = 6\sigma + A_1$. Т.е. при росте частоты подналадок суммарное рассеивание размеров заготовок уменьшается, стремясь к величине 6σ . Однако поднастройка станка – операция трудоемкая, требующая остановки станка, что совместно с сокращением периода работы его приводит к снижению ПТ.

Поэтому с точки зрения увеличения ПТ надо уменьшать число наладок, а, следовательно, увеличивать продолжительность работы между

настройками. Этого можно достичь путем увеличения размерной стойкости инструмента, однако возможности такого метода ограничены.

Устранить указанное выше противоречие можно путем автоматизации контрольных измерений заготовки и самого процесса поднастройки. Для этого применяют различные устройства активного контроля, которые еще называют автоподналадчиками.

При этом момент подналадки станка определяется в большинстве случаев во время работы станка без его остановки путем отсчета машинного времени или фактического пути резания или с помощью регулярных измерений истинных размеров деталей контактными или бесконтактными измерительными устройствами.

В первом случае через определенный промежуток времени автоподналадчик дает исполнительному органу станка сигнал о перемещении инструмента на определенную величину, компенсирующую влияние систематических переменных погрешностей. Эта величина зависит от средней интенсивности износа и затупления инструмента.

Конструкция автоподналадчиков такого типа проста и надежна, однако их можно использовать лишь при высокой степени однородности размеров, свойств материала заготовок и качества режущего инструмента. Иначе точность будет низкой. Большой эффект метод обеспечивает при подналадке шлифовальных станков. В этом случае перед каждой поднастройкой производится правка круга алмазным карандашом, жестко установленным на точном расстоянии от оси вращения заготовки, соответствующем радиусу обработки (например, автоподналадчики внутришлифовальных станков для внутреннего шлифования колец подшипников).

Во втором случае, когда момент подналадки определяется путем измерения $D(d)$ действительная точность повышается, метод подналадки становится более универсальным. Однако конструкция устройств резко усложняется и они рентабельны лишь при массовом и крупносерийном производствах. Общая трудность устройств – необходимость создания малых перемещений инструмента в момент настройки, что связано с инерционностью масс, с действием сил трения.

ЛЕКЦИИ 8, 9

План лекций:

1. Погрешность, являющаяся следствием размерного износа режущего инструмента (РИ) и неточности его изготовления.
2. Погрешности, вызываемые тепловыми деформациями обрабатываемой заготовки, станка (МРС) и инструмента (тепловой фактор).
3. Влияние усилия зажима заготовки на погрешность обработки.
4. Влияние качества обработки на показания измерений.

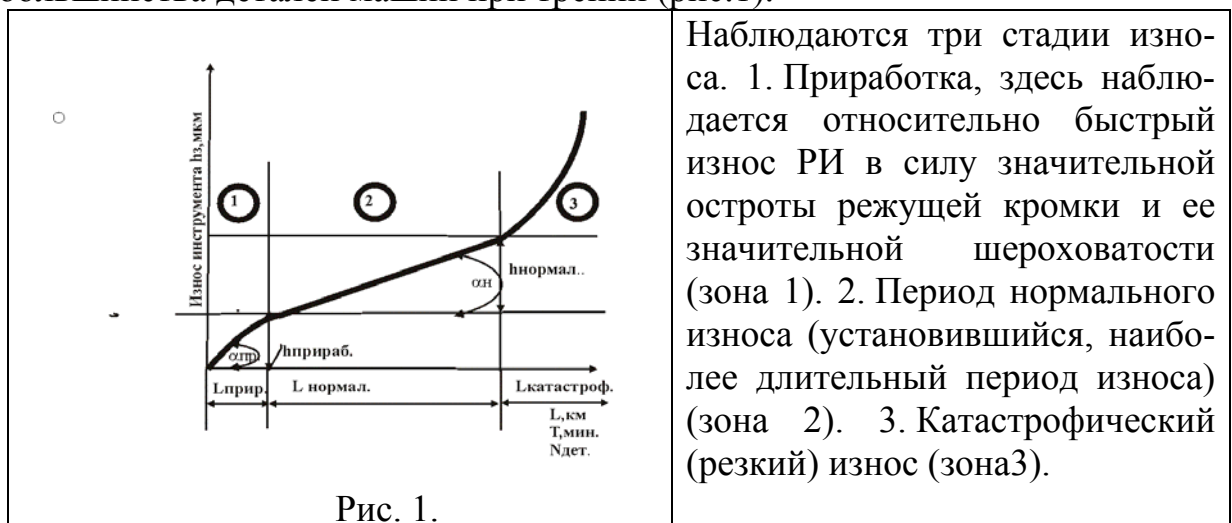
1. Погрешность, являющаяся следствием размерного износа режущего инструмента (РИ) и неточности его изготовления. В зависимости от режимов (условий) резания, свойств обрабатываемого материала и т.д. РИ может изнашиваться по передней, задней или обеим поверхностям одновременно.

Превалирующий износ инструмента по задней поверхности наблюдается при обработке сталей с малыми толщинами сечения среза ($a_z \leq 0,15\text{мм}$) и низкими скоростями резания. Это протяжки, метчики, фасонные резцы, зуборезные инструменты и др. Причина: в случае, когда $r \approx a_z$ наблюдается упругое последствие, путь по задней поверхности больше из-за усадки стружки и т.д.

Преимущественный износ по передней поверхности наблюдается в случае высоких температур резания. Например, при обработке стали без СОТС с высокими скоростями резания и большими толщинами среза ($a_z > 0,5\text{мм}$);

При работе с СОТС резцы из БС, как правило, одновременно изнашиваются по передней и задней поверхностям одновременно. На практике это наиболее часто встречающийся вид износа.

Физические аспекты причин износ РИ рассматривались в курсе резания материалов (пластическая деформация и выкрашивание режущей кромки, диффузия и др.). Диаграмма износа РИ, как правило, аналогична износу большинства деталей машин при трении (рис.1).



Обозначим $h_{пр.}$ - начальный износ инструмента (приработка резца); $h_{норм.}$ - период установившегося износа (нормальный износ); $h_{кат.}$ - катастрофический износ, когда режущий инструмент нельзя эксплуатировать; Y_0 - относительный (удельный) износ. Он определяется по зависимости:

$$Y_0 = \text{tg} \alpha_n = h_{норм.} / L_{норм.} \text{ [мкм/км]}.$$

Тогда результирующий износ будет равен:

$$h_{рез.} = h_{пр.} + L_{рез.} (h_{норм.} / L_{норм.}).$$

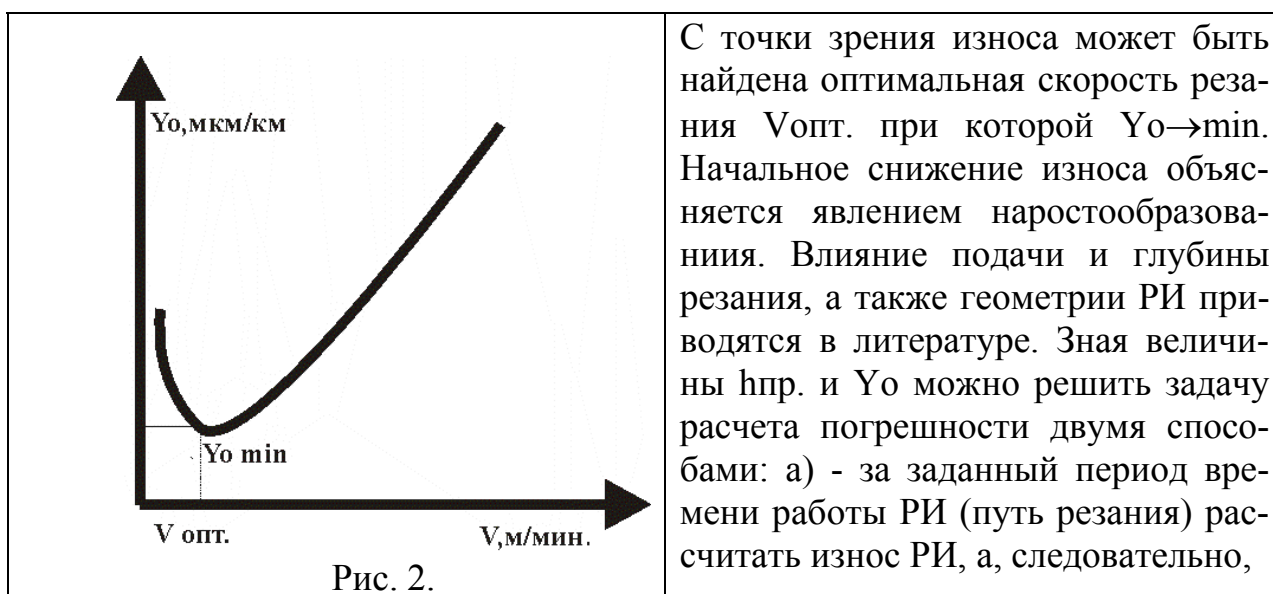
Обычно предусматривают эксплуатацию инструмента с запасом до выхода на заданное значение L , км.

Величины $h_{пр.}$ и Y_0 зависят от таких факторов как вид обработки, обрабатываемый материал, материал режущего инструмента, типа инструмента и др. Например, для точения и растачивания их значения приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Обрабатываемый материал	Материал РИ	$h_{пр.}$	Y_0
Сталь углеродистая и легированная	T15K6, T30K4	2-8	4-10
чугун серый	BK6, BK8	3-10	5-12

Режимы резания также влияют на характер износа инструмента и особенно скорость резания (рис.2).



С точки зрения износа может быть найдена оптимальная скорость резания $V_{опт.}$ при которой $Y_0 \rightarrow \min$. Начальное снижение износа объясняется явлением наростообразования. Влияние подачи и глубины резания, а также геометрии РИ приводятся в литературе. Зная величины $h_{пр.}$ и Y_0 можно решить задачу расчета погрешности двумя способами: а) - за заданный период времени работы РИ (путь резания) рассчитать износ РИ, а, следовательно,

и накопленную погрешность от износа; б) - установив (или задав) допустимый износ РИ можно рассчитать путь проходимый им, а, следовательно, и период резания (количество обработанных изделий и т.д.), т.е. расчетным путем установить период размерной стойкости РИ. Такая задача обычно ставится при работе на автоматических линиях (АЛ) и при работе на предварительно настроенных станках со сложной наладкой. Целесообразно, чтобы периоды переналадки оборудования производились в обеденный перерыв или между сменами, т.е. чтобы период стойкости РИ равнялся смене или $1/2$ смены.

Примечание: При обработке методом индивидуального получения размеров (метод пробных ходов и промеров), а также при использовании ак-

тивного метода управления размерами износ РИ не оказывает влияния на точность партии заготовок.

Однако в любом случае износ РИ приводит к погрешности формы при обработке крупногабаритных заготовок, когда у одной детали путь резания достаточно велик.

Для уменьшения влияния размерного износа РИ на точность необходимо:

- производить периодическую подналадку РИ на требуемый размер до его переточки;
- при работе многолезвийным РИ следует стремиться к увеличению числа режущих лезвий;
- прибегать к повышению качества режущих кромок, что приводит к снижению $h_{пр}$.

Кроме непосредственного влияния на изменение размера изделия износ РИ оказывает косвенное влияние на точность за счет увеличения составляющих силы резания или их перераспределения.

Неточность изготовления мерных и фасонных РИ также приводит к образованию погрешности обработки (наряду с износом) поскольку их размеры непосредственно переносятся на изделия (это сверла, зенкера, развертки, протяжки и т.д.) с одной стороны, а с другой, из-за разбивки отверстий, которая возникает по причине неуравновешенности радиальной силы, отклонения от соосности базового хвостовика и режущей части. Допуски на изготовление РИ оговорены соответствующими *ГОСТ*. Допуски на диаметры зенкеров и разверток назначаются как часть допуска на обрабатываемый диаметр, что характерно для определения точности мерных РИ. Следует иметь в виду, что на уменьшение погрешности при обработке мерными РИ оказывают СОТС, кондукторные втулки, величина износа и др.

2. Погрешности, вызываемые тепловыми деформациями обрабатываемой заготовки, станка (МРС) и инструмента (тепловой фактор). Температурные погрешности элементов системы СПИД оказывают существенное влияние на точность обработки и могут превышать величины допусков на изготовление деталей и, особенно, при чистовой и окончательной обработке. В процессе выполнения ТО источниками тепла, приводящими к образованию погрешностей являются:

- тепло, выделяемое при резании;
- тепло, выделяемое в самом металлорежущем станке или получаемое из внешней среды.

Наиболее существенное влияние на точность оказывают:

- нагрев станка;
- нагрев РИ;
- нагрев обрабатываемой детали.

Примечание: нагрев приспособления обычно незначителен.

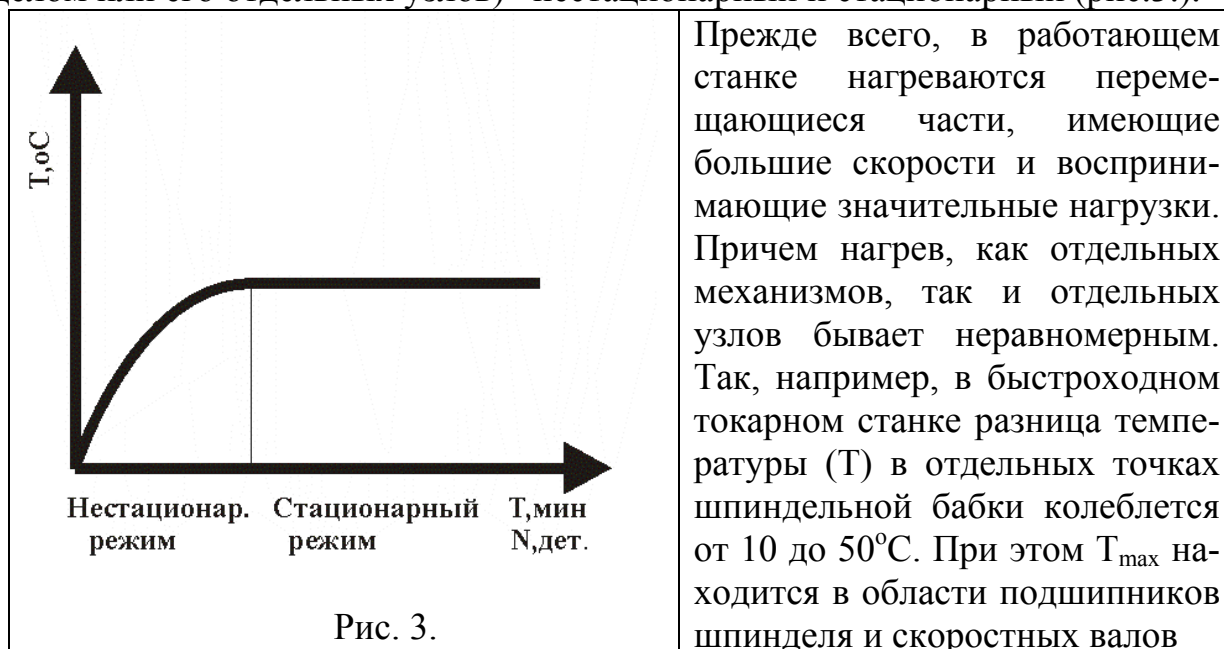
Как установлено практикой система СПИД может находиться в двух температурных режимах:

- нестационарном, когда происходит изменение температуры;

- стационарном, когда наступает тепловое равновесие системы.

Проявление погрешностей за счет тепловых деформаций происходит лишь в период нестационарного периода, т.е. при наступлении теплового равновесия погрешности не проявляются.

Температурные деформации станка. При работе металлорежущего станка особенно четко проявляются два температурных состояния (станка в целом или его отдельных узлов)– нестационарный и стационарный (рис.3.).



(≈ на 40-50% больше, чем у остальных деталей). Это приводит к появлению температурных деформаций, как в осевом направлении, так и к смещению координаты оси шпинделя в радиальном направлении. Это смещение пропорционально числу оборотов (\sqrt{n}). Например, если шпиндель токарного станка в осевом направлении зафиксирован на заднем упорном ПШК, то его удлинение может достигать 0,1мм. Смещение координаты оси шпинделя может достигать нескольких десятков мкм. При этом наибольшее удлинение получают валы, винты, стойки и т.д., которые имеют большую протяженность. Источниками тепла у МРС являются: нагруженные подвижные части; электродвигатели; насосы; резервуары масла и СОТС.

Кроме этого станок в целом или его отдельные части нагреваются от окружающей среды цеха, солнечного тепла, тепла от обогревателей и т.д. Этот нагрев неодинаков в разное время дня и года. Для уменьшения влияния температурных деформаций МРС необходимо:

1. Перед выполнением точных работ необходимо вывести МРС на стационарный температурный режим. Сделать это можно либо за счет работы станка на холостом ходу (в течение 2-х – 3-х часов), либо за счет выполнения в начале смены неточных работ.

2. Следует рационально размещать на станке источники тепла или прибегать к их теплоизоляции (например, с помощью тепловых экранов).

3. Применять холодильные устройства на МРС, стабилизирующие температуру.

4. Рационально конструировать отдельные части станка.

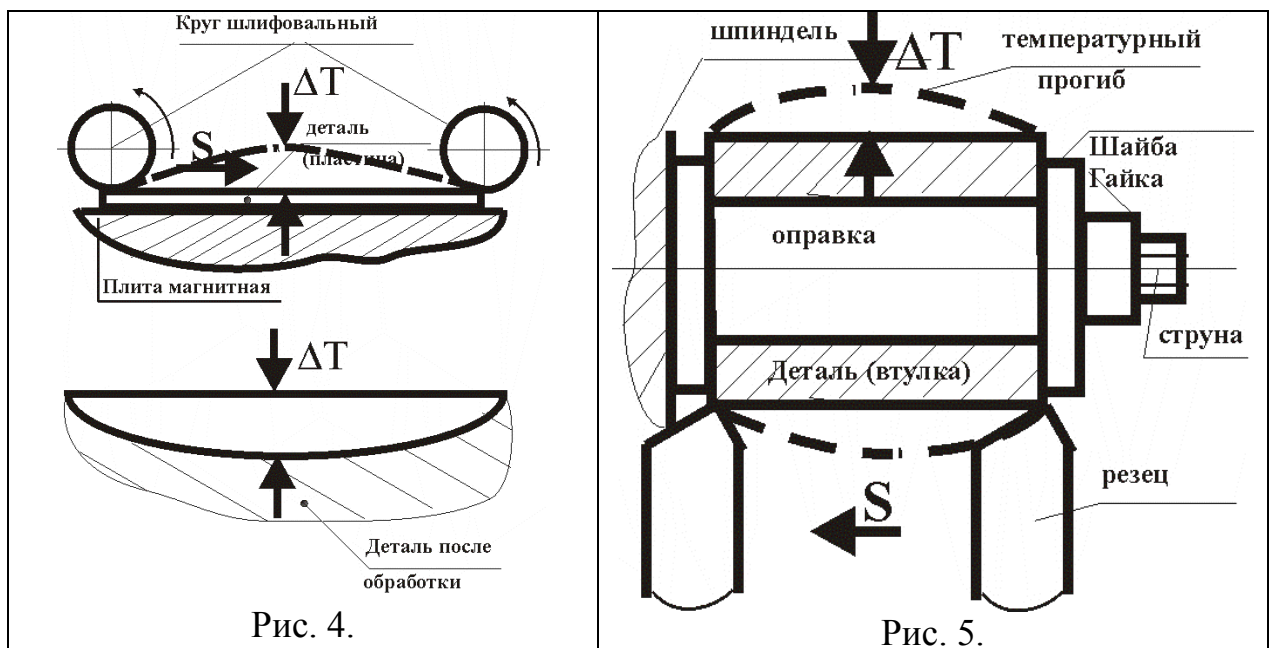
5. В особо ответственных случаях вести обработку в термоконстантных цехах.

Температурные деформации заготовок. Характерным распределением потока тепла резания, например, при точении является следующее: стружка-60-80%; РИ- 10-14%; заготовка- 3-9%; внешняя среда-1%. При сверлении характер другой: стружка - 28%; сверло- 15%; заготовка- 50-55%; окружающая среда- 3% и т.д.

Таким образом, заготовки в процессе нагреваются значительно. Их деформация (погрешность) зависят от размеров и массы, коэффициентов линейного расширения материала.

Мелкие заготовки очень быстро достигают температурного равновесия. Заготовки большой массы в процессе обработки могут вообще не выйти на стационарный режим и тогда температурный фактор проявляется в большей степени (особенно при черновых режимах). Из этого следует, что черновую обработку не следует проводить вслед за чистовой (обоснование принципа поэтапности ТП).

Нагрев заготовки может приводить как к изменению линейных размеров, так и к изменению формы и взаимного расположения поверхностей. Например, при обработке длинных нежестких планок (рис. 4), тонкостенных цилиндров (рис. 5) и т.д.



Способы уменьшения или устранения температурных погрешностей деформаций

1. Обильное применение СОТС.
2. Повышение скорости резания и подачи, в результате чего большая часть тепла уходит в стружку.
3. Устранение ранее накопленного в детали тепла путем ее вылеживания на воздухе или в холодильнике.

4. Шлифование деталей шлифовальными кругами больших диаметров, а также кругами с прерывистой поверхностью.

5. Применением рациональных зажимных устройств, приводящих к уменьшению погрешностей формы.

Температурные деформации режущего инструмента. Несмотря на то, что в РИ уходит сравнительно небольшое количество тепла резания (10-20%) его нагрев все же значителен. Например, рабочая часть проходного резца из быстрорежущей стали Р18 нагревается до 700-800°C, что для резца средних размеров может привести к его удлинению на 30-50 мкм. Картина нагрева и охлаждения РИ носит специфический циклический характер (рис.6).

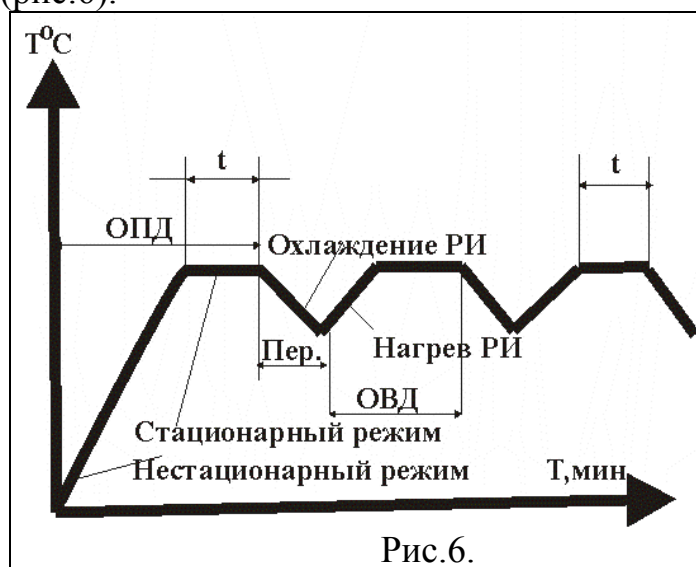


Рис.6.

Здесь «ОПД» - обработка первой детали, а «ОВД» - обработка второй детали. «Пер.» - перерыв в работе в процессе которого происходит охлаждение РИ. Естественно, это отразится на точности обработки. Вначале работы РИ сравнительно быстро нагревается и достигает теплового равновесия (стационарный режим) при котором идет процесс обработки.

После остановки РИ медленно охлаждается и после начала следующей обработки довольно быстро выходит на тепловое равновесие. Если обработка имеет большую продолжительность во времени тепловые деформации могут вызывать погрешности формы детали. Уменьшить или исключить это влияние можн:

1. Обильным подводом СОТС.
2. Достижением ритмичности в работе (одинаковыми промежутками времени обработки и между обработкой).
3. Малыми промежутками выстоя между обработкой смежных деталей.

Проявление температурного фактора системы СПИД приводит к погрешностям при работе на настроенных станках и при работе по лимбу. В случае же обработка методом пробных ходов и промеров и с использованием систем с обратной связью температурный фактор не влияет на точность размеров, но может привести к погрешностям формы деталей.

При повышении V , S и t температура резания растет, а, следовательно, растет и удлинение резца (Δl). Уменьшение вылета резца с 40 до 20мм приводит к резкому уменьшению его удлинения (с 28 до 18мкм). Удлинение РИ обратно пропорционально площади поперечного сечения стержня (державки) резца. Кроме этого увеличение толщины пластинки ТС тоже снижает Δl , которое прямо пропорционально твердости обрабатываемого материала. При

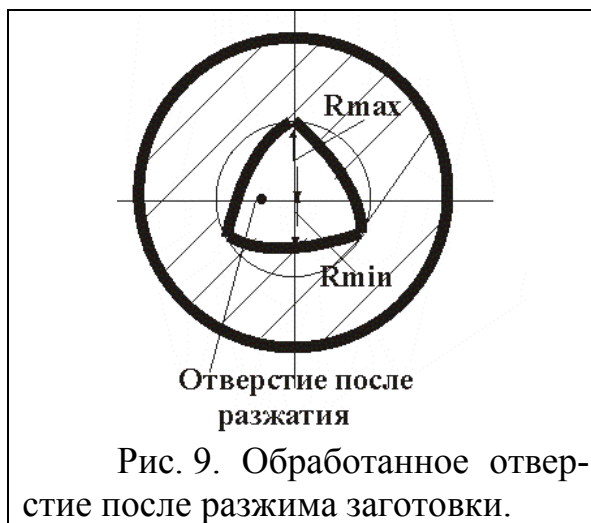
использовании СОТС Δl снижается в 3-3,5 раза. В условиях теплового равновесия:

$$\Delta l = C \cdot (l_p/F) \cdot \sigma_b \cdot (t \cdot S)^{0,75} \cdot \sqrt{V},$$

где $C=4,5$ при $V=100 - 200$ м/мин; $t \leq 1,5$ мм; $S \leq 0,2$ мм; l_p - вылет резца; $F=V \times H$ мм²; σ_b - предел прочности ОМ (сигма временное).

Влияние усилия зажима заготовки на погрешность обработки.

Усилия закрепления заготовок, также как и усилия резания, вызывают их упругие деформации, которые в свою очередь порождают погрешности формы при обработке. При постоянстве размеров заготовок и усилия зажима эти погрешности являются систематическими и могут быть вычислены по соответствующим формулам и учтены. Так, например, при обработке втулки в патроне токарного станка происходит ее упругая деформация, причем в местах «А» приложения кулачков радиус заготовки уменьшается, а в точках «В» увеличивается (рис.7, состояние до расточки).



После обработки до разжима отверстие имеет правильную геометрическую форму (рис.8.). Однако, как только будет снято зажимное усилие, наружная поверхность втулки примет исходную (круглую) форму, а внутренняя деформируется и примет форму (рис.9), близкую к форме закрепленной наружной поверхности (рис.7.). В нашем случае, когда зажим производился в трехкулачковом патроне, это будет треугольник.

Погрешность формы в данном случае определяется по формуле:

$$\Delta = R_{max} - R_{min}.$$

Следует иметь в виду, что погрешность формы в данном случае зависит от числа кулачков токарного патрона. По расчетам проф. Корсакова В.С.

если при зажиме в двух кулачковом патроне принять $\Delta=100\%$, то в 3-х – 21%, 4-х – 8%, 6-ти - 2%. При форме зажимной поверхности кулачков соответствующей форме зажимаемой поверхности заготовки (что обеспечивает наиболее полное их взаимное прилегание) погрешности формы снижаются. В некоторых случаях источником погрешностей могут служить силы тяжести, центробежные силы (деформации неуравновешенных масс отдельных частей заготовки в момент их обработки) и остаточные напряжения. При одностороннем снятии припуска или при снятии неравномерного припуска происходит перераспределение внутренних напряжений, образовавшихся в исходной заготовке при литье, штамповке, термообработке и т.д. Упругие деформации заготовок под действием перечисленных сил вызывает систематические погрешности их геометрической формы.

При закреплении станин, рам, плит усилия зажатия (прижимные планки) надо располагать в месте точек их опоры - это снижает деформации. При закреплении длинных деталей (валов и т.д.) в центрах токарных станков давление центра задней бабки вызывает сжатие и продольный изгиб детали. Поэтому величина силы зажима имеет важное значение.

Влияние качества обработки на показания измерений. Если поверхность детали имеет большую шероховатость, то при контроле размера измерение может быть произведено или по гребешкам шероховатости или по их впадинам, что не дает правильного представления о действительном размере. Кроме этого гребешки поверхности при эксплуатации детали быстро сминаются (изнашиваются) и действительный размер детали может резко изменяться. Таким образом, точность обработки будет неопределенной, если качество поверхности не соответствует точности. Поэтому при назначении шероховатости поверхности в подавляющем большинстве случаев необходимо пользоваться специальными таблицами в которых шероховатость рекомендуется в зависимости от качества (точности) и номинального значения размера, а также от точности формы. Эти данные приводятся в технической литературе.

ЛЕКЦИИ 10, 11

План лекции:

1. Составляющие общего рассеивания заготовок.
2. Рассеяния размеров, связанные с видом обработки (мгновенное рассеивание).
3. Погрешность установки обрабатываемой заготовки на станке или в приспособлении.
4. Суммарные погрешности, связанные с геометрической точностью станков.

Составляющие общего рассеивания заготовок. Рассеивание размеров заготовок вызывается многочисленными случайными факторами различного характера, оказывающими свое воздействие на отдельные элементы технологической системы одновременно или независимо друг от друга. По своему происхождению эти факторы могут быть объединены в определенные группы, вызывающие свою долю рассеивания размеров.

Рассеивания размеров, связанные с видом обработки (мгновенное рассеивание). Каждому виду обработки, осуществляемому на определенном оборудовании, свойственна своя величина рассеивания размеров, характеризующаяся полем рассеивания (ω_m). Однако и внутри данного вида обработки ω_m меняется в зависимости от конструкции, типоразмера и состояния станка (т.е. от его точности и жесткости). С развитием конструкций станков может произойти переоценка представлений о рассеивании размеров при данном виде обработки. Рассеивание ω_m не остается постоянным и в продолжении обработки партии заготовок, а изменяется в зависимости от состояния режущего инструмента (рис.10). Вначале и в конце обработки (приработка и катастрофический износ) $\omega_{m.нач.}$ и $\omega_{m.кон.}$ больше, чем в середине обработки ($\omega_{m.ср.}$) в середине обработки.

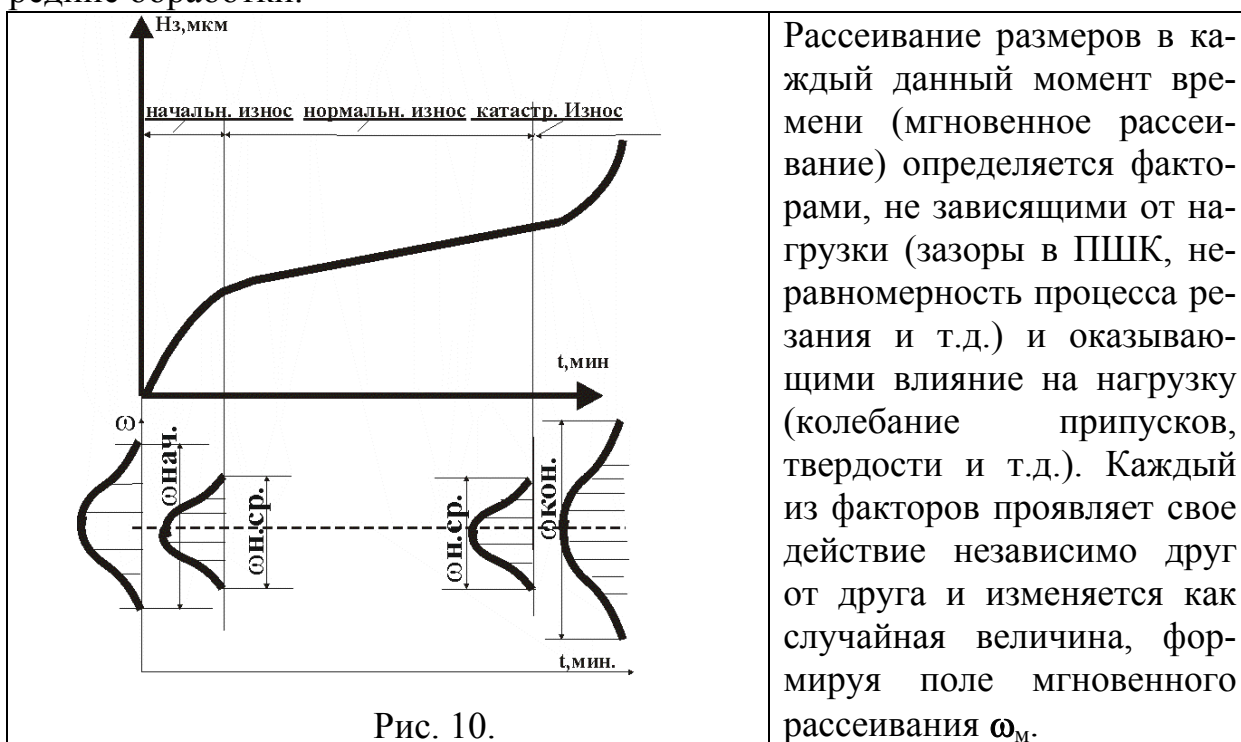


Рис. 10.

Рассеивание размеров в каждый данный момент времени (мгновенное рассеивание) определяется факторами, не зависящими от нагрузки (зазоры в ПШК, неравномерность процесса резания и т.д.) и оказывающими влияние на нагрузку (колебание припусков, твердости и т.д.). Каждый из факторов проявляет свое действие независимо друг от друга и изменяется как случайная величина, формируя поле мгновенного рассеивания ω_m .

Погрешность установки обрабатываемой заготовки на станке или в приспособлении. Является одной из величин, входящих в общую погрешность при работе на настроенных станках. Она есть возможная величина смещения ТИБ заготовки по отношению к траектории движения РИ или по отношению к своему номинальному положению, т.е. это колебание положения ТИБ заготовки. Определяется по зависимости:

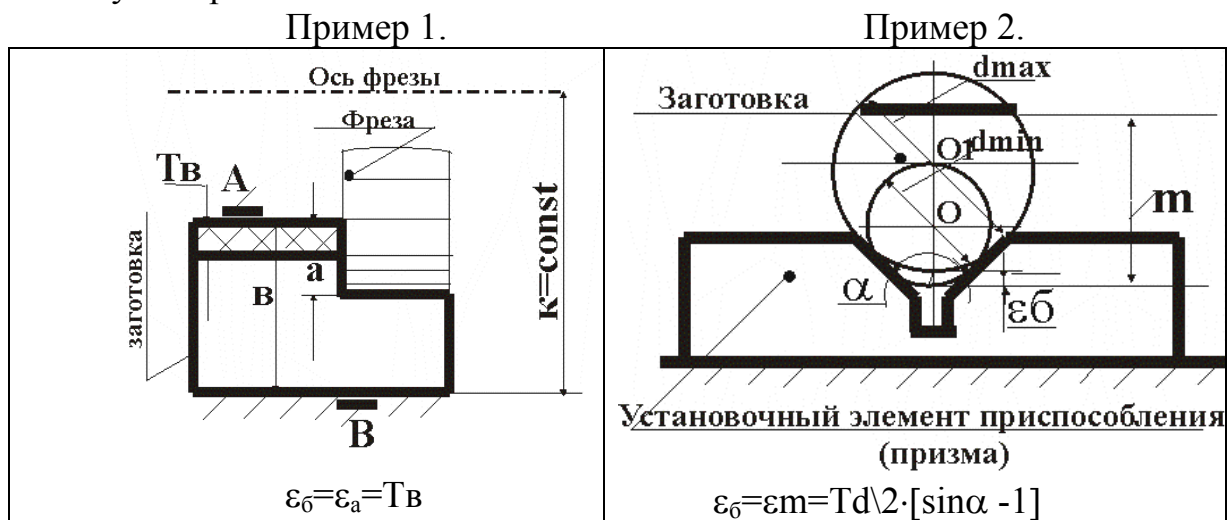
$$\varepsilon_y = f(\varepsilon_6 + \varepsilon_3 + \varepsilon_{пр}),$$

где ε_6 - погрешность базирования; ε_3 - погрешность закрепления; $\varepsilon_{пр}$ - погрешность приспособления.

При обработке на настроенных станках (метод автоматического получения размеров) погрешность установки (ε_y) исключают за счет совмещения ТИБ и ТУБ, за счет уменьшения или исключения зазоров при одевании заготовок на установочную поверхность, за счет рационального приложения уси-

лий зажима заготовок, за счет повышения износостойкости опор приспособления и т.д. Рассмотрим подробнее составляющие ϵ_y :

Погрешность базирования (ϵ_b). При установке заготовки в приспособлении в ряде случаев возникает погрешность ϵ_b , которая связана с несовпадением ТИБ и ТУБ, или вызванная особенностями формы опорных поверхностей заготовки и установочных элементов приспособлений. Погрешность ϵ_b (поле рассеивания размеров вследствие базирования) можно определять как разность предельных расстояний ТИБ относительно установленного на размер РИ. Погрешность ϵ_b определяется из геометрических соотношений и при определенных условиях может быть сведена к нулю. Формулы для расчета погрешности ϵ_b при различной форме базирующих поверхностей заготовок и установочных элементов приспособлений приводятся в справочной литературе. Примеры: Как видно из примера 1 при обработке паза глубиной «а» в результате несовпадения ТИБ (база «А») с ТУБ (база В) образуется погрешность ϵ_b , равная допуску на размер «в». Во втором случае (пример 2) при установке заготовки в призме в результате разброса размеров заготовок в пределах от d_{min} до d_{max} также образуется погрешность базирования, которая зависит не только от величины допуска на заготовку ($Td = d_{max} - d_{min}$), но и от угла призмы « α ».



Здесь следует иметь в виду, что формула для расчета « ϵ_b » зависит от того какая поверхность заготовки обрабатывается. Эти формулы для различных случаев обработки приводятся в справочной литературе. Как видно из рисунка в данном случае формула для расчета ϵ_b приведена для случая обработки лыски на заготовке в размер «m».

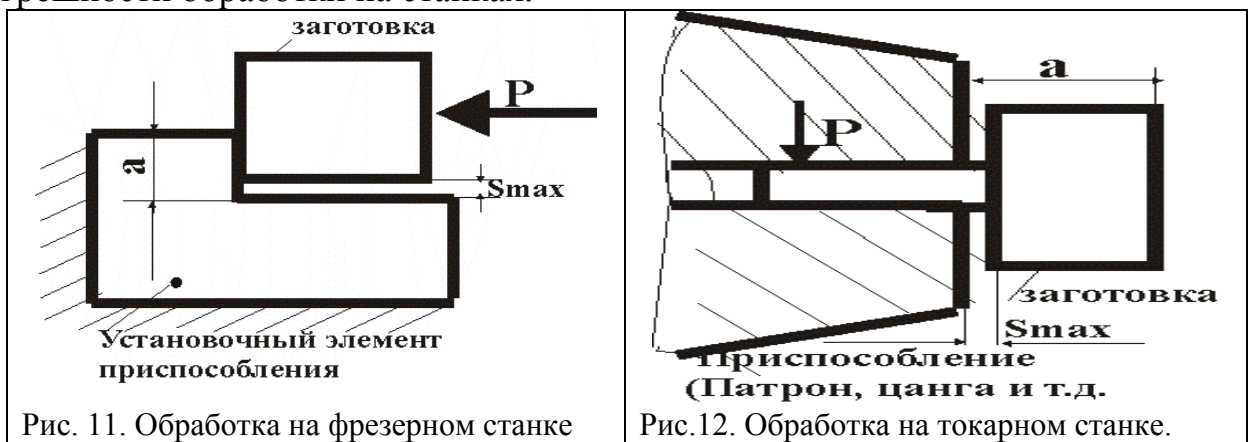
Погрешность закрепления ϵ_z . При закреплении заготовки во многих случаях происходит ее перемещение (выжимание из приспособления на определенную величину), приводящее к появлению зазора «S» между базирующей поверхностью заготовки и установочной поверхностью приспособления по отношению к которой производится настройка станка на размер (рис. 11 и 12). В большинстве случаев ϵ_z определяется экспериментально. Она зависит от конструкции и состояния зажимного устройства приспособления,

а также от направления усилия зажима. При направлении зажимного усилия перпендикулярно ТУБ $\varepsilon_z \rightarrow \min$. Однако и в этом случае $\varepsilon_z \neq 0$ в связи с неточностью базирующих опорных поверхностей заготовок и наличием контактных деформаций поверхностей стыков. Эти деформации в общем случае описываются нелинейной функцией и в отдельных случаях велики:

$$y = C \cdot P^n,$$

где C – характеризует вид контакта, материал заготовки, шероховатость и состояние ее поверхностного слоя; P – сила зажима (действующая на контактный элемент – опору); n – показатель степени ($n < 1$).

Суммарные погрешности, связанные с геометрической точностью станков. Погрешности взаимного расположения как неподвижно закрепленных узлов станка, так и перемещающихся, вызванные неточностью изготовления его деталей и сборки узлов является факторами, определяющими погрешности обработки на станках.



Геометрические отклонения элементов станка приводят к искажению закономерностей относительного движения заготовки и РИ. Они приводят как к отклонениям формы и взаимного расположения обрабатываемых поверхностей, так и отклонениям собственно размеров. Эти погрешности растут по мере износа станков. Допускаемые геометрические погрешности станков называются нормами точности оборудования и регламентируются соответствующими ГОСТами. *Существуют пять таких ном: Н – нормальная точность; П – повышенная; В – высокая; А – особо высокая и С – особая точность.*

Эти нормы обязательно контролируются при выпуске станков. Фактические отклонения могут быть несколько ниже нормы и фиксируются ОТК в паспортах станков.

Обычно нормы точности помимо самих величин отклонений дают методы проверки отдельных параметров. Проверка станка на нормы точности осуществляется в ненагруженном состоянии при неподвижном положении или медленном перемещении вручную. Нормы точности всегда жестче той точности обработки, для которой предусмотрен данный станок. Так, например, нормами оговариваются допускаемые значения радиального биения

шпинделей токарных и фрезерных станков у конуса ($\delta \leq 10-30$ мкм.); отклонения от прямолинейности направляющих у станков нормальной точности ($\delta \leq 20$ мкм на 1000 мм); овальность базовых шеек у станков нормальной точности ($\delta \leq 5$ мкм) и т.д.

Примеры влияния геометрической неточности на погрешности обработки. При обработке заготовок на токарном станке с их закреплением в патроне при наличии отклонения от параллельности оси вращения шпинделя направляющим:

а) – в горизонтальной плоскости образуется конусность на цилиндрической поверхности;

б) – в вертикальной плоскости образуется гиперboloид вращения и т.д. Отклонение от параллельности оси шпинделя токарного станка направляющим ползуна каретки в горизонтальной плоскости приводит при протачивании торцов к внутреннему или наружному конусу. При больших усилиях резания, но постоянных по величине и направлению шпиндель на ПШК отжимается в сторону действия этих сил и, при этом, овальность ПШК и шеек шпинделя копируются на обрабатываемой поверхности. При непостоянном действии сил шпиндель занимает неопределенное положение в ПШК в результате чего возникает погрешность обрабатываемых диаметров.

У средних станков нормальной точности такое отклонение может достигать 5-8 мкм. Такое же явление имеет место и при небольших силах резания (чистовое точение).

Для уменьшения влияния геометрической неточности станка на погрешность обработки необходимо.

1. При изготовлении и ремонте станков применять такие технологические методы, которые обеспечивают достаточную надежность и долговечность поверхностей деталей (цементация и т.д.).

2. Проводить регулярные периодические проверки оборудования на износ.

3. Уменьшать износ ответственных узлов путем аккуратного и правильного обслуживания, а также предохранения трущихся поверхностей от абразивной пыли, применением износостойких материалов прогрессивны смазок.

ВИДЫ ПОГРЕШНОСТЕЙ

ЛЕКЦИИ 12, 13

План лекций:

1. *Систематические постоянные погрешности.*
2. *Систематические закономерно изменяющиеся погрешности.*
3. *Случайные погрешности.*
4. *Основные законы распределения погрешностей.*

Погрешности, возникающие при мехобработке, делятся на две категории: **систематические** (в свою очередь делятся на постоянные и закономерно изменяющиеся) и **случайные**.

Рассмотрим их подробнее.

Систематические постоянные погрешности. Остаются неизменными для каждой детали и для партии деталей в целом. Они вызываются постоянно действующими факторами. Характерными их примерами являются погрешности вызванные неточностью изготовления режущего инструмента (сверла, зенкера, развертки и др.), геометрической неточностью станка и др. Определить величину такой погрешности можно как непосредственным измерением тех элементов, которые являются их причиной, так и путем измерения партии обработанных деталей.

Систематические закономерно изменяющиеся погрешности. Могут оказывать влияние на точность непрерывно в процессе всей обработки либо периодически. Например, погрешности, вызываемые размерным износом инструмента, влияют непрерывно, а погрешности от температурных деформаций влияют периодически.

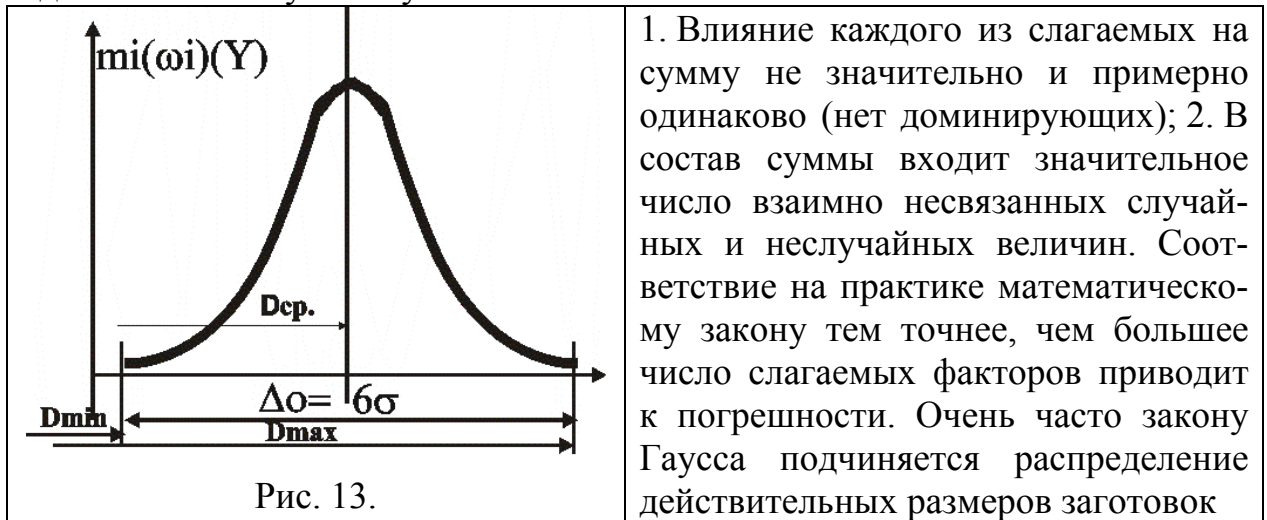
Случайные погрешности. Для разных заготовок данной партии имеют различные значения, а их появление не подчиняется видимой закономерности. Они вызываются обычно случайными факторами, действующими независимо друг от друга. Определить заранее момент появления и точную величину ее для конкретной обрабатываемой партии деталей невозможно. Например, погрешности, которые вызываются деформациями системы СПИД в результате в результате нестабильности сил резания, погрешности установки, настройки (для нескольких настроек). В настоящее время теоретически не всегда может быть объяснена причинно - следственная связь между погрешностью (случайной) и факторами ее вызывающими. Например, невыяснены факторы, вызывающие отклонение размеров отверстий при обработке их одной разверткой. Из-за случайных погрешностей размеры деталей в партии получаются различными, т.е. имеет место рассеивание размеров. Определение точности обработки (определение погрешностей) может производиться как путем аналитических расчетов, так и опытно-статистическим методом (путем определения действительных погрешностей деталей).

В некоторых случаях при внедрении новых техпроцессов и оборудования при невыясненной причинно-следственной связи опытно-статистическое исследование точности оказывается единственно возможным. Проявление случайных и некоторых закономерно изменяющихся погрешностей в практике технологии машиностроения с достаточной точностью подчиняется характерным законам распределения величин теории вероятностей и математической статистики.

Основные законы распределения погрешностей.

1. Закон нормального распределения (Гаусса). Описывается кривой Гаусса, имеющей симметричную шатрообразную форму (рис. 13.) с двумя перегибами. Здесь m -частота появления размеров (% , шт.); $\omega_i = m_i / n$ – частота; n - количество опытов; σ - среднеквадратичное отклонение аргумента. Каждый из законов характеризуется среднеквадратичным отклонением. Этот закон наиболее часто встречается в практике машиностроения и проявляется в тех случаях, когда на конечный результат влияет большое количество факторов и является наиболее изученным. Объяснение ему дает центральная тео-

рема теории вероятностей – теорема Ляпунова, устанавливающая общие условия при которых распределение суммы взаимно не связанных случайных подчиняется этому закону:



обработанных на настроенных станках.

Уравнение кривой нормального распределения имеет следующий вид:

$$Y = 1/(\sigma \cdot \sqrt{2\pi}) \cdot \exp [-(Li - L_{cp.})^2 / (2 \cdot \sigma^2)], \quad (1)$$

где $\sigma = \sqrt{1/n \sum (Li - L_{cp.}) \cdot mi}$; (2) $L_{cp.} = 1/n \cdot \sum (Li \cdot mi)$. (3)

Кривая асимптотически приближается к оси абсцисс. При этом $L_{cp.}$ характеризует центр группирования размеров. Y_{max} имеет место при $Li = L_{cp.}$

$$Y_{max} = 1/(\sigma \sqrt{2\pi}) \approx 0,4/\sigma.$$

На расстоянии $\pm \sigma$ (точки А и В) кривая имеет перегиб:

$$Y_A = Y_B = 1/(\sigma \cdot \sqrt{2\pi e}) = Y_{max} / \sqrt{e} \approx 0,6 Y_{max} \approx 0,24/\sigma.$$

Уравнение (1) показывает, что σ - единственный параметр, определяющий форму кривой нормального распределения. Чем меньше σ , тем меньше рассеивание размеров (кривая менее растянута) и наоборот (рис.14).

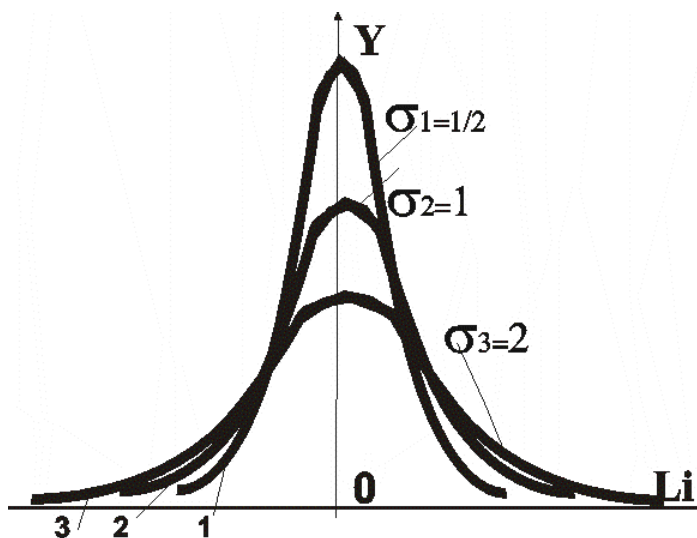


Рис. 14.

На основании исследований установлено, что в пределах абсциссы кривой $X = \pm 0,36\sigma$ находится 35% обрабатываемых размеров (или площади кривой), $X = \pm 0,76\sigma$ - 50%, $X = \pm 3\sigma$ - 99,73%. В связи с этим при практических расчетах принимают допущение, что на расстоянии $\pm 3\sigma$ от положения вершины кривой ее ветви пересекаются с осью абсцисс, ограничивая 100% площади между кривой и осью абсцисс (с погрешностью 0,27%).

Фактическое поле рассеивания составляет $\omega=6\sigma$. Практически из-за влияния различных причин систематического и случайного характера вершина кривой распределения может смещаться по отношению к середине поля рассеивания в ту или иную сторону, а форма кривой может изменяться (т.е. кривая может быть несимметричной). При этом координата центра группирования размеров $E_m A_i$, определяющая положение центра группирования отклонений относительно номинального размера A_i , является математическим ожиданием величины отклонения. Она не равняется координате середины поля рассеивания $E_{с\omega A_i}$, т.е. $E_m A_i \neq E_{с\omega A_i}$. Это смещение характеризуется величиной коэффициента относительной асимметрии α , который определяет величину смещения математического ожидания отклонений $E_m A_i$ относительно середины поля рассеивания (или поля допуска):

$$\alpha = (E_m A_i - E_{с\omega A_i}) / \omega / 2; \alpha = (E_m A_i - E_{с\omega A_i}) / T / 2,$$

где $E_{с\omega A_i}$ - координата середины поля допуска.

Обычно $\alpha=0\pm 0,5$ и определяется опытным путем или по таблицам. В проектных случаях, когда условия обработки неизвестны $\alpha=0$, т.е. считают кривую симметричной. При определении σ по опытным данным ($n < \infty$) погрешность σ зависит от n . Поэтому рекомендуется определять σ по формуле:

$$\sigma = p \cdot S,$$

где σ - среднеквадратичное отклонение, определяемое по формуле (2); p - коэффициент (табл.), учитывающий погрешность определения σ при малых выборках (n).

Таблица

n , шт.	ΔS , %	p	n , шт.	ΔS , %	p
25	42,4	1,4	200	15,0	1,15
50	30,0	1,3	300	12,2	1,12
75	25	1,25	400	10,6	1,11
100	21,2	1,2	500	10,0	1,1

Закон Гаусса в большинстве случаев справедлив при механической обработке заготовок с квалитетами точности IT8 – IT10 и выше.

2. Закон равнобедренного треугольника (закон Симпсона). Если жесткость системы СПИД недостаточна и в связи с износом элементов системы появляется дополнительная деформация системы, то размер заготовки может изменяться во времени уже по другому закону.

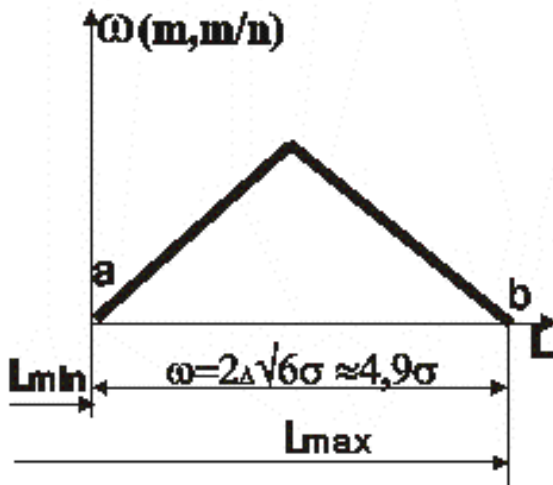


Рис. 15.

Суммарное действие этих факторов увеличивает деформации системы СПИД и тогда закон распределения размеров получает форму треугольника (рис. 15). Таким образом, имеет место два резко доминирующих фактора (например, температура). Имеет место, как правило, при обработке размеров с точностью IT6-IT8. Величина σ определяется по формуле (2) как и для случая закона Гаусса:

$$L_{\text{ср.}} = (a+b)/2; \sigma = (b-a)/(2\sqrt{6})$$

3. Закон эксцентриситета (закон Релея). Закон однопараметрический (рис.16).

$$Y = (R/\sigma_0^2) \cdot \exp(-R^2/(2\sigma_0^2)),$$

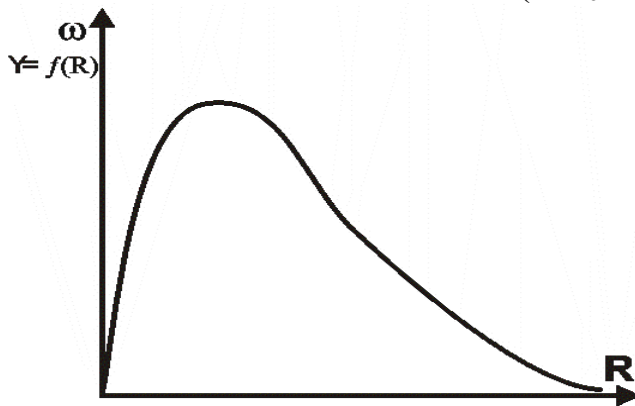


Рис. 16.

где σ_0 - среднее квадратичное отклонение значений координат X и Y. Левая часть более крутая, вершина более заострена, чем у кривой Гаусса и смещена от $R_{\text{ср.}}$ в сторону начала координат. При $R=0$ и $Y=0$ начало кривой совпадает с началом координат.

Характерен для погрешностей формы, а также погрешностей взаиморасположения осей поверхностей (например, конусообразность, отклонение от перпендикулярности, биение двух поверхностей друг относительно друга). Эти погрешности являются объективно положительными, поэтому их распределение происходит от нуля до предельного значения. Распределение подчиняется этому закону в частности тогда, когда случайная величина R является радиусом- вектором при двумерном Гауссовом распределении, т.е. если она представляет собой геометрическую сумму двух случайных величин X и Y, каждая из которых подчиняется закону Гаусса с параметрами

$$L_x \text{ ср.} = L_y \text{ ср.} = L_R \text{ ср.} = 0; \sigma_x = \sigma_y = \sigma_0; R = \sqrt{(X^2 + Y^2)}.$$

Основные параметры закона Релея: среднеарифметическое $R_{\text{ср.}}$ переменной случайной величины (эксцентриситета, разностенности, разнотолщинности), ее σ_R и среднеквадратичное отклонение σ_0 значений X и Y (координат конца радиус- вектора R) связаны между собой следующими соотношениями:

$$\sigma_0 = \sigma_R / 0,655; R_{\text{ср.}} = 1,92\sigma_R = 1,253\sigma_0.$$

Фактически поле рассеивания значений переменной величины радиус-вектора R (эксцентриситета, разнотолщинности, отклонения от параллельности и др.) находят из выражений:

$$\omega = 5,252\sigma_R; \omega = 3,44\sigma_0$$

Оценка σ_0 и σ_R по малой выборке n вносит погрешность в расчет поля рассеивания. Расчет практического поля рассеивания ω производят по формуле: $\omega = K_{\Sigma} \cdot S_R$ (см. таблицу).

n	20	25	30	40	50	60	80	100	200	>200
K $_{\Sigma}$	7,66	7,30	7,05	6,75	6,55	6,4	6,22	6,1	5,82	5,25

3. Закон модуля разности. Имеет место у погрешностей, которые являются разностью двух величин. Так как составляющие погрешности в отдельности для нас не представляют интереса, то результирующая погрешность рассматривается как положительное значение разности составляющих погрешностей. По этому закону часто распределяются такие погрешности как отклонение от параллельности или перпендикулярности двух поверхностей, отклонение от симметричности поверхностей, имеющих общую ось или плоскость симметрии, овальность, отклонение в углах от их номинального значения и др. Как и другие законы описывает распределение существенно положительных величин. Однако в данном случае за случайную величину принимается абсолютная величина:

$$r = |X_1 - X_2|,$$

где X_1, X_2 - случайные величины.

Установлено, что если распределение случайных величин X_1, X_2 подчиняется закону Гаусса, то уравнение закона модуля разности в нормализованном виде выглядит так:

$$Y = \varphi(\rho) = [1/\sqrt{(2\pi) \cdot (\exp(-1/2 \cdot (\rho - \rho_0)^2) + \exp(-1/2 \cdot (\rho + \rho_0)^2))}]$$

где $\rho = r/\rho_0$, $\rho_0 = X_0/\sigma_0$, X_0, σ_0 - соответственно среднее арифметическое и среднеквадратическое разности $|X_1 - X_2|$.

Как видно из рис. 18 (семейство кривых распределения) при $\rho = 0$ кривая резко ассиметрична, а при $\rho = 3$ совпадает с кривой Гаусса. Интегральная функция модуля разности $F(\rho) = [\Phi(t_1) + \Phi(t_2)]$, где $\Phi(t_1)$ и $\Phi(t_2)$ функции Лапласа, а $t_1 = \rho - \rho_0$, $t_2 = \rho + \rho_0$ - аргументы этих функций. Значения функции $F(\rho)$ даны в справочниках в зависимости от ρ_0 для каждого ρ . Среднеквадратическое σ_0 разности $|X_1 - X_2|$: $\sigma_0 = \sigma_r/\sigma_p$. Значения σ_p даны в таблицах справочников. Практическое поле рассеивания распределения модуля разности:

$\omega = I_r \cdot \eta \cdot S_r$, где I_r и η - коэффициенты (приводятся в таблицах); S_r - выборочное среднеквадратическое отклонение.

λ_0	1.324	1.350	1.490	1.660	1.860	2.260	2.810	3.00
I_r	4.97	4.89	4.72	4.71	4.80	5.10	5.61	5.80

Здесь $\lambda_0 = Xr/\sigma_r$.

n	20	25	30	40	50	60	80	100	200	>200
η	1.460	1.391	1.344	1.284	1.246	1.22	1.184	1.162	1.109	1.00

Теоретические частоты для построения кривой распределения вычисляются по формуле:

$$m_i = [F_i(\rho) - F_{i-1}(\rho)] \cdot n,$$

где $F_i(\rho)$ - значение *интегральной функции* i -го интервала; $F_{i-1}(\rho)$ - $i-1$ -го интервала. Использование любого из приведенных законов для исследования точности ТП должно основываться на тщательном анализе условий образования этих законов. Подробный анализ вида распределения может служить основой для уточнения расчетов точности ТП (надо проводить анализ точности соответствия эмпирического распределения теоретическому).

5. Композиции законов распределения и суммирование погрешностей. При обработке заготовок на точность их размеров часто воздействуют одновременно разные факторы, вызывающие появление как случайных погрешностей, подчиняющихся различным законам, так и систематических (постоянных и переменных) погрешностей. В подобных случаях закон распределения размеров заготовок представляет собой композицию нескольких законов. Так, например, если на размеры заготовок одновременно оказывают влияние случайные погрешности (закон Гаусса) и систематические ($\Delta_{\text{сист.}}$) - кривая Гаусса смещается на величину $\Delta_{\text{сист.}}$. Поле суммарного рассеивания в этом случае:

$$\omega = 6\sigma + (\Delta_{\text{сист.}}).$$

Например, при развертывании партии заготовок рассеивание размеров диаметров подчиняется закону Гаусса. При смене развертки характер рассеивания не меняется (т.к. условия обработки не изменились), однако вершина кривой сместится на величину разности диаметров первой и второй разверток ($\Delta_{\text{сист.}} = \Delta n$). Поэтому поле рассеивания всей партии заготовок увеличится (рис.19). Если же при этом кривая рассеивания строится по замерам заготовок без учета $\Delta_{\text{сист.}}$ (например, взята партия заготовок обработанных с нескольких настроек), то форма общей кривой рассеивания искажается и отличается от кривой Гауса. Она может иметь несколько вершин разной высоты, соответственно числу настроек и количеству заготовок, обработанных с каждой настройкой (рис.20).

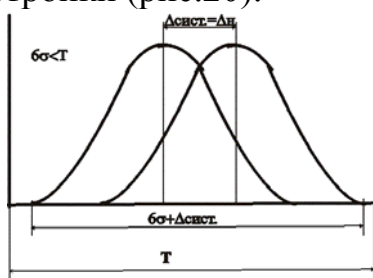


Рис. 19.

При вычислении суммарной погрешности обработки систематические погрешности складываются алгебраически, т.е. с учетом их знаков. Результат суммирования может показать при этом не только увеличение, но и снижение общей погрешности.

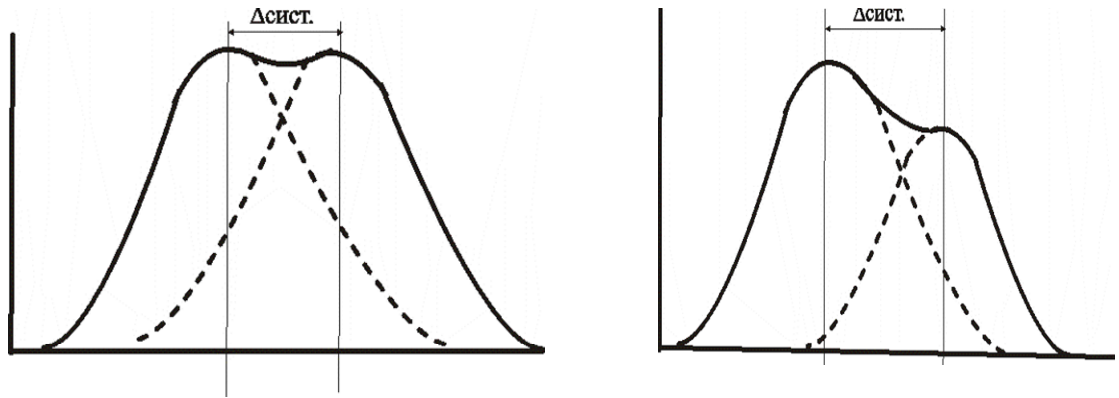


Рис. 20.

Так, например, удлинение резца в связи с нагревом может компенсировать его износ. Систематические погрешности складываются арифметически со случайными, т.е. знак не имеет значения. Случайные погрешности, не подчиняющиеся закону Гаусса, при отсутствии доминирующей погрешности, суммируются геометрически:

$$\omega = \sqrt{[(K_1 \cdot \omega_1)^2 + (K_2 \cdot \omega_2)^2 \dots + (K_n \cdot \omega_n)^2]},$$

где $(\omega_1 - \omega_n)$ - поле рассеивания случайных погрешностей; $(K_1 - K_n)$ - коэффициенты относительного рассеивания. Их значения приводятся в литературе. Например, $K=1$ (закон Гаусса); $K=1.22$ (закон Симпсона); $K=1.73$ (закон равной вероятности). Если все суммируемые погрешности подчиняются закону Гаусса, то:

$$\omega = \sqrt{(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \dots + \omega_n^2)}.$$

Это имеет место в обычных условиях обработки на настроенных станках и при отсутствии заметного влияния износа режущего инструмента. Однако для того, чтобы учесть возможное на практике отступление распределения отдельных погрешностей от закона Гаусса, в расчетах для создания некоторой гарантии точности принимают $K=1.2$, тогда последнее выражение примет вид:

$$\omega = 1.2 \cdot \sqrt{(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \dots + \omega_n^2)}.$$

6. Функция распределения $a(t)$. Во многих случаях механической обработки заготовок на предварительно настроенных станках на точность их размеров оказывают одновременное влияние как большое число близких по величине и независимых друг от друга случайных величин, обуславливающих распределение размеров как по закону Гаусса, так и переменных систематических погрешностей, возникающих вследствие размерного износа режущего инструмента и распределяющихся по закону равной вероятности или др. законам. В подобных случаях изменение исследуемой величины X_t зависит от времени и сама функция может быть представлена в общем виде в некоторый момент времени t выражением:

$$X_t = \sum Y_i \cdot C_t,$$

где Y_i - независимые или слабозависимые величины; C_t - сумма неслучайных величин, соответствующих моменту времени t .

Для расчета точности обработки заготовок при композиции законов Гаусса и равной вероятности удобно пользоваться разработанной проф. Н.А. Бородачевым функцией $a(t)$.

Эта функция выражает не только точность, но и продолжительность процесса обработки. Ее рассматривают как результат равномерного смещения вершины кривой Гаусса со среднеквадратичным σ на величину параметра $2l$ кривой распределения закона равной вероятности. Эта кривая (рис. 21) для некоторого момента времени t выражается формулой:

$$a(t) = [1 / (\sigma \cdot \sqrt{2\pi}) \cdot \exp(-(X - \sigma_a - Ct)^2 / 2 \cdot \sigma^2)],$$

где σ - для распределения Гаусса; σ_a - среднеарифметическое значение размера в начальный момент времени. Форма кривой $a(t)$ зависит от параметра

$\lambda_a = l / \sigma$. Линейную функцию $a(t)$ можно представить в виде:

$$a(t) = a_0 + 2 \cdot l \cdot t = a_0 + 2 \lambda_a \cdot \sigma \cdot t.$$

Среднеарифметическое значение размера функции:

$$L_{ср.} = a_0 + l = a_0 + \lambda_a \cdot \sigma$$

где:

$$\sigma_a = \sqrt{(\sigma^2 + l^2 / 3)} = \sigma \cdot \sqrt{(1 + \lambda_a^2 / 3)}.$$

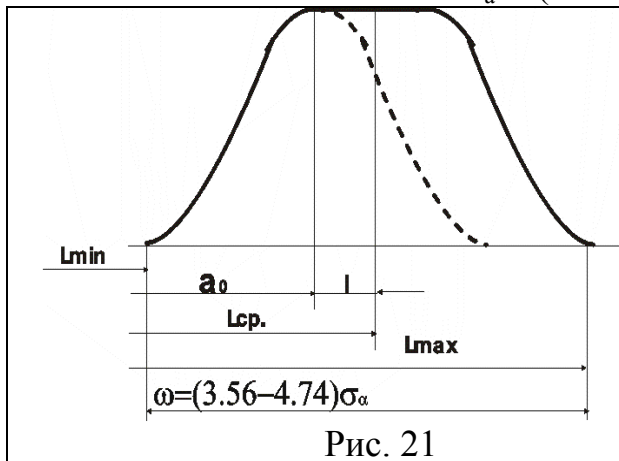


Рис. 21

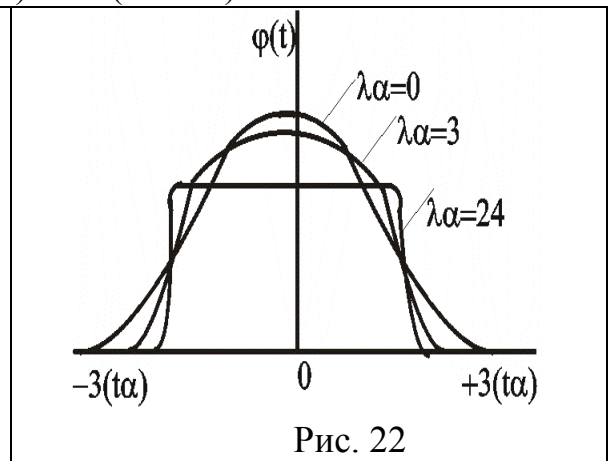


Рис. 22

На рис. 22 представлено семейство нормированных кривых распределения линейной функции $a(t)$ при различных значениях λ_a . Все они симметричны, имеют плоские вершины и изменяют свой вид от кривой Гаусса (при $l \rightarrow 0$ и $\lambda_a = 0$) до прямоугольника (при $\lambda_a \rightarrow \infty$ и $\sigma \rightarrow 0$, закон равной вероятности). Поле рассеивания ω размеров при функции распределения $a(t)$ зависит от параметра λ_a следующим образом:

λ_a	3	6	10	24
ω	$4.74\sigma_a$	$4.14\sigma_a$	$3.76\sigma_a$	$3.56\sigma_a$

Практическое применение законов распределения размеров для анализа точности обработки. Изложенные законы распределения размеров используются в технологии машиностроения для установления надежности проектируемого ТП с точки зрения обеспечения бездефектной обработки, расчета количества вероятного брака, расчета количества заготовок с исправным и неисправным браком, расчета экономической целесообразности

использования высокопроизводительных станков пониженной точности, расчета настройки станков, сопоставления точности обработки заготовок при различном состоянии оборудования, инструмента и т.д.

Установление надежности обработки без брака. Надежность обеспечения заданной точности характеризуется запасом точности ψ данной операции:

$$\psi = T/\omega,$$

где T - допуск на обработку; ω - поле рассеивания размеров.

Когда запас точности $\psi > 1$ - обработка может быть осуществлена без брака (при условии правильности настройки станка, когда вершина кривой рассеивания совпадает с серединой поля допуска). При $\psi < 1$ брак заготовок весьма вероятен. При $\psi \geq 1.2$ процесс обработки считается надежным. Для всех законов распределения размеров условием обработки заготовок без брака является выражение: $\omega < T$ ($6\sigma < T$ для закона Гаусса) или $6\sigma + \Delta_{\text{сист.}} < T$ (при наличии $\Delta_{\text{сист.}}$). Как правило, $\Delta_{\text{сист.}} = \Delta_n$, т.к. другие систематические погрешности удается компенсировать при настройке станка.

ЛЕКЦИЯ 14

План лекции:

1. Расчет количества вероятного брака заготовок.
2. Определение количества заготовок, требующих дополнительной обработки.
3. Определение экономической целесообразности применения высокопроизводительных станков пониженной точности.

Расчет количества вероятного брака заготовок. При $\omega > T$ площадь заштрихованных участков представляет собой количество (в долях единицы или в %) заготовок имеющих исправимый или неисправимый брак (рис. 23 и 24). Для определения количества годных деталей надо найти площадь, ограниченную кривой и осью абсцисс на длине, равной $T = L_{\text{max}} - L_{\text{min}}$. При симметричном расположении ω относительно T следует найти удвоенное значение интеграла, определяющего половину площади, ограниченной кривой и абсциссой X_0 .

Здесь:

$$t_A = (1/2 \cdot T + \Delta_n) / \sigma; \quad t_B = (1/2 \cdot T - \Delta_n) / \sigma;$$

$$\Phi(t) = [1 / (\sigma \cdot \sqrt{2\pi}) \cdot \int_0^{X_0} \exp(-(Li - L_{\text{ср.}})^2 / 2\sigma^2) dL].$$

Или в нормированном виде в форме известной функции Лапласа:

$$\Phi(t) = [(1/\sqrt{2\pi}) \cdot \int_0^t \exp(-t^2/2) dt] dL.$$

Значения Φ табулированы в зависимости от параметра t , который является нормированным параметром распределения или коэффициентом риска:

$$T = (Li - L_{\text{ср.}}) / \sigma = X_0 / \sigma.$$

С увеличением (t) растет количество заготовок, размеры которых находятся в пределах рассматриваемого поля допуска E и уменьшается процент ожидаемого брака (процент риска P).

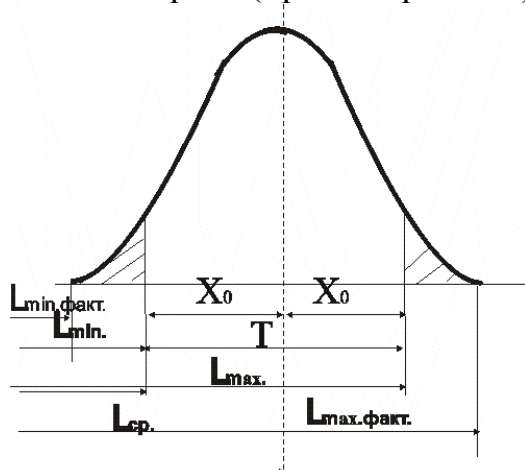


Рис. 23.

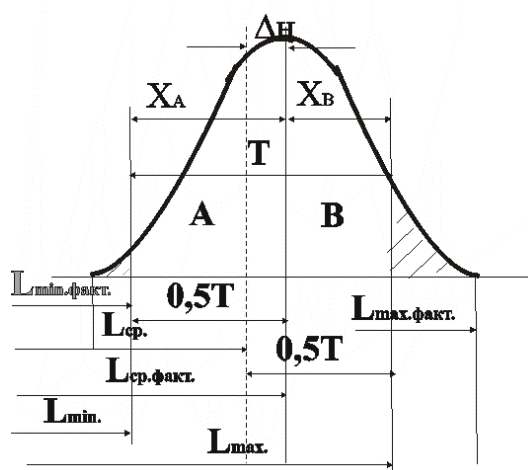


Рис. 24.

P	0.1	0.1	0.27	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	10.0	32.0
t	3.29	3.12	3.00	2.80	2.57	2.33	2.17	2.06	1.96	1.65	1.00

Решение функции Лапласа зависит не от конкретных значений X_0 и σ , а от их отношения. Таким образом, расчет количества годных деталей сводится к установлению (t) и определению $\Phi(t)$ с последующим пересчетом полученных величин в % или число штук заготовок. В случае, когда распределение размеров заготовок подчиняется кривой $a(t)$ с параметрами σ_a и λ_a (см. рис. 25) порядок расчета остается неизменным.

Функцию $a(t)$ также можно отразить в нормированном виде:

$$t(a) = (L - L_{\text{ср.}}) / \sigma_a = X_0 / \sigma_a,$$

где σ_a - среднеквадратическое отклонение функции. Функция $a(t) = \Phi(t_a)$ также табулируется. При симметричном расположении ω и T:

$$\sigma_a = l / \sigma; X_0 = T / 2; L_{\text{ср.}} = (L_{\text{min}} + L_{\text{max}}) / 2; t(a) = X_0 / \sigma_a.$$

Для нахождения количества брака: $Q_{\text{бр.}} = 1 - [2\Phi(t_a, \lambda_a) \cdot 100\%]$.

Часто при обработке заготовок в условиях одновременного действия случайных и переменных погрешностей настройку станка осуществляют по первым пробным заготовкам без учета последующего износа резца и смещения центра группирования. При этом кривую располагают таким образом, что ее начало совпадает с одной из границ поля допуска (рис.26). Тогда:

$$Q_{\text{бр.}} = [0,5 - \Phi(t_a, \lambda_a) \cdot 100\%,$$

а количество годных:

$$Q_{\text{бр.}} = [0,5 + \Phi(t_a, \lambda_a) \cdot 100\%.$$

Расчеты показывают, что при одностороннем расположении бракованных заготовок больше, чем при симметричном, однако в первом случае это может быть исправимый брак. Его можно исправить, например, шлифованием. Таким образом, одновременное влияние случайных и систематических погрешностей резко увеличивает вероятность брака. На практике для умень-

шения брака используют более точное оборудование, применяют износостойкие инструментальные материалы (например, сверхтвердые, поднасыройки при наличии $\Delta_{\text{сист.}}$). При распределении существенно положительных величин по закону Релея методика расчета процента годных и брака остается неизменной. При $\omega > T$ брак возможен:

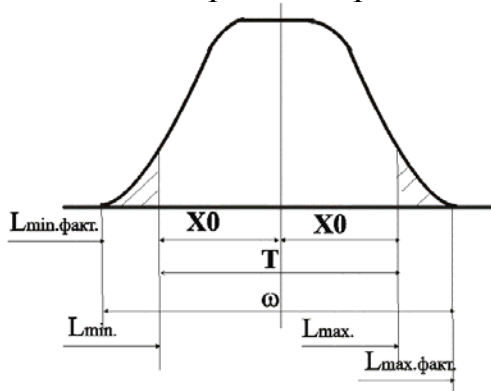


Рис. 25.

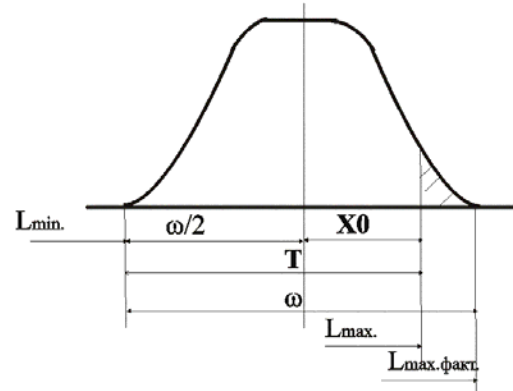


Рис. 26.

$$F_i = [1/\sigma_0^2 \cdot \int_0^t R \exp(-R^2/(2\sigma_0^2))] dt.$$

Здесь F_i - общая площадь кривой. После подстановки $t = X_0/\sigma = R/\sigma_0$ и $t = 0,655R/\sigma_R$ получаем нормированный вид:

$$\Phi(t) = \int_0^t t \exp(-t^2/2) dt.$$

Эта функция также табулирована. Зная t в Φ можно легко определить количество годных (Q) и бракованных ($Q_{\text{бр.}}$) деталей.

Определение количества заготовок, требующих дополнительной обработки. В некоторых случаях, например, при отсутствии на предприятии станка требуемой точности, а также при необходимости выполнения срочного задания на высокопроизводительном станке (автомате), но малоточном (по сравнению с револьверным), когда $\omega > T$, а допустить окончательный брак нельзя (дорогие заготовки и т.д.) настройку станка производят заведомо со смещением (m) вершины кривой распределения по отношению к середине поля допуска с таким расчетом, чтобы весь брак был исправимым. Для этого вершину кривой смещают вправо на (m) от середины поля допуска для валов и влево для отверстий. Чтобы полностью исключить неисправимый брак величину (m) увеличивают на Δ_n ($\Delta_{\text{сист.}}$), что конечно же приводит к росту $Q_{\text{бр.}}$ (рис. 27 и 28).

$$X_A = X_B = T - 3\sigma - \Delta_n.$$

По величинам X_A и X_B находят t_A (t_B) и по таблицам рассчитывают $\Phi(t)$.

$$Q_{\text{годн.}} = [0,5 - \Phi(t)] \cdot 100\%$$

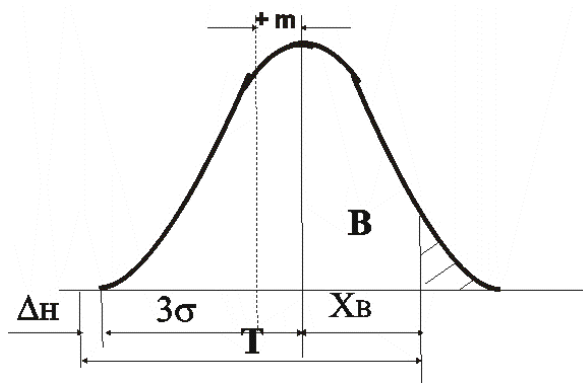


Рис. 27.

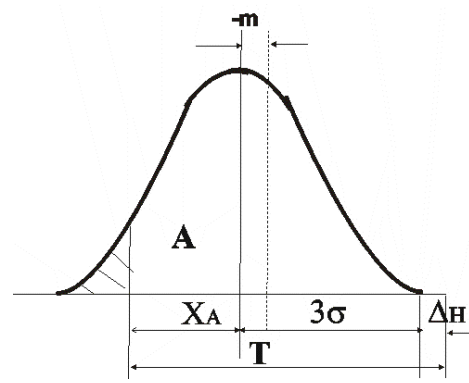


Рис. 28.

Определение экономической целесообразности применения высокопроизводительных станков пониженной точности. Анализ особенностей формы кривой Гаусса показывает, что даже при значительном выходе ее ветвей за пределы поля допуска количество бракованных заготовок сравнительно невелико, особенно при симметричном расположении вершины кривой распределения по отношению к середине поля допуска. Следовательно, в ряде случаев возможно и целесообразно использовать для обработки точных заготовок высокопроизводительные станки даже тогда, когда их точность по расчетам является недостаточной. При этом ценой сравнительно малых затрат на неизбежный брак можно добиться повышенного выпуска изделий и снизить их себестоимость. При этом рассчитывают количество брака и число заготовок, требующих дополнительной обработки, убытки от брака, стоимость дополнительной обработки, снижение себестоимости при обработке заготовок на более производительном оборудовании.

ЛЕКЦИЯ 15

План лекции:

1. *Качество поверхности деталей машин.*
 -наклеп;
 -остаточные напряжения;
 -шероховатость;
2. *Влияние технологических факторов на шероховатость поверхности.*

Качество поверхности деталей машин

Определяется двумя составляющими: состоянием поверхностного слоя (остаточные напряжения, наклеп и т.д.) и шероховатостью поверхности.

Влияние механической обработки на состояние поверхностного слоя.

1. Наклеп. При мехобработке под действием сил резания происходит пластическая деформация, сопровождающаяся наклепом. Интенсивность и глубина его возрастают с ростом сил и времени их воздействия, а также с повышением степени пластической деформации.

Всякое изменение вида обработки или режима резания, а также геометрии инструмента, вызывающее увеличение сил резания, ведет к росту степени пластической деформации, а рост продолжительности воздействия - к уве-

личению глубины наклепанного слоя. Увеличение температуры в зоне резания вызывает обратные процессы. Картина усложняется наличием сил трения, изменением условий отвода тепла из зоны резания, структурными изменениями металла и т.д.

В общем случае при точении наклеп растет с ростом S , t и g . и при переходе от « $+\gamma$ » к « $-\gamma$ » (т.к. растут силы). Для металлов, не претерпевающих структурные превращения, рост скорости резания снижает наклеп, т.к. уменьшается продолжительность воздействия сил, а также росту тепла.

В процессе обработки сталей, претерпевающих структурные изменения, рост скорости может вызвать поверхностную закалку (У10 и др.). Но надо иметь в виду, что это не наклеп.

Аналогичные явления имеют место при фрезеровании, шлифовании и т.д. В последнем случае переход к самозатачиванию влечет рост наклепа. Износ инструмента тоже ведет к росту наклепа.

2. Остаточные напряжения. Важнейшими показателями состояния поверхностного слоя являются величина, знак и глубина залегания остаточных напряжений. При резании лезвийным инструментом они образуются главным образом под действием силового поля. Температура имеет при этом второстепенное значение. При обработке хрупких материалов остаточные напряжения сжимающие, а пластичных - чаще всего растягивающие. При высокотемпературном режиме (шлифовании) остаточные напряжения растягивающие (рис. 29).

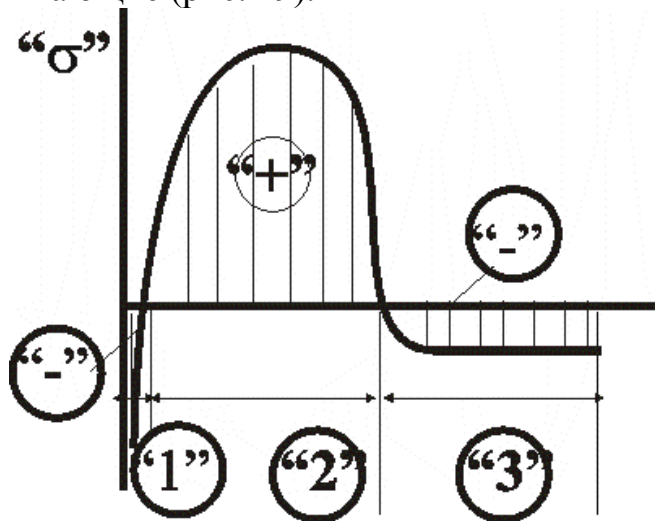


Рис. 29.

В очень тонких слоях $\Delta \approx 0,001-0,015$ мм (зона 1) действуют сжимающие напряжения; в зоне 2, протяженность которой зависит от режима резания, Δ и γ , действуют растягивающие напряжения. Протяженность зоны 2 на порядок больше зоны 1. Поэтому состояние поверхностного слоя определяют характер и величина σ в зоне 2. В зоне 3, уравнивающей действие напряжений зон 1 и 2, напряжения снова сжимающие.

Наличие σ («-») существенно ухудшает качество поверхностного слоя металла, т.к. при этом снижается усталостная прочность. Если σ («-») по величине превосходит σ_B (σ_p), то это приводит к образованию поверхностных трещин.

Шероховатость - согласно ГОСТ это совокупность микронеровностей с относительно малыми шагами, выделенная, например, с помощью базовой длины. Для ее оценки стандартом предусмотрены шесть критериев: R_z , R_a , R_{max} , S_m , S_i и t_a . Ее измеряют в основном перпендикулярно движению резания (поперечная шероховатость) т.к. она имеет большую величину. Однако

в некоторых случаях продольная шероховатость может быть большей (при наличии вибраций, пластической деформации и т.д.).

Влияние технологических факторов на шероховатость поверхности.

1. Состав, структура и механические свойства обрабатываемого материала. Существенно влияют на шероховатость. Так вязкие, пластичные материалы, которые резанием обрабатываются легко, не позволяют получить низкую шероховатость. В то же время, как правило, более твердые материалы это позволяют. Отсюда при обработке низколегированных сталей шероховатость больше, чем при обработке средне и высоколегированных. Определяется это в основном большим содержанием феррита в низкоуглеродистой стали. А одним из недостатков феррита является повышенная склонность к наростообразованию.

Влияние отдельных химэлементов в составе стали на шероховатость достаточно подробно изучено и приводится в справочной литературе.

При обработке чугунов основное влияние оказывают количество и формы включений графита. При обработке чугуна с мелкопластинчатым перлитом шероховатость меньше, чем при обработке ферритовых чугунов с крупнопластинчатым перлитом. Увеличение количества графита в чугуне отрицательно сказывается на качестве поверхности, т.к. способствует образованию стружки надлома.

2. Материал, геометрия, микрогеометрия и износ режущей части инструмента. РИ из углеродистой и легированных сталей при малых скоростях резания дают более качественную поверхность; при повышении скорости до 15-30 м/мин шероховатость растет из-за приваривания мелких частичек стружки к режущему лезвию. На ТС инструменты стружка налипает значительно меньше, кроме этого их износ значительно менее интенсивен. Поэтому обработка ведется удовлетворительно и в зоне высоких скоростей.

Для получения высококачественной поверхности режущие поверхности (лезвия) должны тщательно доводиться алмазным или эльборовым инструментом и своевременно перетачиваться.

Геометрия режущей части инструмента влияет на шероховатость следующим образом.

При увеличении ϕ и ϕ' высота микронеровностей возрастает (рис. 30, 31), т.е., если $\phi_2 > \phi_1$ (главный угол в плане, рис. 30), то $H_2 > H_1$. Аналогично, если $\phi'_2 > \phi'_1$, то $H_2 > H_1$ (рис. 31).

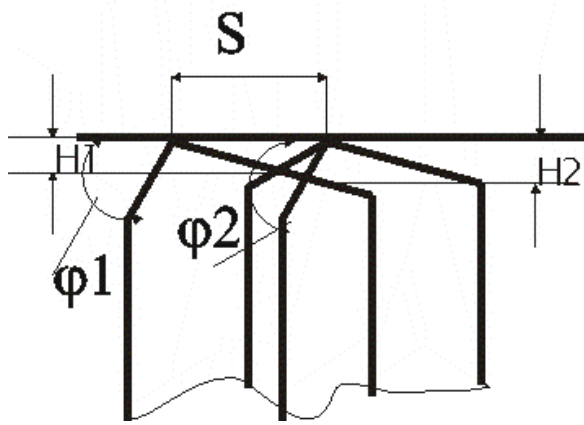


Рис. 30.

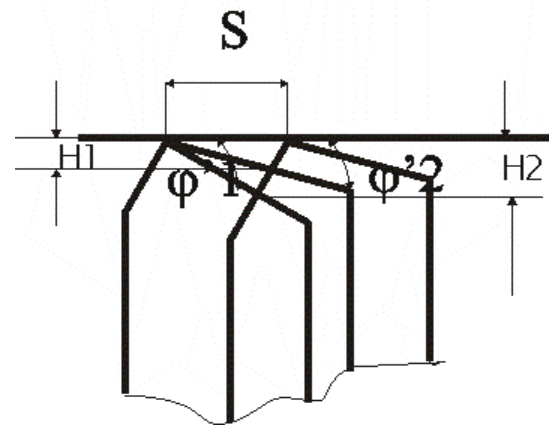


Рис 31.

Значительное влияние оказывает радиус при вершине резца (r). При этом величина « r » связана с подачей (S). Конкретной подаче соответствует некоторое значение (r) при котором высота неровностей будет минимальной.

3. Режимы резания. При обработке хрупких материалов, например, чугуна, шероховатость практически не зависит от скорости резания (V). При обработке легкоплавких материалов она возрастает (из-за оплавления). При обработке труднообрабатываемых жаропрочных и нержавеющей сталей качество поверхности улучшается с $>V$. При обработке наиболее распространенных углеродистых конструкционных сталей наблюдается следующая характерная картина: При небольших скоростях она высокая, затем довольно резко возрастает и, достигнув максимума, снижается и постепенно спрямляется в линию, параллельную оси абсцисс. Т.е. при больших скоростях (V) практически не влияет на шероховатость. Это объясняется явлением наростообразования.

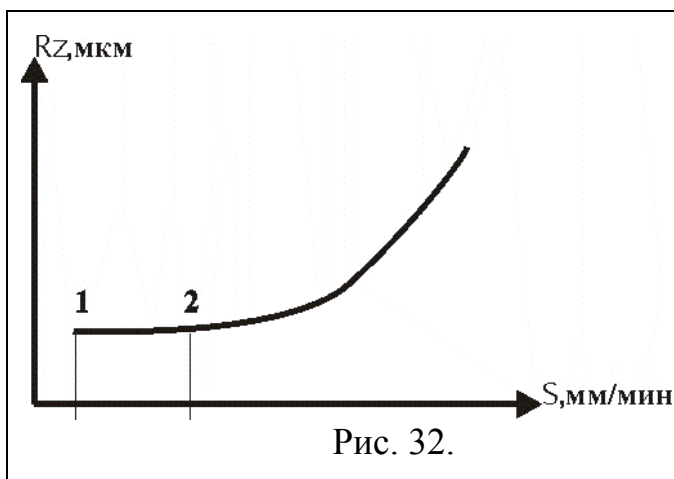


Рис. 32.

С увеличением подачи (рис. 32) шероховатость, как правило, возрастает, однако в определенной зоне (при $<S$) она практически не влияет на качество поверхности, а иногда чрезмерно малая подача даже ухудшает его. Объясняется это трудностью выдерживания ее равномерности. Например, для стали 45 точка 1,2 соответствует подача $S=0,02-0,15$ мм/об.

Глубина резания практически не влияет на шероховатость (качество) поверхности. Однако при малых ее значениях шероховатость может быть большой (режущая кромка периодически, то врезается в металл, то выходит из него).

Литература:

1. Маталин А.А. Технология машиностроения. Л., Машиностроение, 1986;

2. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. М., Машиностроение, 1969;
3. Егоров М.Е. и др. Технология машиностроения. М., ВШ, 1976;
4. Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки деталей / Я. Д. Колкер – К.: Техника, 1976. – 200 с.
5. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения. М., Высшая школа, 1973.
6. Руденко А. П. Проектирование технологических процессов в машиностроении. Учебное пособие / А. П. Руденко. – Киев: Вища школа (Головне изд-во), 1985. - 255 с.