

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по выполнению практических занятий по дисциплине
«Нормирование точности в машиностроении»
для студентов направления подготовки
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
направленность (профиль) «Технология машиностроения»

Ставрополь 2026

Содержание

Введение

Практическая работа № 1 Оценка стабильности показателей машины

Практическое занятие 2. Расчет допусков линейных размеров по единице допуска

Практическое занятие 3. Расчет параметров посадки с зазором в гладком соединении

Практическое занятие 4. Расчет параметров посадки с натягом в гладком соединении

Практическое занятие 5. Расчет параметров переходных посадок в гладком соединении

Практическое занятие 6. Расчет предельных зазоров посадки

Практическое занятие 7. Выбор посадки по значениям предельных зазоров

Практическое занятие 8. Расчёт переходных посадок на вероятность получения натягов и зазоров

Практическое занятие 9. Расчет предельных натягов посадки

Практическое занятие 10. Выбор посадки по предельным значениям натягов при механической сборке

Практическое занятие 11. Выбор посадки по предельным значениям натягов при термической сборке

Практическое занятие 12. Определение допусков изделий из пластмасс

Практическое занятие 13. Расчет и проектирование калибров для контроля размеров гладких цилиндрических соединений

Практическое занятие 14. Определение вероятности попадания размера ролика подшипника в пределы допуска

Практическое занятие 15. Выбор посадок резьбовых соединений

Практическое занятие 16. Решение прямой задачи размерной цепи

Практическое занятие 17. Решение обратной задачи размерной цепи

Практическое занятие 18. Вероятностный метод расчета размерных цепей

ВВЕДЕНИЕ

Точность изделий машиностроения – это степень соответствия действительных параметров изделий их заранее установленным значениям.

Точность – комплексное понятие, характеризующее как геометрические параметры машин и их элементов, так и единообразие различных свойств изготавливаемых изделий, например упругости, электропроводности и др. Точность характеризует также единообразие технико-эксплуатационных показателей машин: напора, производительности, установленной мощности и др. Эти показатели тем точнее, чем уже поле их разброса.

Точность изделий машиностроения является важнейшей характеристикой их качества. Недостаточная точность изготовления современных машин не позволяет им функционировать при больших скоростях и удельных нагрузках, вызывающих вибрации и их разрушение.

Машина собирается из сборочных единиц и деталей.

Под точностью деталей понимают степень приближения детали к геометрически правильному прототипу, изображенному на чертеже и описанному техническими требованиями.

Выполнение практических и лабораторных занятий способствует освоению компетенций и индикаторов:

1. ОПК-5, Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления машиностроительных изделий требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда:

- ИД-2_{ОПК-5} Оценивает состояние организации технологической операции с точки зрения достижения требуемых результатов по точности обработки деталей машин и качества их поверхностей.

2. ОПК-8. Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами,

выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа:

- ИД-3_{ОПК-8} Выбирает оптимальные варианты решения проблем, связанные с машиностроительными производствами.

3. ОПК-9. Способен участвовать в разработке проектов изделий машиностроения:

- ИД-2_{ОПК-9} Участвует в организации процессов разработки и изготовления изделий машиностроительных производств.

4. ПК-3. Способен обеспечивать качество изделий средней сложности в механосборочном производстве:

- ИД-3_{ПК-3} Осуществляет контроль соблюдения технологической дисциплины.

Практическая работа № 1

Оценка стабильности показателей машины

Цель: Освоить методику определения количественных критериев (характеристик) оценки стабильности показателей качества (показателей служебного назначения) машины или показателя точности.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы:

Свойство технологического процесса сохранять показатели качества продукции и услуг в заданных пределах в течение некоторого времени называется стабильностью.

Стабильность качества достигается следующими способами:

- периодической проверкой оборудования и оснастки на технологическую точность и своевременным проведением ремонта этого оборудования;
- обеспечением и поддержанием технологической дисциплины;
- периодической оценкой качества продукции и услуг.

Проверка оборудования и оснастки на технологическую точность

Под технологической точностью оборудования понимают его способность обеспечивать в течение установленного периода времени соответствие поля рассеивания значений показателя качества заданному полю допуска и его расположению.

Стабильность качества может быть достигнута за счет систематической проверки оборудования.

Проверке на технологическую точность подлежит все оборудование, занятое на выполнении базовых, точных, отделочных и финишных операций.

Оборудование с установленными на нем приспособлениями проверяют обязательно в комплексе по тем параметрам, которые непосредственно определяют точность выполнения закрепленных за станком операций.

Способы проведения проверок оборудования на технологическую точность разрабатывают с учетом конструктивных особенностей обрабатываемых деталей и станка (приспособления) и установленных норм технологической точности. Результаты проверки оборудования на технологическую точность заносят в карту контроля технологической точности оборудования и приспособлений.

В случае неудовлетворительных результатов проверки оборудования на технологическую точность и невозможности восстановления ее регулировочными работами это оборудование отправляют в ремонт.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Задачи, решаемые для достижения цели лабораторной работы:

1) По результатам эксплуатационных испытаний одного из показателей служебного назначения машины A (или результата технологического процесса) рассчитать характеристики его рассеяния:

- поле рассеяния ωA и координату его середины $ES\omega$;
- среднее значение (центр группирования) A_{cp} ;
- координату центра группирования $M(x)$;
 - среднее квадратическое отклонение σ ;
 - представить распределение показателя в различной форме – табличной, графической (полигон распределения), функциональной (для чего рассчитать и построить кривую Гаусса на поле рассеяния).

2) Оценить степень достижения стабильности показателя служебного назначения машины A :

- рассчитать коэффициент точности K_T , характеризующий роль случайных погрешностей в достигнутой стабильности показателя служебного назначения ;
- определить смещение центра группирования относительно середины поля допуска E_m и рассчитать коэффициент смещения E как количественную оценку действия систематических погрешностей;
- рассчитать коэффициент относительной ассимметрии α ;
 - определить процент машин, показатель служебного назначения которых выходит за пределы допуска;

3) Дать оценку достигнутой стабильности показателя качества машины и определить возможные направления действий для устранения причин появления брака в будущей партии машин.

Методика выполнения работы.

Изложение методики будем сопровождать примером. В примере испытанию подверглась литейная форма для получения отливок из черных и

цветных сплавов литьем в металлическую форму. Класс размерной точности таких отливок – 6-й. Для размера отливки $A = 210\text{мм}$ этому классу соответствует максимально возможное поле допуска $TA = 0,9\text{ мм}$. При симметричном расположении поля допуска относительно конца номинального значения, т.е. при $Es = 0$, на отливке задан размер $A = 210 \pm 0,45\text{ мм}$. При эксплуатационных испытаниях металлической формы были изготовлены 100 отливок, в них измерен полученный размер, и результаты измерений приведены в приложении 1.

Работа выполняется в следующей последовательности.

1. Получение задания. Задание выдает преподаватель в виде таблицы 100 значений одного из показателей служебного назначения машины, полученных в результате эксплуатационных испытаний. В таблице указаны допустимые значения этого же показателя, определенные в техническом задании на проектирование машины. Как правило, в заданиях приводятся результаты испытаний технологических машин. Необходимо уяснить, о какой машине идет речь, какой показатель служебного назначения измерялся при эксплуатационных испытаниях, как задана требуемая стабильность этого показателя.

В примере испытанию подверглась литейная форма для получения отливок из черных и цветных сплавов литьем в металлическую форму. Класс размерной точности таких отливок – 6-й. Для размера отливки $A = 210\text{мм}$ этому классу соответствует максимально возможное поле допуска $TA = 0,9\text{ мм}$. При симметричном расположении поля допуска относительно конца номинального значения, т.е. при $Es = 0$, на отливке задан размер $A = 210 \pm 0,45\text{ мм}$. При эксплуатационных испытаниях металлической формы были изготовлены 100 отливок, в них измерен полученный размер, и результаты измерений приведены в приложении 1.

2. Определение количественных характеристик стабильности показателя служебного назначения. Формулы для расчетов этих характеристик приведены в табл.1

Для удобства расчетов лучше сначала заполнить табл.2, данные которой (столбцы 3,,5.6,7,8) упрощают расчеты по формулам таблицы 1.

В этой таблице полученное поле рассеяния ωA разбивается на k одинаковых интервалов. Количество интервалов рекомендуется принимать от 10 до 15. Границы интервалов записываются в графу 3. Границу первого интервала нужно выбрать так, чтобы наименьшее измеренное значение показателя оказалось в середине этого интервала.

В примере было принято 10 интервалов с ценой интервала 0,08 мм. За счет того, что граница первого интервала сдвинута в сторону уменьшения на половину интервала интервалов, заполненных измеренными значениями размера, оказалось 11.

Затем все значения показателя из таблицы исходных данных распределяются по интервалам, используя условное обозначение каждого значения в соответствующем интервале черточкой в графе 4. Определяют количество значений в каждом интервале m_i , подсчитывая количество черточек в соответствующей строке графы 4 и записывая в графу 5. В результате колонки 1,2,5 табл. 2 образуют табличное представление распределения значений исследуемого показателя.

Таблица 1. Формулы для расчетов характеристик стабильности показателя A

№ п/п	Характеристика	Условное обозначение	Расчетная формула	Условные обозначения
1	Размах измеренных значений	R	$R = A_{max} - A_{min}$	A_{max} , A_{min} - максимальное и минимальное значения, полученные при испытании; A_0 - номинальное значение A_i - значение показателя в середине i-го интервала (см. табл.2)
2	Координата середины поля рассеяния	$EC\omega$	$EC\omega = \frac{A_{max} + A_{min}}{2} - A_0$	
3	Среднее значение (центр группирования)	A_{cp}	$A_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k A_i m_i$	
4	Координата центра группирования	$M(x)$	$M(x) = A_{cp} - A_0$	
5	Среднее квадратическое отклонение	σ_A	$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^k (A_i - A_{cp})^2 m_i \right\}}$	

6	Поле рассеяния показателя	ωA	$\omega A = 6\sigma_A$	k - количество интервалов m_i - количество значений показателя в i-ом интервале n - общее количество измеренных значений показателя TA - поле допуска показателя Ec - координата середины поля допуска показателя
7	Смещение центра группирования относительно середины поля рассеяния	E_m	$E_m = M(x) - Ec\omega$	
8	Коэффициент точности	K_T	$K_T = \frac{TA}{\omega A}$	
9	Коэффициент относительной асимметрии	α	$\alpha = \frac{E_m \times 2}{\omega A}$	
10	Коэффициент смещения поля рассеяния относительно поля допуска	E	$E = \frac{Ec - M(x)}{TA}$	

Используя формулы табл.1 и итоговые результаты колонок 5,6 и 8 табл. 2 для примера определяем:

$$R = A_{\max} - A_{\min} = 210,41 - 209,61 = 0,8 \text{ мм}$$

$$Ec\omega = 0,5(A_{\max} + A_{\min}) - A_0 = 0,5 \times 420,02 - 210 = +0,02 \text{ мм}$$

$$A_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k A_i m_i = 2100516 : 100 = 210,05 \text{ мм}$$

$$M(x) = A_{cp} - A_0 = 210,05 - 210 = +0,05 \text{ мм}$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^k (A_i - A_{cp})^2 m_i \right\}} = \sqrt{\frac{3,2704}{100}} = 0,18 \text{ мм}$$

$$\omega A = 6\sigma = 6 \times 0,18 = 1,08 \text{ мм}$$

$$E_m = M(x) - Ec\omega = 0,05 - 0,02 = 0,03 \text{ мм}$$

$$K_T = \frac{TA}{\omega A} = \frac{0,9}{1,08} = 0,83$$

$$\alpha = \frac{E_m \times 2}{\omega A} = \frac{0,03 \times 2}{0,8} = 0,075$$

$$E = \frac{Ec - M(x)}{TA} = \frac{0 - 0,05}{0,9} = -0,055$$

Таблица 2. Расчетная таблица

№ п/п	Границы интервалов	Середина интервала A_i	Количество значений в интервале	Количество значений в интервале m_i	$A_i \times m_i$	$A_i - A_{cp}$	$(A_i - A_{cp})^2 \times m_i$
1	2	3	4	5	6	7	8

1	209,57-209,65	209,61	/	1	209,61	-0,44	0,1936
2	209,65-209,73	209,69	//	2	419,38	-0,36	0,2592
3	209,73-209,81	209,77	/////	6	1258,62	-0,28	0,4704
4	209,81-209,89	209,85	//////////	11	2308,35	-0,20	0,44
5	209,89-209,97	209,93	//////////	14	2939,02	-0,12	0,2016
6	209,97-210,05	210,01	//////////	18	3780,18	-0,04	0,0288
7	210,05-210,13	210,09	//////////	14	2941,26	0,04	0,0224
8	210,13- 210,21	210,17	//////////	11	2311,87	0,12	0,1584
9	210,21-210,29	210,25	//////////	12	3523	0,2	0,48
10	210,29-210,37	210,33	////////	8	1682,64	0,28	0,6272
11	210,37-210,45	210,41	///	3	631,23	0,36	0,3888
Итого				100	21005,16		3,2704

3. Построение полигона распределения. Полигон распределения – это графическая форма представления распределения. Полигон распределения строится в координатах «значение показателя в середине интервала– частота в интервале m_i » Данные для построения полигона – в таблице 2 колонки 3 и 5. Значения показателя в середине интервалов откладывают по оси абсцисс, масштаб следует выбрать таким, чтобы на оси можно было показать поле допуска показателя и полученное поле рассеяния. Частоту m_i (количество) в интервале откладывают по оси ординат, масштаб выбирают, ориентируясь на наибольшее значение m_i . Соединив полученные точки отрезками, получают ломаную линию, которая и представляет собой полигон распределения.

На графике следует показать:

- номинальное значение показателя A_0 ,
- заданное поля допуска показателя и координату его середины EC ,
- полученное поле рассеяния показателя и координату его середины $EC\omega$,
- рассчитанное среднее значение показателя A_{cp} (центр группирования) и координату его середины $M(x)$,

Пример приведен на рис.1 A_0

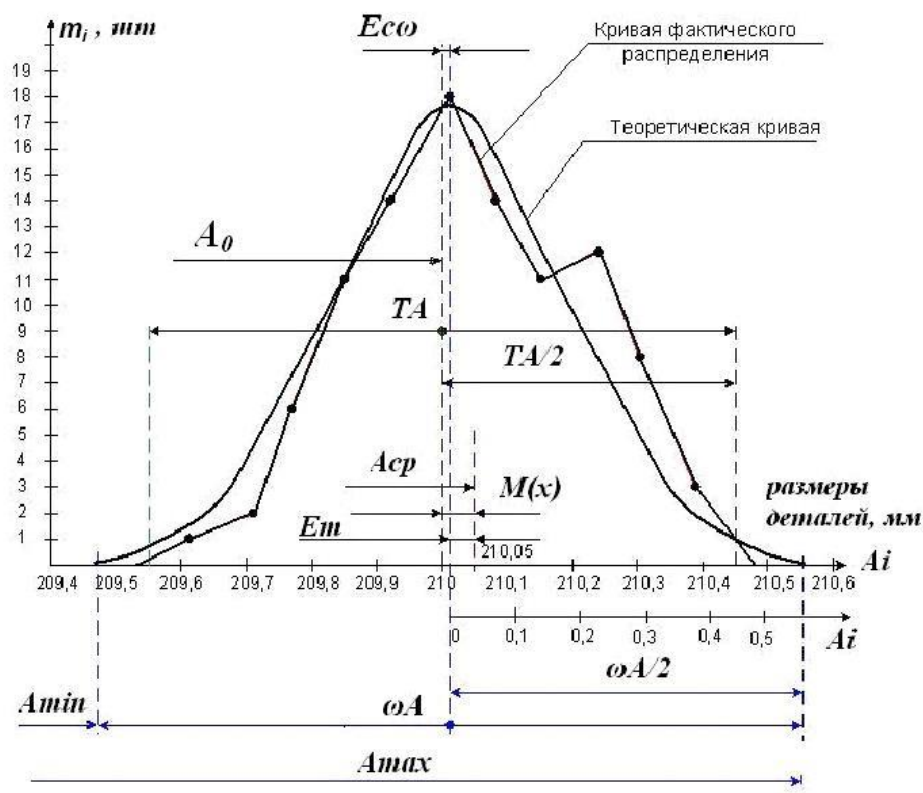


Рис. 1. Графическое представление распределения показателя

4. Функциональное представление распределения показателя.

Такое представление обеспечивается законом распределения, который функционально описывает частоту (вероятность) в зависимости от текущего значения показателя. Наиболее часто в технологии машиностроения для описания рассеяния используется закон нормального распределения (закон Гаусса):

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i - x_{cp})^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Для того чтобы оценить в первом приближении насколько адекватно исследуемое рассеяние показателя может быть описано законом нормального распределения, достаточно наложить на полигон распределения соответствующую кривую Гаусса. Чтобы построить эту кривую нужно рассчитать ряд ординат для разных значений показателя, в нашем примере – для разных значений размера A внутри поля рассеяния. Это можно сделать по уравнению (1), задавая разные значения аргумента $X_i = A_i$. При наличии

компьютера и соответствующего программного обеспечения такая задача решается достаточно быстро и просто.

В настоящей работе предлагается ручной расчет этих ординат. Этот расчет базируется на методике, разработанной математиками задолго до появления компьютеров. Методика основана на том, что функция (1) табулирована для $\sigma=1$. Эта таблица приведена в приложении 2. Для того чтобы определить ординату кривой при любом значении σ , нужно табличное значение ординаты умножить на переводной коэффициент, учитывающий еще и масштаб (количество исследуемых значений), в нашем примере – $n = 100$:

$$k = \frac{h}{\sigma} n = \frac{0,08}{0,18} \times 100 = 44,4$$

Так как кривая Гаусса симметрична относительно центра группирования (среднего размера), для построения за начало координат примем центр группирования и от него в обе стороны на рис. 1 отложим ряд точек, расположенных друг относительно друга на расстоянии принятого интервала. Таких точек должно быть столько, чтобы на оси абсцисс до последней точки было расстояние не менее половины рассчитанного поля рассеяния. В нашем примере цена интервала – 0,08 мм., таких точек 8 в каждую сторону. Расстояние каждой из точек x_i' от начала координат

выразим через отношение $z_i = \frac{x_i'}{\sigma}$ и по таблице приложения 2 найдем ординаты кривой в этих точках при $\sigma=1$, а затем умножим их на переводной коэффициент. Для удобства эти расчеты сведем в табл. 3. По значениям колонок 1 и 4 табл.3 на рис.1 строим график функции закона нормального распределения. Сравнение построенной кривой Гаусса с полигоном распределения позволяет заключить, что фактическое распределение близко к закону нормального распределения.

Таблица 3

Вычисление параметров для теоретической кривой

x'_i	$z_i = \frac{x'_i}{\sigma}$	$y_{табл.i}$	y'_i
1	2	3	4
$x'_1 = 0$	0	0,3989	17,7
$x'_2 = 0,08$	0,444	0,3615	15,05
$x'_3 = 0,16$	0,888	0,2695	11,96
$x'_4 = 0,24$	1,332	0,1667	7,4
$x'_5 = 0,32$	1,776	0,0840	3,73
$x'_6 = 0,40$	2,22	0,0347	1,55
$x'_7 = 0,48$	2,664	0,0115	0,5
$x'_8 = 0,56$	3,111	0,0002	0,01

5. Определение процента значений показателя за пределами допуска.

Вероятный процент брака определяется по таблице приложения 2 по значениям коэффициентов точности K_T и смещения E .

В примере по значениям коэффициентов точности $K_T = 0,83$ и смещения $E = 0,055$ методом интерполирования находим вероятный процент брака $B \approx 1,5\%$.

6. Обсуждение результатов и формулирование выводов.

1). Достигнутая стабильность показателя служебного назначения оценивается полем рассеяния, полученным в ходе эксплуатационных испытаний. Требуемая стабильность задана полем допуска этого показателя. Сравнение этих величин через коэффициент точности позволяет судить, во-первых, о степени достижения требуемой стабильности и возможности сертификации машины по этому показателю или же необходимости анализа возможных причин недостаточной стабильности и их источников. Необходимо адресовать вопросы к участникам процесса создания машины – конструкторам, технологам, а возможно, и к метрологам.

Для оценки степени достижения требуемой стабильности можно руководствоваться следующими рекомендациями:

при $K_T > 1,3$ достигнутая стабильность показателя считается

удовлетворительной;

при $K_T = 1 \div 1,3$ достигнутая стабильность показателя требует внимательного наблюдения, так как запас точности недостаточен и

со временем могут появиться изделия за пределами допуска;

при $K_T < 1$ – достигнутая стабильность показателя считается неудовлетворительной.

2). В случаях появления машин, значения показателя служебного назначения которых выходят за пределы допуска, следует высказать предложения о возможных действиях разных участников процесса создания машины для устранения причин появления таких машин.

В примере в изготовленной партии отливок бракованных не оказалось, но опасность их появления при эксплуатации сохраняется, о чем свидетельствует низкий коэффициент точности $K_T = 0,83$ и вызванный этой причиной теоретически возможный (вероятный) процент брака $B \approx 1,5\%$. Превышающее заданный допуск поле рассеяния скорее всего вызвано особенностями технологического процесса литья. Следует проанализировать технологию и если стабильность процесса повысить невозможно, сертифицировать литейную форму для получения отливок 7 класса размерной точности.

Приложение 1

Задание №___. Спроектирована и изготовлена металлическая литейная форма для получения отливок по 6 классу размерной точности из стали и цветных сплавов. В ходе эксплуатационных испытаний изготовлено 100 отливок и в них измерен полученный размер, номинальное значение которого 200 мм. Поле допуска на этот размер отливки по 6 классу размерной точности равно 0,8 мм при симметричном расположении относительно номинала. Результаты измерений этого размера в отливках

опытной партии приведены в таблице. Оценить достигнутую стабильность размера в партии отливок.

210,03	209,89	209,91	210,23	210,01	209,71	210,12	209,83
210,36	210,11	210,03	210,3	210,3	210,15	210,14	210,3
209,96	210,25	209,86	210,26	209,96	210,2	209,98	210,04
210,12	209,92	210,15	210,11	210,03	210,27	209,86	210,01
209,91	210,3	209,91	210	209,86	210,29	209,99	209,81
210,05	210,06	209,93	210,24	209,7	209,76	210,06	210,03
210,16	210,37	210,13	209,83	209,99	209,9	210	210,2
209,9	210,22	210,22	209,75	210,06	209,86	210,2	210
210,15	210,26	209,97	210,24	210,1	210	209,92	209,61
210,09	209,99	209,81	210,28	209,88	210,1	210,08	
210,25	210,14	210,31	210,4	209,73	209,99	210,1	
210,22	210,41	209,77	209,95	209,76	209,88	210	
209,88	210,05	210,14	209,96	209,91	210,3	209,76	

Приложение 2

Значения ординат кривой Гаусса при $\sigma = 1$; $y = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{z^2}{2}}$

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.3989	0.3989	0.3989	0.3988	0.3986	0.3984	0.3982	0.3980	0.3977	0.3973
0.1	0.3970	0.3965	0.3961	0.3956	0.3951	0.3945	0.3939	0.3932	0.3925	0.3918
0.2	0.3910	0.3902	0.3894	0.3885	0.3876	0.3867	0.3857	0.3847	0.3836	0.3825
0.3	0.3814	0.3802	0.3790	0.3778	0.3765	0.3752	0.3739	0.3725	0.3712	0.3697
0.4	0.3683	0.3668	0.3653	0.3637	0.3625	0.3605	0.3589	0.3572	0.3555	0.3538
0.5	0.3521	0.3503	0.3485	0.3467	0.3448	0.3429	0.3410	0.3391	0.3372	0.3352
0.6	0.3332	0.3312	0.3292	0.3271	0.3251	0.3230	0.3209	0.3187	0.3166	0.3144
0.7	0.3123	0.3101	0.3079	0.3056	0.3034	0.3011	0.2989	0.2966	0.2943	0.2920
0.8	0.2897	0.2874	0.2850	0.2827	0.2803	0.2780	0.2756	0.2732	0.2709	0.2685
0.9	0.2661	0.2637	0.2613	0.2589	0.2565	0.2541	0.2516	0.2492	0.2468	0.2444
1.0	0.2420	0.2396	0.2371	0.2347	0.2323	0.2299	0.2275	0.2251	0.2227	0.2203
1.1	0.2179	0.2155	0.2131	0.2107	0.2083	0.2059	0.2036	0.2012	0.1989	0.1965
1.2	0.1942	0.1919	0.1895	0.1872	0.1849	0.1826	0.1804	0.1781	0.1758	0.1736
1.3	0.1714	0.1691	0.1669	0.1647	0.1626	0.1604	0.1582	0.1561	0.1539	0.1518
1.4	0.1497	0.1476	0.1456	0.1435	0.1415	0.1394	0.1374	0.1354	0.1334	0.1315
1.5	0.1295	0.1276	0.1257	0.1238	0.1219	0.1200	0.1182	0.1163	0.1145	0.1127
1.6	0.1109	0.1092	0.1074	0.1057	0.1040	0.1023	0.1006	0.0983	0.0973	0.0957
1.7	0.0940	0.0925	0.0909	0.0893	0.0878	0.0863	0.0848	0.0833	0.0818	0.0804
1.8	0.0790	0.0775	0.0761	0.0748	0.0734	0.0721	0.0707	0.0694	0.0681	0.0669

Приложение 3

Определение процента вероятного брака

T _n	Абсолютные значения коэффициента смещения E или E _p														
	0	0.02	0.05	0.08	0.10	0.12	0.15	0.18	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.10	76.4	76.4	76.4	76.4	76.5	76.5	76.5	76.5	76.6	76.7	76.8	76.9	77.1	77.2	77.4
0.15	65.3	65.3	65.3	65.4	65.4	65.5	65.6	65.7	65.8	66.1	66.4	66.8	67.3	67.8	68.4
0.20	54.8	54.9	54.9	55.0	55.0	55.3	55.5	55.8	56.0	56.6	57.4	58.2	59.2	60.3	61.5
0.25	45.3	45.3	45.4	45.6	45.8	46.0	46.5	47.0	47.3	48.4	49.7	51.2	52.9	54.7	56.7
0.30	36.8	36.8	37.0	37.3	37.6	37.9	38.5	39.2	39.8	41.5	43.4	45.7	48.1	50.8	53.6

0.35	29.4	29.4	29.6	30.1	30.4	30.9	31.7	32.8	33.5	35.8	38.4	41.4	44.6	48.1	51.8
0.40	23.0	23.1	23.4	23.9	24.3	24.9	26.0	27.3	28.2	31.0	34.3	38.0	42.1	46.4	50.8
0.42	20.8	20.8	21.1	21.7	22.2	22.8	24.0	25.3	26.4	29.4	32.9	36.9	41.2	45.8	50.6
0.45	17.7	17.7	18.1	18.7	19.3	19.9	21.2	22.7	23.8	27.1	31.0	35.4	40.1	45.1	50.4
0.48	15.0	15.1	15.4	16.1	16.7	17.4	18.7	20.4	21.6	25.1	29.3	34.0	39.2	44.6	50.2
0.50	13.4	13.4	13.8	14.5	15.1	15.8	17.2	18.9	20.2	23.9	28.2	33.2	38.6	44.3	50.1
0.55	9.89	10.0	10.4	11.1	11.7	12.6	14.0	15.8	17.2	21.1	25.9	31.3	37.2	43.5	50.1
0.60	7.19	7.26	7.65	8.37	9.03	9.84	11.3	13.2	14.6	18.8	23.9	29.6	36.0	42.9	50.1
0.65	5.12	5.19	5.56	6.25	6.90	7.69	9.17	11.0	12.4	16.7	21.9	28.0	34.9	42.3	50.0
0.70	3.57	3.64	3.98	4.63	5.24	5.98	7.40	9.16	10.5	14.8	20.1	26.4	33.7	41.7	50.0
0.75	2.44	2.50	2.89	3.40	3.94	4.62	5.94	7.61	8.94	13.1	18.4	25.0	32.6	41.1	50.0
0.80	1.64	1.69	1.95	2.46	2.94	3.55	4.75	6.29	7.53	11.5	16.8	23.6	31.5	40.5	50.0
0.85	1.08	1.12	1.34	1.76	2.19	2.71	3.76	5.17	6.32	10.1	15.4	22.2	30.5	39.9	50.0
0.90	0.69	0.72	0.90	1.26	1.60	2.05	2.96	4.21	5.27	8.85	14.1	20.9	29.5	39.4	50.0
0.95	0.44	0.46	0.60	0.80	1.16	1.51	2.31	3.42	4.36	7.71	12.7	19.6	28.4	38.8	50.0

Контрольные вопросы

1. Показатели служебного назначения машины
2. Поле рассеяния показателей служебного назначения машины.
3. Среднее значение показателей служебного назначения машины.
4. Координаты центра группирования показателей служебного назначения машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 2

Расчет допусков линейных размеров по единице допуска

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:
применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:
уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером (См. рис. 1.2). Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

Вал - это термин, условно применяемый для обозначения наружных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы (См. рис 1.1). Вал обозначается прописной буквой латинского алфавита – d . Отверстие – это термин, условно применяемый для обозначения внутренних элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы. Отверстие обозначается

заглавной буквой латинского алфавита – D. Размер - это числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т.п.) в выбранных единицах измерения.

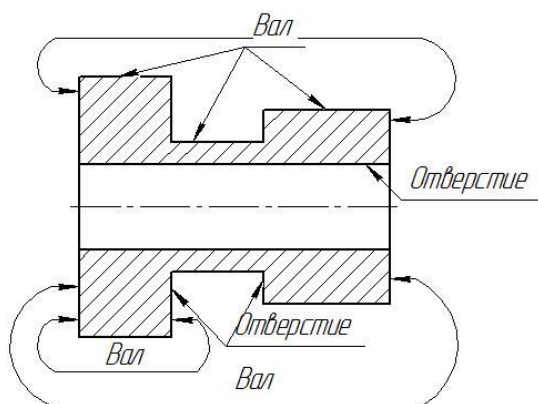


Рис. 2.1

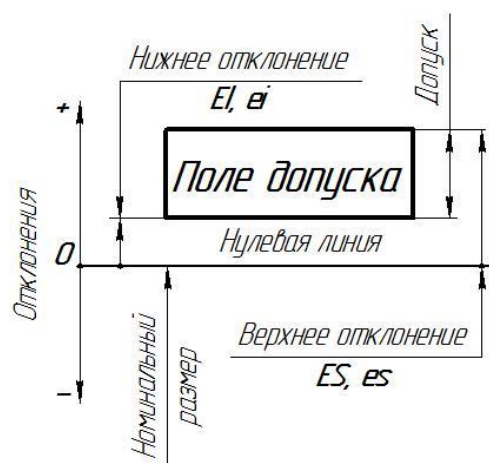


Рис. 2.2

Допуск (IT) - это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями. Допуск является скалярной величиной без знака. Единица допуска (i, I) - это множитель в формулах допусков, являющийся функцией номинального размера и служащий для определения числового значения допуска. Квалитет - это совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров.

Системой допусков и посадок (СДП) называется совокупность рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов. Система предназначена для выбора минимально необходимых, но достаточных для практики вариантов допусков и посадок типовых соединений деталей машин, что создает предпосылки для стандартизации режущих инструментов и калибров, облегчает конструирование, производство и ремонт изделий и т.д..

Стандартом установлены квалитеты: 01, 0, 1, 2, 3, 4, 5, ..., 11, 12...18. Самые точные квалитеты 01, 0, 1, 2, 3, 4, как правило, применяются при изготовлении образцовых мер и калибров. Квалитеты с 5-го по 11-й, как правило, применяются для сопрягаемых элементов деталей. Квалитеты с 12-го по 18-й применяются для несопрягаемых элементов деталей. Чтобы максимально сократить число значений допусков при построении рядов допусков, стандартом установлены интервалы размеров, внутри которых значение допуска для данного квалитета не меняется (см. табл. 1.2).

Допуск IT рассчитывается по формуле:

$$IT = k * i, \quad (2.1)$$

где k – число единиц допуска, установленное для каждого квалитета; i – единица допуска, зависящая только от размера (табл. 1.1).

Таблица 2.1. (Таблица дана в сокращении)

Квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Число единиц допуска k	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500
Допуск для размеров до 500 мм	$IT = k * i$ где $i = 0,45 * D^{1/3} + 0,001 * D$, мкм													
Допуск для размеров свыше 500 до 3150 мм	$IT = k * I$ где $I = 0,004 * D + 2,1$, мкм													
	Примечания: D – среднее геометрическое из крайних значений каждого интервала номинальных размеров, мм													

Средним геометрическим нескольких положительных вещественных чисел называется такое число, которым можно заменить каждое из этих

чисел так, чтобы их произведение не изменилось. Более формально:

$$G(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n} = \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{1/n}$$

формально:

(2.2)

Последовательность выполнения работы.

1. Изучить теоретические предпосылки, приведенные в данном методическом указании.
2. Получить задание у преподавателя.
3. Рассчитать величины допусков для предложенных допусков и квалитетов.
4. Сравните полученные величины с табличными (табл. 1.2).
5. Сделать выводы о проделанной работе.

Пример

Найти допуск для размеров посадки: $\varnothing 36M7/h6$.

1. Расчет допуска для размера $\varnothing 36M7$.

- среднее геометрическое из крайних значений интервала номинальных размеров:

Размер $\varnothing 36$ входит в интервал размеров 30 – 50 (таблица 2.2).

$$D = \sqrt{30 \cdot 50} = 38,7.$$

- значение единицы допуска:

$$i = 0,45 \sqrt[3]{38,7} + 0,001 \cdot 38,7 = 1,5.$$

- допуск для размера $\varnothing 36M7$:

$$IT_p = 16 \cdot 1,54 = 24,6.$$

- сравним расчетную величину с табличной:

$$IT_p = 24,6 \approx IT_{\text{табл}} = 25.$$

2. Расчет допуска для размера $\varnothing 36h6$.

- допуск для размера $\varnothing 36h6$:

$$IT_p = 10 \cdot 1,54 = 15,4.$$

- сравним расчетную величину с табличной:

$$IT_p = 15,4 \approx IT_{\text{табл}} = 16.$$

Контрольные вопросы.

1. Что такое система допусков и посадок? С какой целью была разработана система допусков и посадок?
2. Что такое допуск? Что такое единица допуска? Сколько единиц допуска содержит допуск на размер по 11 квалитету?

3. Что такое квалитет?

4. По какой формуле (по единице допуска) рассчитывается допуск для размеров до 500 мм?

Табл. 2.2. Значения допусков, мкм (дана в сокращении)

Интервал номинальных размеров, мм	Квалитет										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400
Св. 3 до 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480
Св. 6 до 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580
Св. 10 до 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700
Св. 18 до 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840
Св. 30 до 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000
Св. 50 до 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200
Св. 80 до 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400
Св. 120 до 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600
Св. 180 до 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 3

Расчет параметров посадки с зазором в гладком соединении

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:
уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером (См. рис. 1.2). Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

Посадки предназначены для подвижных сопряжений, например, для подшипников скольжения, а также для неподвижных сопряжений, например, для обеспечения беспрепятственной сборки деталей, что особенно важно при автоматизации сборочных операций. Посадки применяются как в точных, так и в грубых квалитетах. На рис. 3.1 приведена в сокращении схема расположения полей допусков посадок с зазором в системе отверстия для размеров до 500 мм.

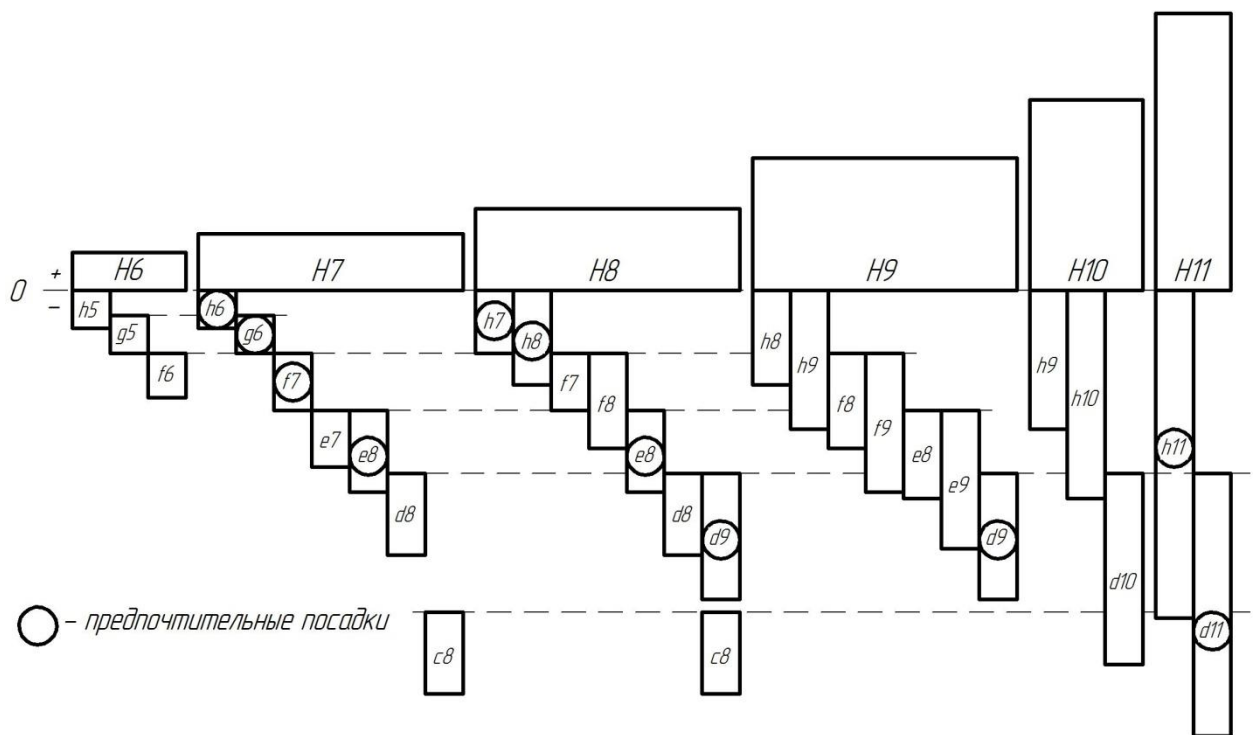


Рисунок 3.1 – Поля допусков посадок с зазором

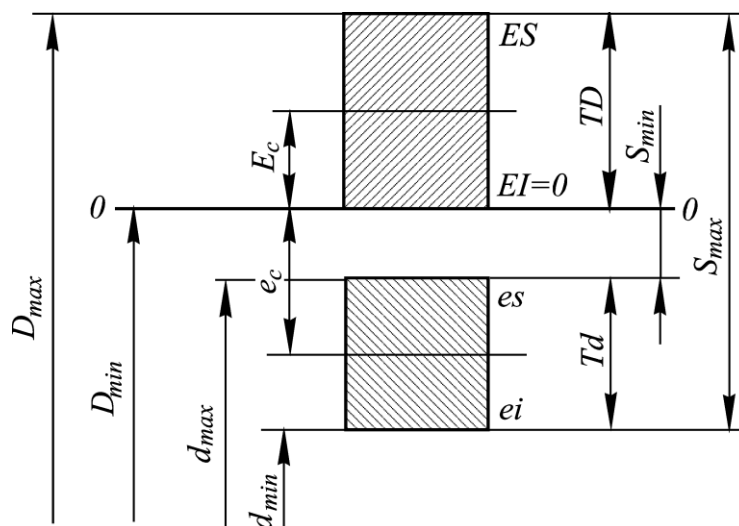


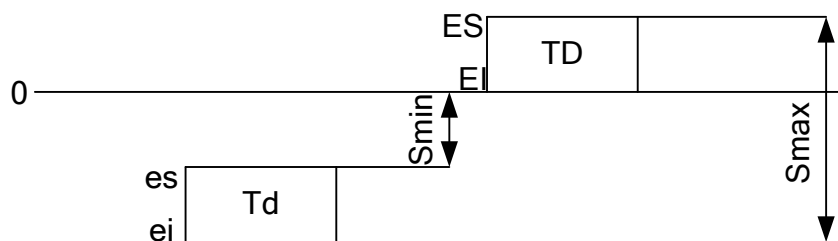
Рисунок 3.2 – Параметры посадки с зазором

Для посадки с зазором применяются зависимости:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei, \quad S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es, \quad TS = S_{\max} - S_{\min}.$$

ПРИМЕР

1. Найти неизвестные величины посадки с зазором, если известны: $EI = 0$; $S_{\max} = 0,22$; $S_{\min} = 0,12$; $Td = 0,05$ (ES , es , ei –?).



$$es = EI - S_{\min} = 0 - 0,12 = -0,12;$$

$$ei = es - T_d = -0,12 - 0,05 = -0,17;$$

$$ES = ei + S_{\max} = -0,17 + 0,22 = 0,05;$$

$$TS = S_{\max} - S_{\min} = 0,22 - 0,12 = 0,10.$$

ЗАДАЧИ

1. Найти неизвестные величины посадки с зазором, если известны: $ES = +0,12$; $TD = 0,12$; $S_{\min} = 0,04$; $T_d = 0,08$ (EI , es , ei , $S_{\max}$ –?).

2. Чему равны значения предельных зазоров для посадки: $ES = +0,10$; $EI = 0$; $es = -0,10$; $ei = -0,25$?

3. Чему равен допуск посадки: $ES = +0,10$; $EI = 0$; $es = -0,10$; $ei = -0,25$?

4. Чему равны значения предельных зазоров для посадки: $ES = +0,15$; $EI = 0$; $T_d = 0,15$; $ei = -0,30$?

5. Чему равны неизвестные предельные отклонения посадки с зазором, если известно, что $S_{\max} = 0,35$; $S_{\min} = 0,15$; $ei = -0,35$; $TD = T_d$?

6. Чему равны неизвестные предельные отклонения посадки с зазором, если известно, что $S_{\max} = 0,45$; $S_{\min} = 0,10$; $ei = -0,45$; $TD = T_d - 0,05$?

Контрольные вопросы

1. Что такое предельное отклонение? Что такое верхнее отклонение, нижнее отклонение? Как они обозначаются? Как отличить обозначения для вала и отверстия?
2. Что такое поле допуска?
3. Что такое система вала и система отверстия?
4. Дайте характеристику посадок с зазором, с натягом и переходных.
5. От чего зависит выбор качества?
6. Приведите основные правила назначения посадок.

7. Каким образом наносятся параметры точности на чертеже?

8. Что такое «предпочтительные посадки»? Для чего они нужны?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 4

Расчет параметров посадки с натягом в гладком соединении

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером (См. рис. 1.2). Предельное

отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

Посадки с натягом предназначены для неподвижных и неразъемных соединений. Относительная неподвижность деталей обеспечивается силами трения, возникающими на контактирующих поверхностях вследствие их упругой деформации, создаваемой натягом при сборке соединения. Посадки используются для передачи крутящих моментов и осевых сил без дополнительного крепления, а иногда для создания предварительно напряженного состояния у сопрягаемых деталей. Применяются только в точных качествах. На рис. 4.1 приведена в сокращении схема расположения полей допусков посадок с натягом в системе отверстия для размеров до 500 мм.

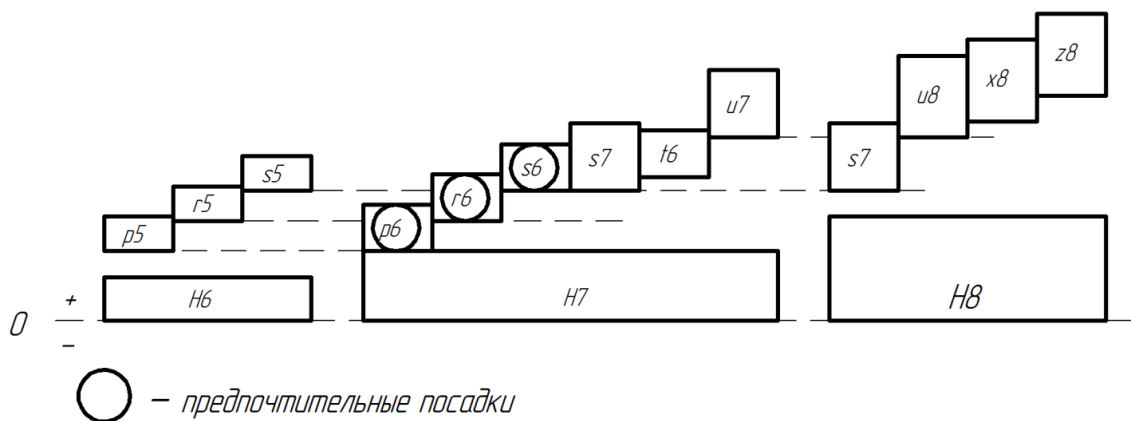


Рисунок 4.1 – Поля допусков посадок с натягом

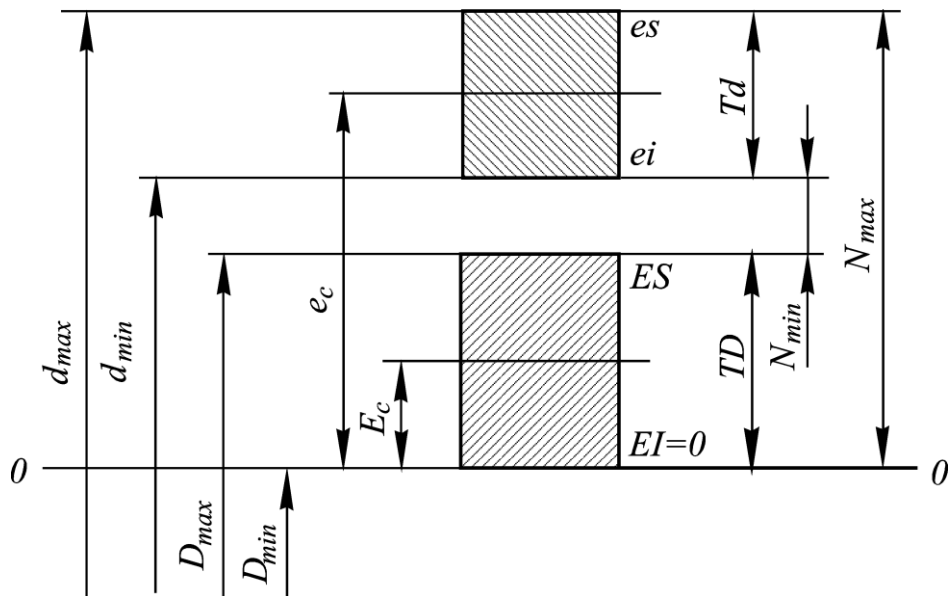


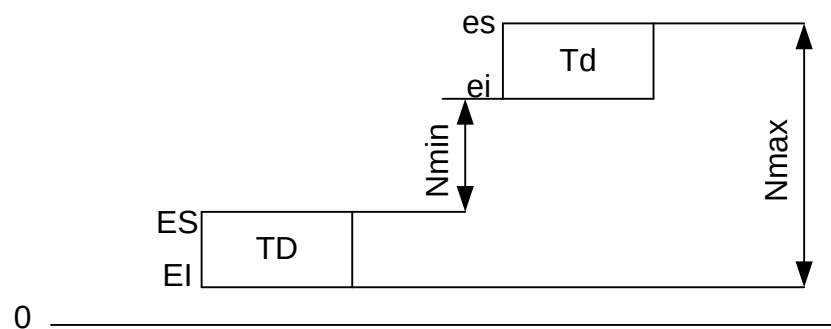
Рисунок 4.2 – Параметры посадок с натягом

Для посадок с натягом верны следующие зависимости:

$$N_{max} = d_{max} - D_{min} = es - EI, \quad N_{min} = d_{min} - D_{max} = ei - ES, \quad TN = N_{max} - N_{min}.$$

ПРИМЕР

Найти неизвестные величины посадки с натягом, если известны: $N_{max} = 0,18$; $N_{min} = 0,10$; $es = +0,22$; $TD = Td$ (ES, EI, ei ?).



$$N_{max} - N_{min} = TD + Td = 2TD = 2Td;$$

$$TD = Td = \frac{N_{max} - N_{min}}{2} = \frac{0,18 - 0,10}{2} = 0,04$$

$$ei = es - Td = 0,22 - 0,04 = +0,18;$$

$$ES = ei - N_{min} = 0,18 - 0,10 = +0,08;$$

$$EI = es - N_{max} = 0,22 - 0,18 = +0,04.$$

$$TN = N_{max} - N_{min} = 0,18 - 0,10 = 0,08.$$

ЗАДАЧИ

1. Найти неизвестные величины посадки с зазором, если известны: $ES = +0,06$; $N_{\max} = 0,22$; $N_{\min} = 0,14$; $TD = T_d + 0,02$ (EI , es , ei —?).
2. Чему равны значения предельных натягов для посадки: $ES = +0,10$; $EI = 0$; $es = +0,25$; $ei = +0,15$?
3. Чему равен допуск посадки: $ES = +0,10$; $EI = 0$; $es = +0,25$; $ei = +0,15$?
4. Чему равны значения предельных натягов для посадки: $ES = +0,15$; $EI = 0$; $es = +0,35$; $T_d = 0,10$?
5. Чему равны неизвестные предельные отклонения посадки с натягом, если известно, что $N_{\max} = 0,40$; $N_{\min} = 0,10$; $ei = +0,25$; $TD = T_d$?
6. Чему равны неизвестные предельные отклонения посадки с натягом, если известно, что $N_{\max} = 0,50$; $N_{\min} = 0,20$; $ei = +0,20$; $TD - 0,10 = T_d$?

Контрольные вопросы

1. Что такое предельное отклонение? Что такое верхнее отклонение, нижнее отклонение? Как они обозначаются? Как отличить обозначения для вала и отверстия?
2. Что такое поле допуска?
3. Что такое система вала и система отверстия?
4. Дайте характеристику посадок с зазором, с натягом и переходных.
5. От чего зависит выбор качества?
6. Приведите основные правила назначения посадок.
7. Каким образом наносятся параметры точности на чертеже?
8. Что такое «предпочтительные посадки»? Для чего они нужны?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.

3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 5

Расчет параметров переходных посадок в гладком соединении

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером (См. рис. 1.2). Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле,

ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

Переходные посадки предназначены для неподвижных, но разъемных соединений, так как обеспечивают достаточно легкую сборку и разборку соединения. В сопряжении могут получаться как зазоры, так и натяги, поэтому они требуют, как правило, дополнительного крепления соединяемых деталей шпонками, штифтами, болтами и т.п.. Используются как центрирующие посадки. Применяются только в точных качествах – с 4-го по 8-й. На рис. 5.1 приведена в сокращении схема расположения полей допусков переходных посадок в системе отверстия для размеров до 500 мм. Расчеты переходных посадок выполняются редко и в основном как проверочные. Расчеты могут включать:

- расчет вероятности получения зазоров и натягов в соединении;
- расчет наибольшего зазора по известному предельно допустимому эксцентриситету соединяемых деталей;
- расчет прочности сопрягаемых деталей от действия сил, возникающих при сборке (только для тонкостенных втулок).

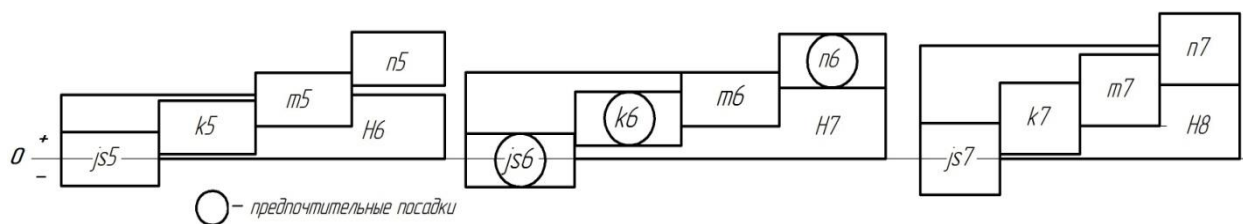


Рисунок 5.1 – Поля допусков переходных посадок

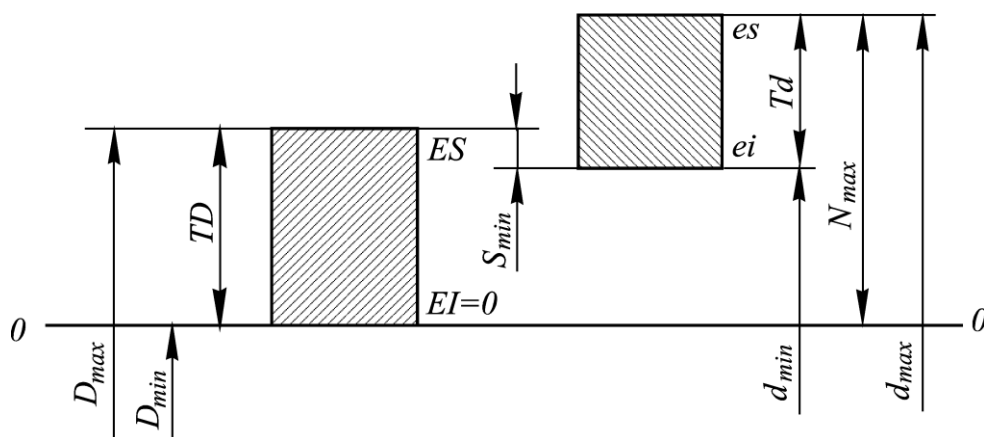


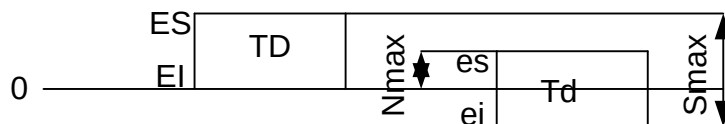
Рисунок 5.2 – Параметры переходных посадок

Для переходных посадок верны зависимости:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei, N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = es - EI, TP = |S_{\max} + N_{\max}|.$$

ПРИМЕР

Найти неизвестные величины переходной посадки, если известны: $ES = +0,06$; $EI = 0$; $es = +0,05$; $ei = -0,05$ ($N_{\max}$, $S_{\max}$ —?).



$$N_{\max} = es - EI = +0,05 - 0 = 0,05;$$

$$S_{\max} = ES - ei = +0,06 - (-0,05) = 0,11;$$

$$TP = |S_{\max} + N_{\max}| = |0,05 + 0,11| = 0,16.$$

ЗАДАЧИ

1. Найти неизвестные величины переходной посадки, если известны: $ES = +0,1$; $S_{\max} = 0,16$; $Td = 0,12$; $N_{\max} = 0,06$ (EI , es , ei — ?).
2. Чему равно значение предельного натяга для посадки: $ES = +0,10$; $EI = 0$; $es = +0,05$; $ei = -0,05$?
3. Чему равно значение предельного зазора для посадки: $ES = +0,10$; $EI = 0$; $es = +0,05$; $ei = -0,05$?
4. Чему равно значение предельного натяга для посадки: $TD = 0,20$; $EI = 0$; $es = +0,10$; $ei = -0,05$?

5. Чему равно значение предельного зазора для посадки: $TD=0,20$; $EI=0$; $es=+0,10$; $ei=-0,05$?

6. Чему равен допуск посадки: $ES=+0,10$; $EI=0$; $es=+0,05$; $ei=-0,05$?

Контрольные вопросы

1. Что такое предельное отклонение? Что такое верхнее отклонение, нижнее отклонение? Как они обозначаются? Как отличить обозначения для вала и отверстия?
2. Что такое поле допуска?
3. Что такое система вала и система отверстия?
4. Дайте характеристику посадок с зазором, с натягом и переходных.
5. От чего зависит выбор качества?
6. Приведите основные правила назначения посадок.
7. Каким образом наносятся параметры точности на чертеже?
8. Что такое «предпочтительные посадки»? Для чего они нужны?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 6

Расчет предельных зазоров посадки

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:
применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:
уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером (См. рис. 1.2). Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

При выполнении данной работы необходимо уметь выбирать посадку, исходя из условий работы соединения: частота вращения, тип масла, шероховатость поверхностей вязкость масла μ , угловая скорость ω и диаметральный зазор S .

По гидродинамической теории трения несущая способность подшипника жидкостного трения определяется при неразрывности слоя смазки.

При установившемся режиме работы положение вала относительно центра отверстия вкладыша подшипника, характеризуемое абсолютным эксцентриситетом e и относительным эксцентриситетом χ , определяется величиной среднего удельного давления, (Н/м²)

$$P = \frac{R}{L \cdot d}, \quad (6.1)$$

где R – радиальная нагрузка на цапфу, Н;

d – номинальный диаметр соединения, м;

L – длина сопряжения, м.

При практических расчетах толщину масляного слоя определяют по упрощенной формуле:

$$[h_{\min}] = K(R_{zD} + R_{zd} + \gamma_D) \approx K(4R_{aD} + 4R_{ad} + \gamma_D), \quad (6.2)$$

где R_{zD} , R_{zd} , R_{aD} , R_{ad} – параметры шероховатости поверхности;

$K \geq 2$ – коэффициент запаса, надежности по толщине масляного слоя;

γ_D – добавка на неразрывность масляного слоя, $\gamma_D = 2 \dots 3$ мкм.

Для обеспечения жидкостного трения необходимо соблюдение условия:

$$h \geq [h_{\min}] \quad (6.3)$$

Следовательно, условия подбора посадки (рисунок 1.1) должны быть следующими:

- минимальный зазор в подобранной посадке:

где $[S_{\min}]$ – минимальный допускаемый зазор, при котором толщина масляного слоя равна допускаемой минимальной величине $[h_{\min}]$.

При малых зазорах могут возникнуть самовозбуждающиеся колебания вала в подшипнике, если $\chi < 0,3$. Относительный эксцентриситет $\chi_{\min}$, соответствующий зазору $\chi_{\min} \geq 0,3$;

$$S_{\min} \geq [S_{\min}], \quad (6.4)$$

- максимальный зазор в подобранной посадке с учетом износа и шероховатости поверхностей вала и вкладыша:

$$S_{\max} < [S_{\max}] - 2(R_{ZD} + R_{Zd}) \approx [S_{\max}] - 8(R_{aD} + R_{ad}), \quad (6.5)$$

где $[S_{\max}]$ – максимально допустимый зазор, при котором толщина масляного слоя равна допускаемой минимальной величине $[h_{\min}]$.

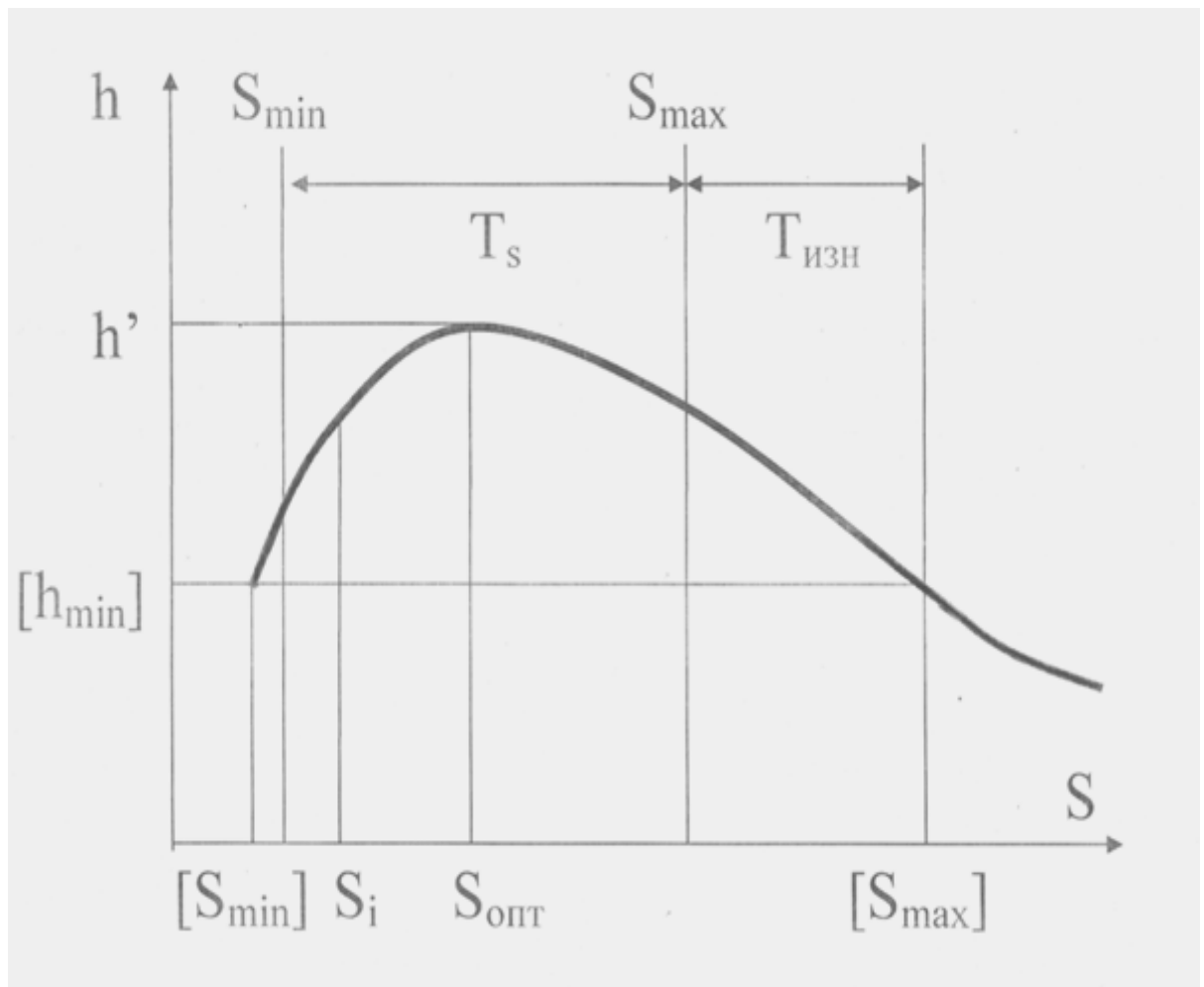


Рисунок 6.1 – Условия выбора посадки с зазором

Для определения $[S_{\min}]$ и $[S_{\max}]$ используем формулу:

$$h = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{\mu \omega}{P}} (1 - \chi) \sqrt{C_R}, \quad (6.6)$$

где ω – угловая скорость вала, $\omega = \frac{\pi n}{30}$, рад/с;

μ – динамическая вязкость масла, Нс/м²;

$A = (1 - \chi) \sqrt{C_R}$ величина, зависящая от относительного эксцентриситета χ и отношения L / d .

Значения A приведены в таблице 6.1, а также показаны на рисунках 1.2 и 6.3.

Пользуясь рисунками 6.2 и 6.3 или данными таблицы 6.1, можно определить $[S_{min}]$, $[S_{max}]$ и оптимальный зазор S_{opt} , при котором толщина масляного слоя достигает своего наибольшего значения h' (рисунок 6.1):

$$S_{\pi\phi} = d \cdot \sqrt{\frac{\mu\omega}{P}} \frac{A_{\pi\phi}}{1 - \chi_{\pi\phi}}, \quad (6.7)$$

где A_{opt} – максимальное значение A при данном L / d ;

χ_{opt} – значение χ , при котором $A = A_{opt}$.

Если известно значение A при данной толщине масляного слоя h_{min}

$$A_h = \frac{2[h_{min}]}{d \cdot \sqrt{\frac{\mu\omega}{P}}}, \quad (6.8)$$

то

$$S_{opt} = \frac{2[h_{min}]}{1 - \chi_{opt}} \frac{A_{opt}}{A_h}, \quad (6.9)$$

$$h' = d \sqrt{\frac{\mu\omega}{P}} \frac{A_{opt}}{2} = [h_{min}] \frac{A_{opt}}{A_h}. \quad (6.10)$$

При известных d , L , R , ω , μ расчеты зазоров и выбор посадки можно вести в следующем порядке:

А. Определяется среднее удельное давление P (Н/м²) в подшипнике по формуле (6.1).

Б. Устанавливается допускаемая минимальная толщина масляного слоя $[h_{min}]$ по формуле (6.2).

В. Задаются рабочая температура подшипника t_{II} . Правильность назначения температуры подшипника проверяется тепловым расчетом. Рабочая температура подшипника должна быть не выше 60...75°C. Для

предварительных расчетов $t_{II} = 50^{\circ}\text{C}$. В соответствии с принятой температурой t_{II} и маркой масла (таблица 1.2) определяется динамическая вязкость масла:

$$\mu = \mu_{ТАБЛ} \left(\frac{50}{t_{II}} \right)^{2,8}, \quad (6.11)$$

где $\mu_{ТАБЛ}$ – динамическая вязкость при $t_{II} = 50^{\circ}\text{C}$, определенная по таблице 6.2.

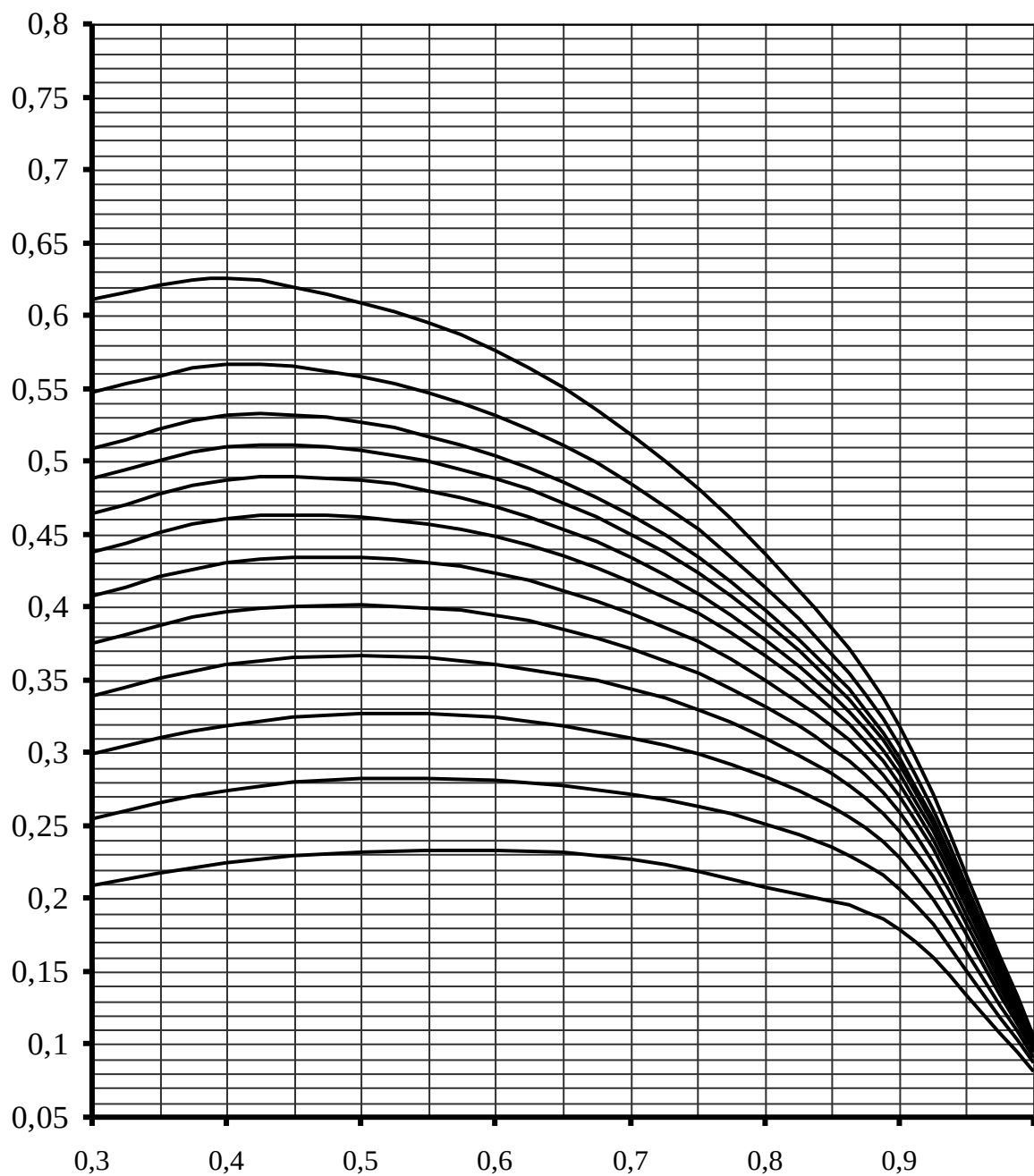


Рисунок 6.2 – Зависимость коэффициента А от относительного эксцентриситета χ

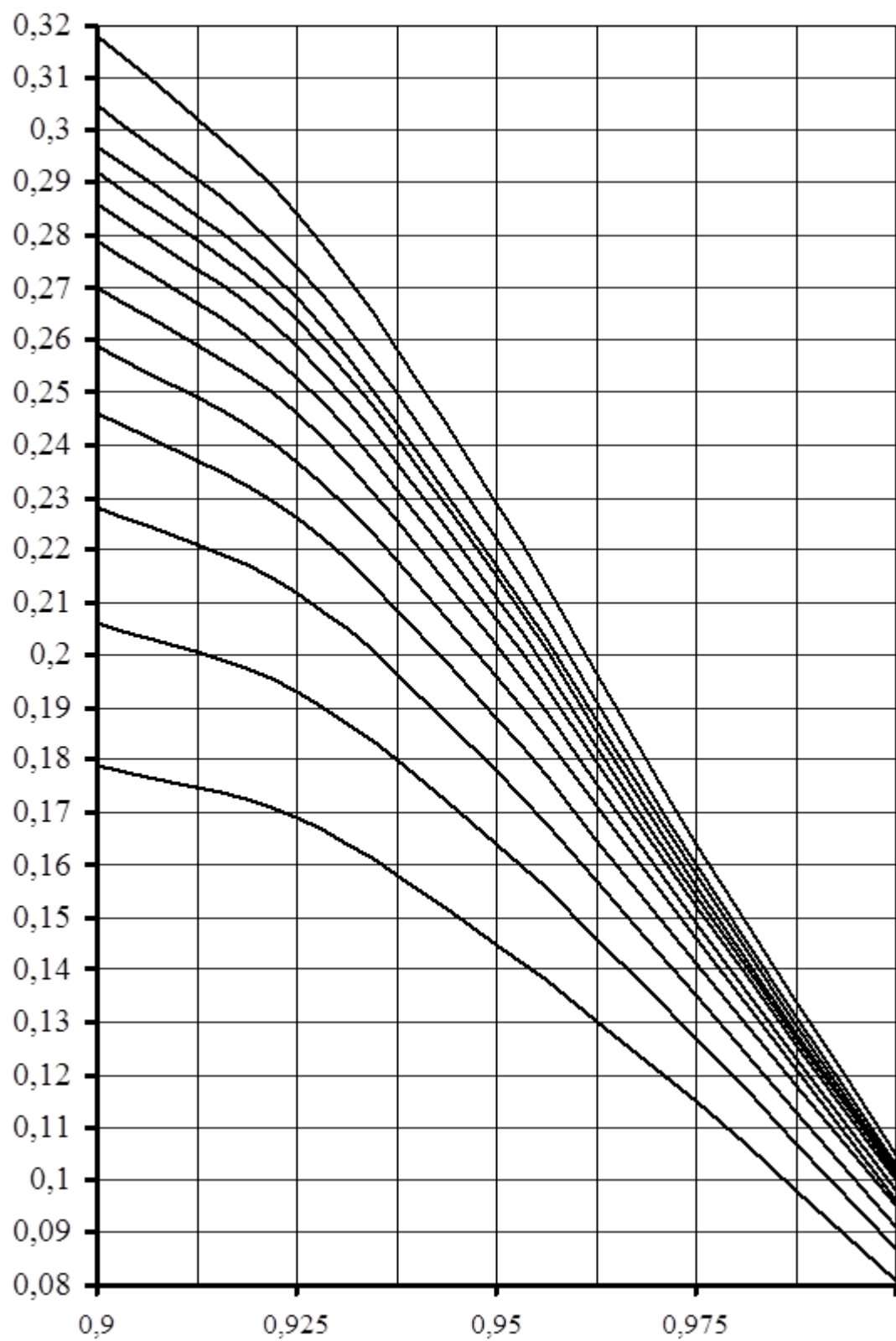


Рисунок 6.3 – Зависимость коэффициента A от относительного эксцентриситета χ при больших значениях χ

Таблица 6.1 – Значение $A = (1 - \chi)\sqrt{C_R}$ для подшипников жидкостного трения

Относительный эксцентриситет χ	Значение $A = (1 - \chi)\sqrt{C_R}$ при L / d											
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
0,3	0,209	0,255	0,299	0,339	0,375	0,408	0,438	0,464	0,488	0,509	0,547	0,611
0,4	0,225	0,274	0,319	0,360	0,397	0,431	0,461	0,487	0,510	0,531	0,566	0,626
0,5	0,232	0,282	0,327	0,367	0,402	0,434	0,462	0,487	0,508	0,527	0,558	0,609
0,6	0,233	0,281	0,324	0,361	0,394	0,423	0,448	0,469	0,488	0,504	0,531	0,576
0,65	0,230	0,276	0,317	0,352	0,383	0,410	0,433	0,452	0,469	0,484	0,507	0,547
0,7	0,227	0,271	0,310	0,344	0,372	0,396	0,417	0,434	0,450	0,463	0,484	0,518
0,75	0,220	0,262	0,298	0,328	0,351	0,375	0,393	0,408	0,421	0,432	0,450	0,479
0,8	0,208	0,251	0,283	0,310	0,332	0,350	0,367	0,378	0,389	0,398	0,413	0,437
0,85	0,200	0,234	0,261	0,284	0,302	0,317	0,329	0,339	0,347	0,354	0,366	0,384
0,9	0,179	0,206	0,228	0,246	0,259	0,270	0,279	0,286	0,292	0,297	0,305	0,318
0,925	0,169	0,193	0,212	0,226	0,237	0,246	0,253	0,259	0,264	0,268	0,274	0,284
0,95	0,145	0,164	0,178	0,188	0,196	0,202	0,207	0,211	0,215	0,217	0,222	0,229
0,975	0,115	0,127	0,135	0,141	0,146	0,149	0,152	0,154	0,156	0,158	0,160	0,164
0,99	0,081	0,087	0,091	0,095	0,096	0,098	0,100	0,101	0,101	0,102	0,103	0,105

Таблица 6.2 – Основные смазочные масла для машиностроения

Наименование и марка масла	ГОСТ	Вязкость, Нс/м ²		Температура, °С	
		Кинематическая	Динамическая	Вспышки	Застывания
1	2	3	4	5	6
Вязкость при 50°С					
Легкие промышленные					
И-5А(велосит)		4,0 – 5,0	3,6 – 4,5	120	-25
И-3А(вазелиновое)		6 – 8	5,4 – 7,2	130	-20
Сепараторное Л	176 – 50	8,0 – 10,0	5,4 – 9	135	+5
Приборное МВП	1805 – 76	5,5 – 8,0	5,8 – 7,2	125	-60
Средние промышленные					
И-12К (И-12)	20799 – 75	10 – 14	9 – 12,6	165	-30
Сепараторное Т	176 – 50	14 – 17	12,6 – 15,3	165	+5
И-20А (И-20)	20799 – 75	17 – 23	15,3 – 20,7	180	-15
И-25А (ИС-25)		24 – 27	21,6 – 24,2	180	-15
И-30А (И-30)		28 – 33	25,2 – 29,7	190	-15
И-40А (И-45)		35 – 45	31,5 – 40,5	200	-15
И-50А (И-50)		47 – 55	42,3 – 49,5	200	-20
И-70А (И-65)		65 – 75	58,5 – 67,5	200	-10
Турбинные					
Т ₂₂ (Л)		20 – 23	18 – 20,7	180	-15
Т ₃₀ (УТ)		28 – 32	25,3 – 28,8	180	-10
Т ₄₆ (Т)		44 – 48	39,6 – 43,2	195	-10

Г. Рассчитывается значение A_h по формуле (6.8). По найденному значению A_h определяем из рисунка 6.2 или таблицы 6.1 (при данном $L / d_{H.C.}$) минимальный относительный эксцентриситет χ_{min} , при котором толщина масляного слоя равна $[h_{min}]$:

$$[S_{min}] = \frac{2[h_{min}]}{1 - \chi_{min}}. \quad (6.12)$$

Если величина χ_{min} оказывается меньше 0,3, то для определения $[S_{min}]$ поступают следующим образом:

- определяется по рисунку 6.2 или таблице 6.1 значение A при заданном отношении $L / d_{H.C.}$ и $\chi = 0,3$ (A_χ);
- рассчитывают минимальный допускаемый зазор $[S_{min}]$:

$$[S_{min}] = 2,85\pi[h_{min}] \frac{A_\chi}{A_h}. \quad (6.13)$$

Д. По найденному значению A_h определяется из рисунка 6.3 максимальный относительный эксцентриситет χ_{max} , при котором толщина масляного слоя равна $[h_{min}]$, χ_{max} можно также определить по таблице 6.1, применяя линейную интерполяцию. Затем по найденному значению χ_{max} рассчитывается максимальный допускаемый зазор:

$$[S_{max}] = \frac{2[h_{min}]}{1 - \chi_{max}}. \quad (6.14)$$

ПРИМЕР

Определить величины зазоров и подобрать посадку для подшипника скольжения, работающего в условиях жидкостного трения при следующих данных: $d = 75$ мм, $L = 75$ мм, $P = 1,47 \cdot 10^6$ Н/м² (15 кгс/см²), $\omega = 157$ рад/с (1500 об/мин). Смазка централизованная маслом марки турбинное 22 (Л) с динамической вязкостью при $t_{II} = 50^\circ\text{C}$, $\mu = 19 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м² (таблица 6.2). Шероховатость поверхности $R_{aD} = R_{ad} = 0,8$ мкм.

Расчет посадки выполняем в соответствии с указанной выше последовательностью.

1. По условию среднее удельное давление $p = 1,47 \cdot 10^6$ Н/м².
2. По формуле (6.2) определим допускаемую толщину масляного слоя:
 $[h_{min}] = 2(4R_{aD} + 4R_{ad} + 2) \cdot 10^{-6} = 2(3,2 + 3,2 + 2) \cdot 10^{-6} = 16,8 \cdot 10^{-6}$ м.
3. Задаемся рабочей температурой подшипника $t_{II} = 50^\circ\text{C}$, при которой $\mu = \mu_{TAB} = 19 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м².
4. Рассчитываем значение A_h по формуле (6.8):

$$A_h = \frac{2[h_{min}]}{d \sqrt{\frac{\mu \omega}{P}}} = \frac{2 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6}}{75 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{19 \cdot 10^{-3} \cdot 157}{1,47 \cdot 10^6}}} \approx 0,314.$$

5. По рисунку 6.2 определяем, используя найденное значение $A_h = 0,314$ и $L/d = 1$, минимальный относительный эксцентриситет χ_{min} , при котором толщина масляного слоя равна $[h_{min}]$. Менее 0,3 и поэтому условие (6.4) не выполнено.

По рисунку 6.2 находим значение $A_\chi = 0,438$ при $\chi = 0,3$ и $L / d_{H.C.} = 1$ и затем по формуле (6.13) определяем минимальный допускаемый зазор $[S_{min}]$ (толщина масляной пленки при этом зазоре больше $[h_{min}]$).

$$[S_{min}] = 2,857 [h_{min}] \frac{A_\chi}{A_h} = 2,857 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6} \frac{0,438}{0,314} \approx 67 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 67 \text{ мкм}.$$

6. По найденному ранее значению $A_h = 0,314$ из рисунка 6.3 находим максимальный относительный эксцентриситет $\chi_{max} = 0,87$, при котором $h = [h_{min}]$.

По формуле (6.14) определим максимальный допускаемый зазор $[S_{max}]$:

$$[S_{max}] = \frac{2[h_{min}]}{1 - \chi_{max}} = \frac{2 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6}}{1 - 0,87} \approx 258 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 258 \text{ мкм}.$$

3. Вопросы к практическому занятию

1. Какие условия работы соединения влияют на выбор посадок с зазором?
2. Выбор максимального и минимального зазоров посадки.
3. Как определить толщину масляного слоя?
4. Как осуществляется выбор стандартной посадки?
5. Определение мощности теплообразования.
6. Как определить теплоотвод через корпус?
7. Какие проводятся мероприятия, если тепловыделение превышает теплоотвод?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

ЗАДАНИЯ

Для условий, приведенных в таблице 6.3, требуется выбрать посадку с зазором.

Таблица 6.3 – Условия выбора посадок

№ варианта	Диаметр соединения	Длина соединения	Частота враще- ния	Радиаль- ная погрузка	Шероховатость поверхности		Тип масла
	d , мм	e , мм	n , мин	R , кН	R_{zd} , мкм	R_{zb} , мкм	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	20	52	800	0,3	1,25	1,0	Индустр. 20
2	25	48	950	0,4	2,5	1,6	Индустр. 50
3	32	62	820	0,8	1,25	0,63	Индустр. 40
4	36	75	1000	0,8	4,0	2,5	Индустр. 30
5	40	85	820	1,1	1,6	1,0	Турбинное 46
6	45	80	1300	2,5	2,0	1,6	Индустр. 50
7	48	83	600	1,9	4,0	1,6	Индустр. 50
8	50	90	800	1,4	2,5	1,0	Турбинное 30
9	55	100	1000	1,9	3,2	2,5	Индустр. 50
10	60	100	450	1,7	2,5	1,6	Турбинное 30
11	63	90	1000	3,8	2,0	2,0	Индустр. 50
12	70	100	750	2,8	3,2	2,0	Турбинное 22
13	75	140	1200	3,8	2,5	1,25	Индустр. 20
14	80	140	1000	6,0	2,6	1,0	Турбинное 30
15	90	160	700	6,5	2,5	2,5	Индустр. 30
16	100	160	1200	18,0	3,2	2,5	Индустр. 40
17	110	250	800	20,0	2,5	2,5	Индустр. 50
18	120	260	750	30,0	3,2	3,2	Индустр. 20
19	130	280	500	20,0	4,0	3,2	Турбинное 46
20	140	280	300	45,0	4,0	4,0	Индустр. 40
21	150	250	1000	40,0	5,0	5,0	Индустр. 50
22	160	300	1440	35,0	2,5	1,6	Индустр. 50
23	85	160	800	18,0	3,2	2,5	Турбинное 30
24	125	200	1000	46,0	5,0	3,2	Турбинное 46

Практическая работа № 7

Выбор посадки по значениям предельных зазоров

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером. Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое

величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

1. По таблицам системы допусков и посадок (таблица 1.47 [2]) подбирается стандартная посадка, при которой выполняются условия (6.4) и (6.5).

2. Определяется мощность теплообразования (Вт):

$$Q = R\omega \frac{d}{2} f, \quad (7.1)$$

При большой частоте вращения и относительно малой нагрузке мощность теплообразования (Вт) может быть подсчитана по формуле:

$$Q = 1,57 \frac{\omega^2 \mu d^3 L}{S}, \quad (7.2)$$

3. Определяется теплоотвод (Вт) через корпус и выходящий из корпуса вал подшипника по формуле:

$$Q_1 = K_T F (t_{II} - t_0). \quad (7.3)$$

где K_T – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C), можно определить по формуле:

$$K_T = 6,7 + 11,7 \sqrt{v_B}, \quad (7.4)$$

где v_B – скорость омывания (м/с) корпуса воздухом, зависящая от скорости вращения вала и находящихся на нем деталей; минимальное значение $K_T \approx 18,5$ Вт/(м²·°C);

F – свободная теплоотдающая поверхность корпуса и приведенная поверхность вала, м²,

$$F \approx (12...40) L d. \quad (7.5)$$

В среднем $F \approx 25 L d$, м²; t_0 – температура окружающей среды, обычно $t_0 = 20^\circ\text{C}$.

Если тепловыделение превышает теплоотвод через корпус ($Q > Q_I$), то принимают ряд мер для увеличения Q_I : принудительный обдув корпуса (увеличивается K_T), увеличение фактической температуры подшипника (увеличение $t_{II} - t_0$), использование ребрения для увеличения F и т. д. В случае изменения t_{II} необходимо внести коррективы в подобранную посадку, так как μ будет иметь несколько иную величину из-за различия расчетной и фактической температур.

Избыточная теплота ($Q - Q_I$) удаляется принудительной прокачкой масла через подшипник.

4. Объем масла, ($\text{м}^3/\text{с}$), прокачиваемого через подшипник, определяют по формуле:

$$W = \frac{Q - Q_I}{c\rho(t_{\text{ВЫХ}} - t_{\text{ВХ}})}, \quad (7.6)$$

где c – теплоемкость масла, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, $c = 1600 \dots 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

ρ – плотность масла, $\text{кг}/\text{м}^3$, $\rho = 870 \dots 890, \text{ кг}/\text{м}^3$;

$t_{\text{ВЫХ}}, t_{\text{ВХ}}$ – температура масла соответственно на выходе подшипника и входе в подшипник.

ПРИМЕР

Для решения задачи используются данные, полученные в работе №6.

1. Для выбора посадки наряду с (6.4) и (6.5) используем дополнительное условие, что средний зазор S_C в посадке должен быть примерно равен оптимальному $S_{\text{ОПТ}}$.

Оптимальный зазор рассчитаем по формуле (6.9):

$$S_{\text{ОПТ}} = \frac{2[h_{\min}]}{1 - \chi_{\text{ОПТ}}} \frac{A_{\text{ОПТ}}}{A_h} = \frac{2 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6}}{1 - 0,48} \frac{0,454}{0,314} \approx 96 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 96 \text{ мкм},$$

где из рисунка 6.2 $\chi_{\text{ОПТ}} = 0,48$ и $A_{\text{ОПТ}} = 0,464$. Максимальную толщину масляного слоя h' при оптимальном зазоре определим по формуле (6.5):

$$h' = \frac{S_{\text{ОПТ}}}{2} (1 - \chi_{\text{ОПТ}}) = \frac{96}{2} (1 - 0,48) = 25 \text{ мкм}.$$

По таблице 1.47 [3] определяем, что условиям подбора посадки наиболее близко соответствует предпочтительная посадка:

$$\varnothing 75 \frac{H7\left(\begin{smallmatrix} +0,030 \\ -0,060 \\ -0,106 \end{smallmatrix}\right)}{e8\left(\begin{smallmatrix} -0,060 \\ -0,106 \end{smallmatrix}\right)},$$

для которой $S_C = 98 \text{ мкм} \approx S_{OIT}$, $S_{min} = 60 \text{ мкм}$, $S_{max} = 136 \text{ мкм}$.

Условие (1.4) можно считать выполненным, так как получение зазора $S_{min} = 60 \text{ мкм}$ маловероятно.

Практически при сборке зазоров меньших, чем вероятностный минимальный зазор, S_{min}^B , не будет.

$$S_{min}^B = S_C - 0,5\sqrt{T_D^2 + T_d^2} = 98 - 0,5\sqrt{30^2 + 46^2} = 70,5 \text{ мкм}.$$

Для данной посадки минимальный запас на износ:

$$T_{изн} = [S_{max}] - 2(R_{ZD} + R_{Zd}) - S_{max} = 258 - 2(3,2 + 3,2) - 136 = 109 \text{ мкм}.$$

8. По формуле (7.1) определяем мощность теплообразования

$$Q = 1,57 \frac{\omega^2 \cdot \mu \cdot d_{H.C.}^3 \cdot L}{S} = 1,57 \frac{157^2 \cdot 19 \cdot 10^{-3} (75 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3}}{70,5 \cdot 10^{-6}} \approx 330 \text{ Вт}.$$

9. Определяем теплоотвод через корпус и вал подшипника по формуле (7.2):

$$Q_1 = K_T \cdot 25 \cdot L \cdot d_{H.C.} \cdot (t_{II} - t_0) = 18,5 \cdot 25 \cdot 75 \cdot 10^{-3} \cdot 75 \cdot 10^{-3} \cdot (50 - 20) = 78 \text{ Вт}.$$

В связи с тем, что теплообразование существенно превышает теплоотвод через корпус и вал, избыточная теплота будет удаляться принудительной прокачкой масла.

10. Определяем по формуле (7.6) объем масла, прокачиваемого через подшипник:

$$W = \frac{Q - Q_1}{c \cdot \rho \cdot (t_{BIX} - t_{BX})} = \frac{330 - 78}{1900890 \cdot (50 - 35)} \approx 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \approx 0,6 \frac{\text{л}}{\text{мин}}.$$

3. Вопросы к практическому занятию

1. Какие условия работы соединения влияют на выбор посадок с зазором?

2. Выбор максимального и минимального зазоров посадки.
3. Как определить толщину масляного слоя?
4. Как осуществляется выбор стандартной посадки?
5. Определение мощности теплообразования.
6. Как определить теплоотвод через корпус?
7. Какие проводятся мероприятия, если тепловыделение превышает теплоотвод?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 8

Расчёт переходных посадок на вероятность получения натягов и зазоров

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером. Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска - поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

При расчёте вероятности натягов и зазоров переходной посадки обычно исходят из нормального закона распределения размеров деталей при изготовлении. Распределение натягов и зазоров в этом случае также будет подчиняться и их получения нормальному закону (рисунок 8.1), а вероятность определяются с помощью интегральной функции вероятности $\Phi(z)$ (таблица 8.1).

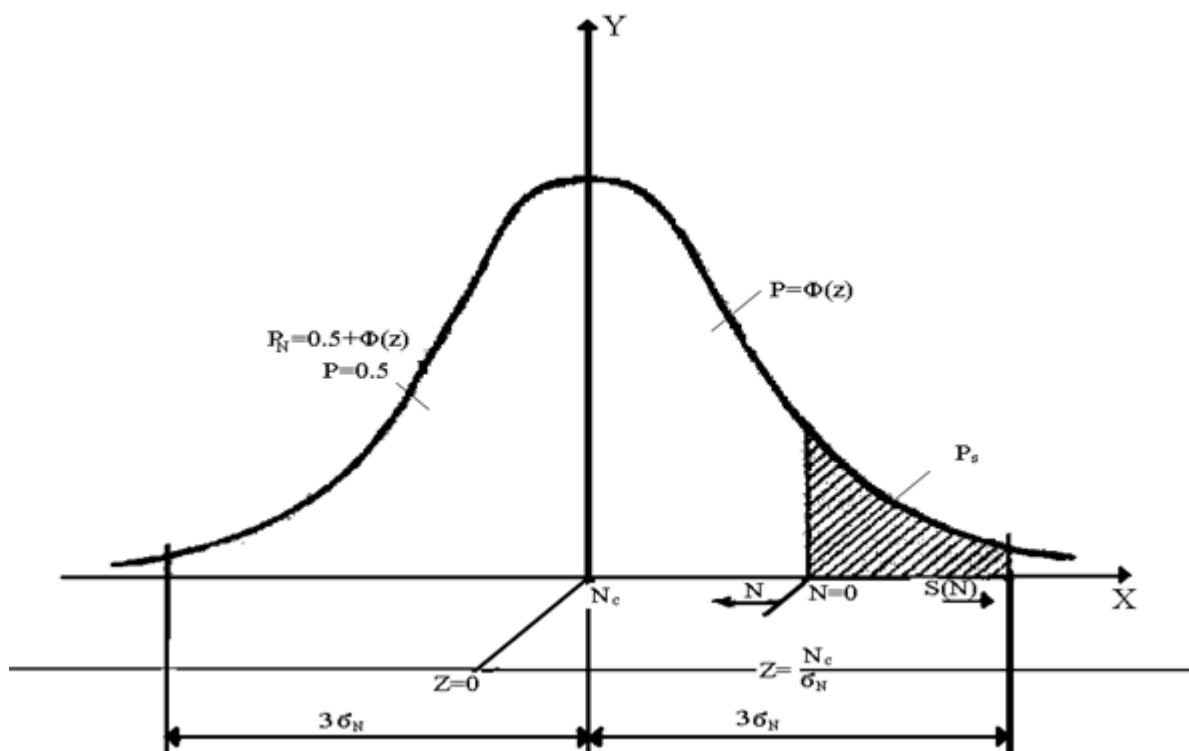


Рисунок 8.1 – Распределение натягов и зазоров в переходной посадке

Расчёт проводится следующим образом:

1. Рассчитывается посадка и определяются натяги: наибольший предельный N_{max} , наименьший предельный N_{min} и средний N_c ; допуски отверстия и вала TD , Td .

2. Определяется среднее квадратическое отклонение натяга (зазора) по формуле:

$$\sigma_N = \frac{1}{6} \sqrt{TD^2 + Td^2}. \quad (8.1)$$

3. Определяется предел интегрирования

$$z = \frac{N_c}{\sigma_N}. \quad (8.2)$$

4. Из таблицы 8.1 по найденному значению z определяется интегральная формула вероятности $\Phi(Z)$.

5. Рассчитывается вероятность натягов и вероятность зазоров

$$P_N = 0,5 + \Phi(Z), \quad \text{если } Z > 0; \quad (8.3)$$

$$P_N = 0,5 - \Phi(Z), \quad \text{если } Z < 0; \quad (8.3a)$$

при этом процент натягов будет

$$P_N = 100 P_N \quad (8.4)$$

$$P_S = 0,5 - \Phi(Z), \quad \text{если } Z > 0; \quad (8.5)$$

$$P_S = 0,5 + \Phi(Z), \quad \text{если } Z < 0; \quad (8.5a)$$

при этом процент зазоров будет

$$P_S = 100P_S. \quad (8.6)$$

Значения P_N и P_S для переходных посадок приведены в таблице 1.102 [2].

ПРИМЕР

Рассчитать ожидаемую при сборке долю соединений с натягом и долю соединений с зазором для посадки $\varnothing 65 \frac{H7(+0,030)}{n6(+0,039/+0,020)}$.

1. Рассчитаем натяги и допуски отверстия и вала:

$$N_{max} = 39 - 0 = 39 \text{ мкм}; \quad N_{min} = 20 - 30 = -10 \text{ мкм};$$

$$N_C = \frac{39 + (-10)}{2} = 14,5 \text{ мкм}; \quad TD = 30 - 0 = 30 \text{ мкм};$$

$$Td = 39 - 20 = 19 \text{ мкм}.$$

2. По формуле (8.1) определяем среднее квадратическое отклонение натяга:

$$\sigma_N = \frac{1}{6} \sqrt{TD^2 + Td^2} = \frac{1}{6} \sqrt{30^2 + 19^2} \approx 5,9 \text{ мкм}.$$

3. По формуле (8.2) определяем предел интегрирования функции $\Phi(Z)$

$$z = \frac{N_C}{\sigma_N} = \frac{14,5}{5,9} = 2,46.$$

4. Из таблицы 8.1 по значению $z = 2,46$ определяем $\Phi(2,46) = 0,493$.

Таблица 8.1 – Значения интегральной функции вероятности $\Phi(Z)$.

Z	$\Phi(Z)$	Z	$\Phi(Z)$	Z	$\Phi(Z)$	Z	$\Phi(Z)$
1	2	3	4	5	6	7	8
0,01	0,0040	0,31	0,1217	0,72	0,2642	1,80	0,4641

0,02	0,0080	0,32	0,1255	0,74	0,2703	1,85	0,4672
0,03	0,0120	0,33	0,1293	0,76	0,2764	1,90	0,4713
0,04	0,0160	0,34	0,1331	0,78	0,2823	1,95	0,4744
0,05	0,0199	0,35	0,11368	0,80	0,2881	2,00	0,4772
0,06	0,0239	0,36	0,1406	0,82	0,2939	2,10	0,4821
0,07	0,0279	0,37	0,1443	0,84	0,2995	2,20	0,4861
0,08	0,0319	0,38	0,1480	0,86	0,3051	2,30	0,4893
0,09	0,0359	0,39	0,1517	0,88	0,3106	2,40	0,4918
0,10	0,0398	0,40	0,1554	0,90	0,3159	2,50	0,4938
0,11	0,0438	0,41	0,1591	0,92	0,3212	2,60	0,4853
0,12	0,0472	0,42	0,1628	0,94	0,3264	2,70	0,4965
0,13	0,0517	0,43	0,1664	0,96	0,3315	2,80	0,4974
0,14	0,0557	0,44	0,1700	0,98	0,3365	2,90	0,4981
0,15	0,0596	0,45	0,1736	1,00	0,3413	3,00	0,49865
0,16	0,0636	0,46	0,1772	1,05	0,3531	3,20	0,49931
0,17	0,0675	0,47	0,1808	1,10	0,3643	3,40	0,49966
0,18	0,0714	0,48	0,1844	1,15	0,3749	3,60	0,49984
0,19	0,0753	0,49	0,1879	1,20	0,3849	3,80	0,499928
0,20	0,0793	0,50	0,1915	1,25	0,3944	4,00	0,499968
0,21	0,0832	0,52	0,1985	1,30	0,4032	4,50	0,499997
1	2	3	4	5	6	7	8
0,22	0,0871	0,54	0,2054	1,35	0,4115	5,00	0,4999997
1	2	3	4	5	6	7	8
0,23	0,0910	0,56	0,2123	1,40	0,4192		
0,24	0,0948	0,58	0,2190	1,45	0,4265		
0,25	0,0987	0,60	0,2257	1,50	0,4332		
0,26	0,1020	0,62	0,2324	1,55	0,4394		
0,27	0,1064	0,64	0,2389	1,60	0,4452		
0,28	0,1103	0,66	0,2454	1,65	0,4505		

0,29	0,1141	0,68	0,2517	1,70	0,4554		
0,30	0,1179	0,70	0,2580	1,75	0,4599		

5. По формуле (8.3), так как $z > 0$, находим вероятность натягов

$$P_N = 0,5 + 0,493 = 0,993.$$

6. По формуле (8.5) – вероятность зазоров

$$P_s = 0,5 - 0,463 = 0,007.$$

Следовательно, при сборке примерно 99,3% всех соединений (993 из 1000) будут с натягами и 0,7% соединений (7 из 1000) с зазорами.

2. Задачи

Таблица 8.2– Задания к расчету переходной посадки

1	$\begin{matrix} \text{Ø180} \\ \frac{H7}{js6} \end{matrix}$	7	$\begin{matrix} \text{Ø180} \\ \frac{H7}{k6} \end{matrix}$	13	$\begin{matrix} \text{Ø160} \\ \frac{H7}{m6} \end{matrix}$	19	$\begin{matrix} \text{Ø160} \\ \frac{H8}{js7} \end{matrix}$	25	$\begin{matrix} \text{Ø140} \\ \frac{H8}{k7} \end{matrix}$
2	$\begin{matrix} \text{Ø140} \\ \frac{H8}{m7} \end{matrix}$	8	$\begin{matrix} \text{Ø125} \\ \frac{H8}{n7} \end{matrix}$	14	$\begin{matrix} \text{Ø125} \\ \frac{Js7}{h6} \end{matrix}$	20	$\begin{matrix} \text{Ø130} \\ \frac{K7}{h6} \end{matrix}$	26	$\begin{matrix} \text{Ø130} \\ \frac{M7}{h6} \end{matrix}$
3	$\begin{matrix} \text{Ø125} \\ \frac{N7}{h6} \end{matrix}$	9	$\begin{matrix} \text{Ø180} \\ \frac{Js8}{h7} \end{matrix}$	15	$\begin{matrix} \text{Ø160} \\ \frac{K8}{h7} \end{matrix}$	21	$\begin{matrix} \text{Ø140} \\ \frac{M8}{h7} \end{matrix}$	27	$\begin{matrix} \text{Ø130} \\ \frac{N8}{h7} \end{matrix}$
4	$\begin{matrix} \text{Ø120} \\ \frac{H7}{js6} \end{matrix}$	10	$\begin{matrix} \text{Ø120} \\ \frac{H7}{k6} \end{matrix}$	16	$\begin{matrix} \text{Ø110} \\ \frac{H7}{m6} \end{matrix}$	22	$\begin{matrix} \text{Ø110} \\ \frac{H7}{n6} \end{matrix}$	28	$\begin{matrix} \text{Ø100} \\ \frac{H8}{js7} \end{matrix}$
5	$\begin{matrix} \text{Ø100} \\ \frac{H8}{k7} \end{matrix}$	11	$\begin{matrix} \text{Ø95} \\ \frac{H8}{m7} \end{matrix}$	17	$\begin{matrix} \text{Ø95} \\ \frac{H8}{n7} \end{matrix}$	23	$\begin{matrix} \text{Ø90} \\ \frac{Js7}{h6} \end{matrix}$	29	$\begin{matrix} \text{Ø90} \\ \frac{K7}{h6} \end{matrix}$
6	$\begin{matrix} \text{Ø85} \\ \frac{M7}{n6} \end{matrix}$	12	$\begin{matrix} \text{Ø85} \\ \frac{N7}{h6} \end{matrix}$	18	$\begin{matrix} \text{Ø120} \\ \frac{Js8}{h7} \end{matrix}$	24	$\begin{matrix} \text{Ø100} \\ \frac{K8}{h7} \end{matrix}$	30	$\begin{matrix} \text{Ø110} \\ \frac{M8}{h7} \end{matrix}$

3. Вопросы к практическому занятию

1. Какие посадки являются переходными?

2. По какому закону распределяются вероятности натягов и зазоров в переходной посадке?

3. Как определить среднее квадратическое отклонение натяга (или зазора)?

4. Как определить вероятность натягов в переходной посадке?

5. Как определить вероятность зазоров в переходной посадке?

6. Каково функциональное назначение переходных посадок?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.

2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.

3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 9

Расчет предельных натягов посадки

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером. Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

При расчётах предельно допустимых натягов используются выводы задачи Ляме (определение напряжений и перемещений в толстостенных полых цилиндрах).

Расчёт посадок с натягом ведётся в следующем порядке:

1 По известным значениям внешних нагрузок осевой силы (R_{oc} и крутящего момента M_k), диаметру d и длине L соединения определяется требуемое минимальное удельное давление (H/m^2) на контактных поверхностях соединения (рисунок 3.1):

- при действии крутящего момента M_k

$$[p_{min}] = \frac{2M_k}{\pi \cdot d^2 \cdot L \cdot f}; \quad (9.1)$$

- при действии осевой нагрузки R_{oc}

$$[p_{\min}] = \frac{R_{OC}}{\pi \cdot d \cdot L \cdot f}; \quad (9.2)$$

- при одновременном действии R_{OC} и M_K

$$[p_{\min}] = \frac{\sqrt{R_{OC}^2 + (2M_K / d)^2}}{\pi \cdot d \cdot L \cdot f}, \quad (9.3)$$

где R_{OC} – продольная осевая сила, стремящаяся сдвинуть одну деталь относительно другой, Н;

M_K – крутящий момент, стремящийся повернуть одну деталь относительно другой, Н·м;

L – длина контакта сопрягаемых поверхностей, м;

D – номинальный диаметр сопрягаемых деталей, м;

f – коэффициент трения при установившемся процессе распрессовки или проворачивания.

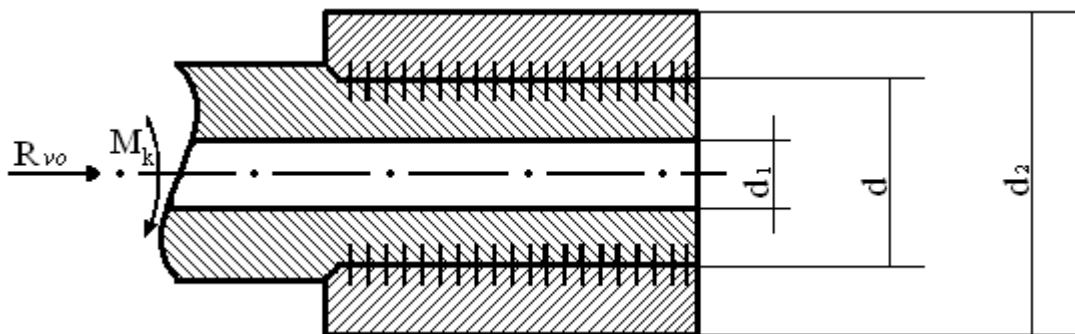


Рисунок 9.1 – Образование натяга в соединении вала и втулки

Коэффициент трения f колеблется в широких пределах, что объясняется многообразием факторов, влияющих на прочность соединения (шероховатость поверхностей, скорость запрессовки, наличие масла, вид покрытия и т. д.).

Значения f приведены в таблице 9.1.

2. По полученным значениям p определяется необходимая величина наименьшего расчётного натяга $N'_{\min}$ (м)

$$N'_{\min} = [p_{\min}] \cdot d \cdot \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right), \quad (9.4)$$

где E_1, E_2 – модули упругости материалов соответственно охватываемой (вала) и охватывающей (отверстия) деталей, Н·м;

C_1, C_2 – коэффициенты, определяемые по формулам:

$$C_1 = \frac{1 + (d_1/d)^2}{1 - (d_1/d)^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{1 + (d/d_2)^2}{1 - (d/d_2)^2} + \mu_2, \quad (9.5)$$

где d_1 – диаметр отверстия вала;

d_2 – наружный диаметр втулки;

μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона соответственно для охватываемой и охватывающей деталей.

Для сплошного вала ($d_1 = 0$) $C_1 = 1 - \mu$;

для массивного корпуса ($d_2 \rightarrow \infty$) $C_2 = 1 - \mu_2$.

Значение E и μ приведены в таблице 9.3. Значения C_1 и C_2 в зависимости от отношения диаметров даны в таблице 9.2.

3. Определяются с учётом поправок к N_{min} величина минимального допустимого натяга:

$$[N_{min}] = N'_{min} + \gamma_m, \quad (9.6)$$

где γ_m – поправка, учитывающая снятие неровностей R_z или R_a (таблица 9.4) контактных поверхностей деталей при образовании соединения

$$\gamma_m = 1,2(R_{zD} + R_{zd}) \approx 5(R_{aD} + R_{aD}). \quad (9.7)$$

Таблица 9.1 – Значения коэффициентов трения при установившемся процессе распрессовки или проворачивания

Материал сопрягаемых деталей	Коэффициент трения f
Сталь – сталь	0,06 – 0,13
Сталь – чугун	0,07 – 0,12
Сталь – магниево-алюминиевые сплавы	0,03 – 0,12
Сталь – латунь	0,03 – 0,1
Сталь – пластмассы	0,15 – 0,25

Примечание. При образовании соединений с использованием температурных деформаций (нагрев охватывающей, охлаждение охватываемой детали) значения f в 1,5 – 1,6 раза выше приведённых.

При стальных и чугунных деталях часто принимают $f = 0,14$.

Таблица 9.2 – Значения коэффициентов Ляме C_1 и C_2 в зависимости от отношения диаметров

$\frac{d_1}{d}$ или $\frac{d}{d_2}$	$\mu_1 = \mu_2 = 0,3$		$\mu_1 = \mu_2 = 0,25$	
	C_1	C_2	C_1	C_2
0,00	0,70	1,3	0,75	1,25
0,1	0,72	1,32	0,77	1,27
0,2	0,78	1,38	0,83	1,30
0,3	0,89	1,49	0,95	1,45
0,4	1,08	1,68	1,13	1,63
0,5	1,37	1,97	1,42	1,92
0,6	1,83	2,43	1,88	2,37
0,7	2,62	3,22	2,67	3,17
0,8	4,25	4,88	4,30	4,80
0,9	9,23	9,83	9,28	9,78

Таблица 9.3 – Модули упругости и коэффициент Пуассона

Материал	Модуль упругости E , Н/м ²	Коэффициент Пуассона μ
Сталь и стальное литьё	$(1,96...2) \cdot 10^{11}$	0,3
Чугунное литьё	$(0,74...1,05) \cdot 10^{11}$	0,25
Бронза оловянистая	$0,84 \cdot 10^{11}$	0,35
Латунь	$0,78 \cdot 10^{11}$	0,38
Пластмассы	$(0,005...0,35) \cdot 10^{11}$	
Алюминиевые сплавы	$(0,67...0,75) \cdot 10^{11}$	0,34
Цинк катанный	$2 \cdot 10^{11}$	0,27
Никель	$2 \cdot 10^{11}$	0,33

Таблица 9.4 – Примеры нормирования шероховатости поверхности деталей

Характеристика поверхности			Значение параметра R_a , мкм, не более		
Поверхности деталей в посадках с натягом: собираемых	Квалитет	Поверхность	Номинальные размеры, мм		
			До 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 500
	5	Вал Отверстие	0,1 – 0,2 0,2 – 0,4	0,4 0,8	0,4 0,8

под прессом	6 – 7	Вал Отверстие	0,4 0,8	0,8 1,6	1,6 1,6
	8	Вал Отверстие	0,8 1,6	0,8 – 1,6 1,6 – 3,2	1,6 – 3,2 1,6 – 3,2
собираемых способом термических деформаций	—	Вал Отверстие	1,6 1,6 – 3,2		

4. На основе теории наибольших касательных напряжений определяется максимальное допустимое удельное давление $[p_{max}]$, при котором отсутствует пластическая деформация на контактных поверхностях деталей.

В качестве $[p_{max}]$ берётся наименьшее из двух значений:

- максимальное удельное давление для вала

$$p_1 = 0,58\sigma_{T1} \left[1 - \left(\frac{d_1}{d} \right)^2 \right];$$

(9.8)

- максимальное удельное давление для втулки

$$p_2 = 0,58\sigma_{T2} \left[1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2 \right], \quad (9.9)$$

где σ_{T1} и σ_{T2} – предел текучести материалов охватываемой и охватывающей деталей (таблица 9.5).

5. Определение величины наибольшего расчётного натяга N'_{max} (м)

$$N'_{max} = [p_{max}]d \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right). \quad (9.10)$$

6. Определяется с учётом поправок к N'_{max} величина максимально допустимого натяга $[N_{max}]$:

$$[N_{max}] = N'_{max} \gamma_{уд} + \gamma_m, \quad (9.11)$$

где $\gamma_{уд}$ – коэффициент, учитывающий увеличение удельного давления у торцов охватывающей детали. Принимается по графику (рисунок 9.2) в зависимости от отношений L/d и d_1/d .

Таблица 9.5 – Предел текучести (σ_T) и предел прочности на разрыв (σ_P) различных марок стали и чугуна.

Марка стали	$\sigma_T, \text{Н/м}^2$	Марка чугуна	$\sigma_P, \text{Н/м}^2$
Сталь 15	24	12-28	12
20	26	12-32	15
25	28	18-36	18
30	30	21-40	21
35	32	24-44	21
40	34	28-48	28
45	36	32-52	32
15Г	25	КЧ 30-6	33
20Г	28	33-8	33
30Г	32	35-10	35
40Г	36	37-12	37

Примечание: Предел текучести σ_T составляет у сталей от 0,5 до 0,85 от σ_P , у чугунов условный технический предел текучести $\sigma_{0,2} \approx (0,7 \div 1) \sigma_P$.

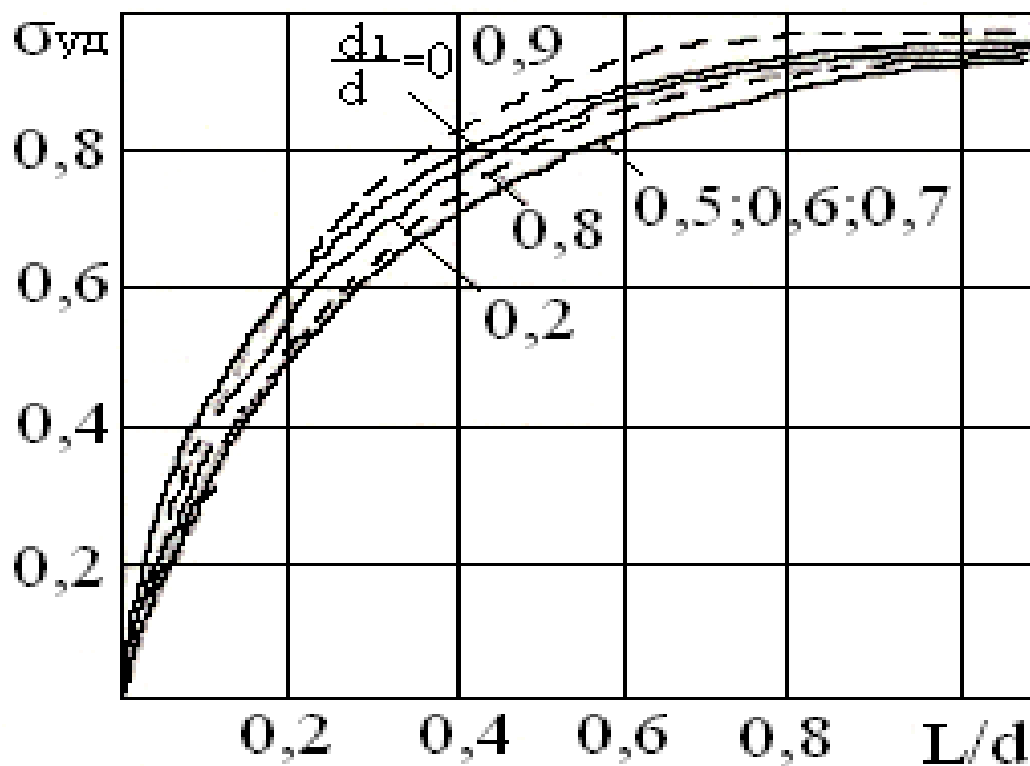


Рисунок 9.2 – Определение коэффициента увеличения удельного давления

ПРИМЕР

Соединение (рисунок 9.1) с размерами $d = 60$ мм, $L = 70$ мм, $d_1 = 10$ мм, $d_2 = 100$ мм предназначено для передачи $M_K = 650$ Нм.

Материал деталей – сталь 45 с пределом текучести $\sigma_{Tl} = \sigma_{Tl} = \sigma_{Tl} = 35 \cdot 10^7$ Н/м². Высота неровностей поверхностей вала $R_{zd} = 10$ мкм. Рабочая температура соединения – 20°C. Сборка производится под прессом без смазки. Выбрать стандартную посадку и определить усилие запрессовки.

Расчет ведётся в следующей последовательности:

1. Определяем минимальное удельное давление:

$$[p_{\min}] = \frac{2M_K}{\pi \cdot d^2 \cdot L \cdot f} = \frac{2 \cdot 650}{3,14 \cdot (60 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 70 \cdot 10^{-3} \cdot 0,08} = 2,05 \cdot 10^7 \frac{H}{m^2},$$

где $f = 0,08$ выбрано из таблицы 9.1, исходя из условий сборки.

2. Определяем минимальный расчётный натяг.

Предварительно определяем коэффициент C_1 по формуле (9.5):

$$C_1 = \frac{1 + (d_1/d)^2}{1 - (d_1/d)^2} - \mu_1 = \frac{1 + (10/60)^2}{1 - (10/60)^2} - 0,3 = 0,76$$

при $\frac{d}{d_2} = \frac{60}{100} = 0,6$ по таблице 9.2 $C_2 = 2,43$.

$$\begin{aligned} \text{Тогда } N'_{\min} &= [p_{\min}] \cdot d \cdot \left(\frac{C_1 + C_2}{E} \right) = \\ &= 2,05 \cdot 10^7 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{0,76 + 2,43}{2 \cdot 10^{11}} \right) \approx 20 \cdot 10^{-6} = 20 \text{ мкм}. \end{aligned}$$

3. Определяем минимальный допустимый натяг по формуле (9.6).

Предварительно определим поправку γ_m по формуле (9.7):

$$\gamma_m = 1,2(10 + 6,3) = 19,6 \text{ мкм}.$$

Минимальный допустимый натяг:

$$[N_{\min}] = N'_{\min} + \gamma_m = 20 + 19,6 = 49,6 \approx 50 \text{ мкм}.$$

4. Определяем величину максимально допустимого удельного давления, для чего рассчитываем максимальное удельное давление для вала и втулки:

$$p_1 = 0,58\sigma_T \left[1 - \left(\frac{d_1}{d} \right)^2 \right] = 0,58 \cdot 35 \cdot 10^7 \cdot \left[1 - \left(\frac{10}{60} \right)^2 \right] \approx 20 \cdot 10^7 \frac{H}{m^2},$$

$$p_2 = 0,58\sigma_T \left[1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2 \right] = 0,58 \cdot 35 \cdot 10^7 \cdot \left[1 - \left(\frac{60}{100} \right)^2 \right] \approx 13 \cdot 10^7 \frac{H}{м^2}.$$

Следовательно, $[p_{max}] = 13 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$.

5. Определим максимальный расчётный натяг:

$$N'_{max} = [p_{max}]d \frac{C_1 + C_2}{E} = 13 \cdot 10^7 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,76 + 2,43}{2 \cdot 10^{11}} = 124 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 124 \text{ мкм}.$$

6. Определяем максимальный допустимый натяг $[N_{max}]$ по формуле (9.11):

$$[N_{max}] = N'_{max} \cdot \gamma_{y\partial} + \gamma_m = 124 \cdot 0,93 + 19,6 = 135 \text{ мкм},$$

где $\gamma_{y\partial} = 0,93$ по графику (рисунок 9.2).

2. Задачи

Определить предельно допустимые натяги для соединений.

Таблица 9.6 – Исходные данные для решения задачи

№ вари- анта	Размеры соединения			Крутящий момент		Осевая нагрузка <i>P</i> кН	Материал		Условия сборки
	<i>d</i> мм	<i>d</i> ₁ мм	<i>d</i> ₂ мм	<i>L</i> мм	<i>Mкр</i> Н·м		Вала	Втулки	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	80	0	150	82	1200	0	Сталь 30	Сталь 30	Механически со смазкой
2	63	0	120	60	800	0	Сталь 30	С428	Механически без смазки
3	120	50	200	130	50	6	Сталь 45	БрАЖ9- 4	Нагрев втулки
4	50	120	100	60	400	0	Сталь 45	Сталь 45	Нагрев втулки
5	100	42	160	100	80	0,8	Сталь 45	Сталь 35	Охлаждение вала
6	180	100	240	150	900	8,0	Сталь 35	Сталь 40	Механически без смазки
7	40	0	63	43	120	0	Сталь 40	Сталь 45	Механически со смазкой

8	32	0	60	35	0	1,8	Сталь 40	БрАЖ9- 4	Механически без смазки
9	25	0	50	30	20	0	Сталь 45	Сталь 30	Механически со смазкой
10	90	40	150	100	0	20	Сталь 40	Сталь 40	Нагрев втулки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	45	25	63	50	30	0	Сталь 35	Сталь 11	Механически без смазки
12	150	100	200	130	400	0	Сталь 45	Сталь 45	Нагрев втулки
13	36	0	60	40	40	0,8	Сталь 30	Сталь 30	Механически со смазкой
14	70	0	100	81	250	0	Сталь 40	Сталь 40	Нагрев втулки
15	22	0	40	26	0	0,3	Сталь 45	БрАЖ9- 4	Механически без смазки
16	28	12	42	30	20	0,4	Сталь 30	Сталь 30	Нагрев втулки
17	38	0	70	43	50	0	Сталь 25	Сталь 25	Механически без смазки
18	160	90	240	150	150	3	Сталь 45	Сталь 45	Охлаждение вала
19	18	0	25	20	40	0	Сталь 30	Сталь 30	Механически без смазки
20	16	0	32	20	30	0	Сталь 35	Сталь 35	Механически без смазки
21	10	0	20	10	0	0,5	Сталь 45	Сталь 45	Механически без смазки
22	85	50	130	100	800	0	Сталь 30	Сталь 30	Нагрев втулки
23	8	0	20	10	0	0,3	Сталь 45	Сталь 45	Механически без смазки
24	55	30	80	60	200	1,0	Сталь 25	Сталь 25	Нагрев втулки
25	40	20	60	40	300	0	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Механически со смазкой
26	45	22	70	50	400	0,8	Сталь 50	Сталь 50	Нагрев втулки
27	36	0	55	40	0	1,2	Сталь 60Г	Сталь 60Г	Механически без смазки

28	72	40	100	100	1200	0	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Нагрев втулки
29	85	0	120	90	0	4	Сталь 55	Сталь 55	Охлаждение вала

Выбрать стандартную посадку для осуществления сборки в соответствии с заданными условиями.

3. Вопросы к практическому занятию

1. Каковы условия обеспечения натяга в соединении?
2. Какие факторы влияют на величину удельного давления на контактных поверхностях соединения?
3. Как влияет шероховатость поверхности на величину допустимого натяга?
4. Условия выбора стандартных посадок с натягом.
5. Как определить необходимое усилие при запрессовке деталей?
6. Как осуществляется сборка деталей термическими методами?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 10

Выбор посадки по предельным значениям натягов при механической сборке

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:
применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:
уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером. Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

По значениям предельных натягов выбирается посадка из таблиц системы допусков и посадок таблице 1.49 [3].

Условия подбора посадки следующие:

- максимальный натяг N_{max} в подобранной посадке должен быть не больше $[N_{max}]$:

$$N_{max} \leq [N_{max}]; \quad (10.1)$$

- минимальный натяг N_{min} в подобранной посадке с учётом возможных колебаний действующей нагрузки и других факторов должен быть:

$$N_{min} > [N_{min}]. \quad (10.2)$$

Далее рассчитывается необходимое усилие (Н) при запрессовке собираемых деталей:

$$R_n = f_n \cdot p_{max} \cdot \pi \cdot d \cdot L, \quad (10.3)$$

где f_n – коэффициент трения при запрессовке, f_n (1,15 – 1,2).

Удельное давление p_{max} при максимальном натяге N_{max} в посадке определяется по формуле:

$$p_{max} = \frac{N_{max} - \gamma_m}{d \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)}. \quad (10.4)$$

Изменение размеров d_1 и d_2 после запрессовки (λ_1 и λ_2 , м) рассчитываются по формулам:

$$\lambda_1 = \frac{2 p_{max} \cdot d_1 \cdot d^2}{E_1 (d_2^2 - d_1^2)}, \quad (10.5)$$

$$\lambda_2 = \frac{2 p_{max} \cdot d_2 \cdot d^2}{E_2 (d_2^2 - d^2)}. \quad (10.6)$$

ПРИМЕР

При решении используются данные, полученные в работе №9.

1. По таблице 1.49 [3] выбираем посадку $\varnothing 60 \frac{H7(+0,030)}{u7(+0,117/+0,087)}$, для которой

$N_{max} = 117$ мкм $< [N_{max}]$, $N_{min} = 57$ мкм $> [N_{min}]$. Запас прочности соединения для данной посадки равен: $[N_{min}] = 57 - 50 = 7$ мкм.

Запас прочности деталей $[N_{max}] - N_{max} = 135 - 117 = 18$ мкм.

2. Определяем усилие запрессовки по формуле (10.3)

$$R_n = f_n p_{max} \pi d L = 0,096 \cdot 10,3 \cdot 10^7 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 131 \cdot 10^3 \text{ Н},$$

где $f_n = 1,2f = 1,2 \cdot 0,08 = 0,096$; удельное давление рассчитывается по формуле (10.4):

$$p_{\max} = \frac{(117 - 19,6) \cdot 10^6}{60 \cdot 10^{-3} \left(\frac{0,76 + 2,43}{2 \cdot 10^{11}} \right)} = 10,3 \cdot 10^7 \frac{H}{m^2}.$$

3. Изменение размеров d_1 и d_2 после запрессовки:

$$\lambda_1 = \frac{2 \cdot 10,3 \cdot 10^7 \cdot 0,01 \cdot 0,06^2}{2 \cdot 10^{11} (0,1^2 - 0,01^2)} = 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 3,7 \text{ мкм.}$$

$$\lambda_2 = \frac{2 \cdot 10,3 \cdot 10^7 \cdot 0,1 \cdot 0,06^2}{2 \cdot 10^{11} (0,1^2 - 0,06^2)} = 8,2 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 8,2 \text{ мкм.}$$

3. Вопросы к практическому занятию

1. Каковы условия обеспечения натяга в соединении?
2. Какие факторы влияют на величину удельного давления на контактных поверхностях соединения?
3. Как влияет шероховатость поверхности на величину допустимого натяга?
4. Условия выбора стандартных посадок с натягом.
5. Как определить необходимое усилие при запрессовке деталей?
6. Как осуществляется сборка деталей термическими методами?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Выбор посадки по предельным значениям натягов при термической сборке

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером. Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

По значениям предельных натягов выбирается посадка из таблиц системы допусков и посадок таблицы 1.49 [3].

Условия подбора посадки следующие:

- максимальный натяг N_{max} в подобранной посадке должен быть не больше $[N_{max}]$:

$$N_{max} \leq [N_{max}]; \quad (11.1)$$

- минимальный натяг N_{min} в подобранной посадке с учётом возможных колебаний действующей нагрузки и других факторов должен быть:

$$N_{min} > [N_{min}]. \quad (11.2)$$

Применяя термические методы сборки, необходимую температуру нагрева охватывающей детали или охлаждения охватываемой детали определяют по формулам:

$$t_D \approx \frac{N_{max} + S_{CB}}{\alpha \cdot d} + t_{CB}, \quad (11.3)$$

$$t_d \approx t_{CB} - \frac{N_{max} + S_{CB}}{\alpha \cdot d}, \quad (11.4)$$

где t_{CB} – температура помещения сборки, °C;

S_{CB} – минимально необходимый зазор при сборке;

S_{CB} – принимают равным S_{min} в посадках H/q ;

α – коэффициент линейного расширения (сжатия) при нагреве (охлаждении), таблица 1.62 [3].

ПРИМЕР

При решении используются данные, полученные в работе №9.

1. По таблице 1.49 [3] выбираем посадку $\varnothing 60 \frac{H7(+0,030)}{u7(+0,117/+0,087)}$, для которой

$N_{max} = 117 \text{ мкм} < [N_{max}]$, $N_{min} = 57 \text{ мкм} > [N_{min}]$. Запас прочности соединения для данной посадки равен: $[N_{min}] = 57 - 50 = 7 \text{ мкм}$.

Запас прочности деталей $[N_{max}] - N_{max} = 135 - 117 = 18 \text{ мкм}$.

2. Определяем температуру нагрева охватывающей детали при температуре помещения для сборки $t_{CB} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ по формуле (3.18)

$$t_H = \frac{N_{\max} + S_{CB}}{\alpha * d} + t_{CB} = \frac{0,117 + 0,01}{11,6 * 10^{-6} * 50} + 20 = 204^{\circ}\text{C} = 477\text{K},$$

где S_{CB} принят равным $S_{\min}$ посадки $\varnothing 60 \frac{H7}{g6}$ (таблица 1.47); $\alpha = 11,5 * 10^{-6}$ принят по таблице 1.62 /2/ для незакаленной стали.

3. Схема полей допусков посадки $\varnothing 60 \frac{H7\left(\begin{smallmatrix} +0,030 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)}{u7\left(\begin{smallmatrix} +0,117 \\ +0,087 \end{smallmatrix}\right)}$ показана на рисунке

11.1.

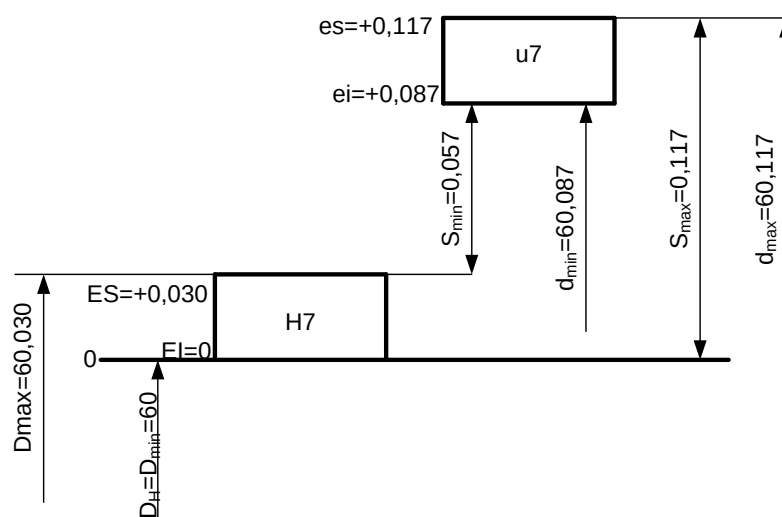


Рисунок 11.1 – Схема полей допусков посадки $\varnothing 60 \frac{H7\left(\begin{smallmatrix} +0,030 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)}{u7\left(\begin{smallmatrix} +0,117 \\ +0,087 \end{smallmatrix}\right)}$

3. Вопросы к практическому занятию

1. Каковы условия обеспечения натяга в соединении?
2. Какие факторы влияют на величину удельного давления на контактных поверхностях соединения?
3. Как влияет шероховатость поверхности на величину допустимого натяга?
4. Условия выбора стандартных посадок с натягом.
5. Как определить необходимое усилие при запрессовке деталей?
6. Как осуществляется сборка деталей термическими методами?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 12

Определение допусков изделий из пластмасс

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером. Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные

отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

На точностные параметры изделий из пластмасс влияет множество факторов, основными из которых являются: свойства материала, технология изготовления, конструктивные элементы детали, условия эксплуатации и др.

В качестве исходных данных для определения допусков деталей из пластмассы служит эскиз детали с размерами (рисунок 12.1, таблица 12.1) и ее материал. Последовательность расчетов следующая:

1. По таблице 12.1 для заданного преподавателем варианта определяется значение усадки материала детали.

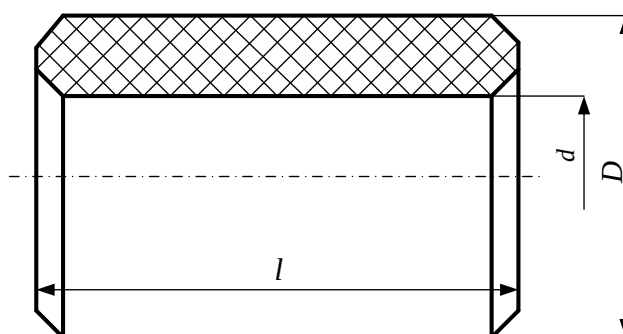


Рисунок 12.1 – Эскиз детали

Таблица 12.1 – Варианты заданий

Вариант	Деталь	Материал	Усадка ΔS , %	Размеры, мм		
				D	d	l
1	втулка	Сополимер полистирола МС-2	0,8	$20_{-0,36}$	$8^{+0,28}$	$48_{\pm 0,14}$
2	— // —	Сополимер полистирола МСН	1,0	$22_{-0,42}$	$8^{+0,30}$	$32_{\pm 0,15}$

3	— // —	Литьевая композиция АГ-7	0,16	24 _{-0,45}	10 ^{+0,32}	56±0,28
4	— // —	Полиуретан ПУ-1	0,25	26 _{-0,48}	10 ^{+0,36}	42±0,25
5	— // —	Полиамид А54	0,18	28 _{-0,54}	10 ^{+0,40}	52±0,34
6	— // —	Полиамид Б68	0,22	30 _{-0,58}	10 ^{+0,42}	46±0,30
7	— // —	Полистирол блочный	0,38	32 _{-0,62}	10 ^{+0,46}	50±0,44
8	— // —	Полистирол эмульсионный	0,40	34 _{-0,64}	12 ^{+0,48}	44±0,38
9	— // —	Капрон	0,80	36 _{-0,68}	12 ^{+0,52}	58±0,54
10	— // —	Этрол	1,0	38 _{-0,72}	14 ^{+0,56}	55±0,48
11	— // —	Полиэтилен	1,2	40 _{-0,74}	14 ^{+0,60}	60±0,64
12	— // —	Фенопласт В4	0,22	42 _{-0,76}	16 ^{+0,62}	58±0,56
13	— // —	Фенопласт У4	0,25	44 _{-0,78}	18 ^{+0,66}	72±0,74
14	— // —	Фенопласт Э3	0,32	46 _{-0,80}	20 ^{+0,70}	74±0,82
15	— // —	Фенопласт Ж2	0,40	48 _{-0,82}	22 ^{+0,72}	78±0,88
16	— // —	Аминопласт В3	0,60	50 _{-0,84}	24 ^{+0,76}	71±0,76
17	— // —	Фенопласт УБ	0,16	52 _{-0,88}	26 ^{+0,80}	70±0,72
18	----//-----	Фенопласт АГ-4	0,25	54 _{-0,92}	30 ^{+0,82}	76±0,82
19	----//-----	Фенопласт У1	0,32	58 _{-0,96}	32 ^{+0,84}	78±0,92
20	----//-----	Фенопласт У2	0,40	62 _{-0,98}	34 ^{+0,88}	82±0,98

Таблица 12.2 – Значения квалитетов точности для пластмассовых деталей

Размеры, мм.	Квалитеты точности в зависимости от значения усадки ΔS , %							
	До 0,06	Св. 0,06 до 0,10	Св. 0,10 до 0,18	Св. 0,18 до 0,25	Св. 0,25 до 0,40	Св. 0,40 до 0,60	Св. 0,60 до 1,0	Св. 1,0
Для категории А ₁								
До 30	8	9	10	11	12	13	14	15
Св. 30 до 120	9	10	11	12	13	14	15	16
Св. 120	10	11	12	13	14	15	16	17
Для категорий А ₂ и А ₃								
До 3,0	10	11	12	13	14	15	16	17
Св. 3,0 до 30	9	10	11	12	13	14	15	16
Св. 30 до 120	10	11	12	13	14	15	16	17
Св. 120	11	12	13	14	15	16	17	18

2. Назначить категорию сложности конструктивного элемента по следующим рекомендациям:

- линейные размеры – А₁;
- криволинейные размеры – А₂;
- межосевые расстояния – А₃.

3. Выбираются качества точности (таблица 12.2) и определяем технологические допуски размера δ_T (таблица 12.3).

Таблица 12.3 – Предельные отклонения валов для пластмассовых изделий

Размеры, мм.	Поля допусков										
	<i>h8</i>	<i>h9</i>	<i>h10</i>	<i>h11</i>	<i>h12</i>	<i>h13</i>	<i>h14</i>	<i>h15</i>	<i>h16</i>	<i>h17</i>	<i>h18</i>
Предельные отклонения, мм											
До 3,0	0 -0,014	0 -0,025	0 -0,040	0 -0,060	0 -0,080	0 -0,120	0 -0,180	0 -0,340	0 -0,680	0 -1,020	0 -1,400
Св. 3,0 до 6,0	0 -0,018	0 -0,030	0 -0,048	0 -0,075	0 -0,100	0 -0,140	0 -0,240	0 -0,420	0 -0,748	0 -1,340	0 -1,800
Св. 6,0 до 10	0 -0,022	0 -0,036	0 -0,058	0 -0,090	0 -0,120	0 -0,160	0 -0,320	0 -0,500	0 -0,840	0 -1,600	0 -2,200
Св. 10 до 14	0 -0,027	0 -0,043	0 -0,070	0 -0,110	0 -0,140	0 -0,180	0 -0,440	0 -0,580	0 -0,920	0 -1,840	0 -2,700
Св 14 до 18	0 -0,027	0 -0,043	0 -0,070	0 -0,110	0 -0,140	0 -0,180	0 -0,440	0 -0,580	0 -0,920	0 -2,100	0 -2,700
Св. 18 до 24	0 -0,033	0 -0,052	0 -0,084	0 -0,130	0 -0,180	0 -0,230	0 -0,480	0 -0,640	0 -0,980	0 -2,100	0 -3,300
Св. 24 до 30	0 -0,033	0 -0,052	0 -0,084	0 -0,130	0 -0,180	0 -0,230	0 -0,480	0 -0,640	0 -0,980	0 -2,460	0 -3,300
Св. 30 до 40	0 -0,039	0 -0,062	0 -0,100	0 -0,160	0 -0,210	0 -0,250	0 -0,640	0 -0,820	0 -1,040	0 -2,460	0 -3,900
Св. 40 до 50	0 -0,039	0 -0,062	0 -0,100	0 -0,160	0 -0,210	0 -0,250	0 -0,640	0 -0,820	0 -1,040	0 -2,840	0 -3,900
Св. 50 до 65	0 -0,046	0 -0,074	0 -0,120	0 -0,190	0 -0,250	0 -0,320	0 -0,750	0 -0,940	0 -1,220	0 -2,840	0 -4,600
Св. 65 до 80	0 -0,046	0 -0,074	0 -0,120	0 -0,190	0 -0,250	0 -0,320	0 -0,750	0 -0,980	0 -1,220	0 -3,120	0 -4,600
Св. 80 до 100	0 -0,054	0 -0,087	0 -0,140	0 -0,220	0 -0,290	0 -0,360	0 -0,880	0 -1,040	0 -1,540	0 -3,120	0 -5,400

4. Находится величина допускаемой погрешности, которая принимается равной значению технологического уклона:

$$\delta_{\text{укл}} = 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (12.1)$$

где H – размер (высота) конструктивного элемента, на который назначают уклон;

α – значение угла технологического уклона. Угол α назначают исходя из следующих рекомендаций: для наружных поверхностей $-0,5^0$, для внутренних поверхностей $-1,0^0$.

5. Рассчитывается общая допускаемая погрешность изготовления конструктивного элемента детали:

$$\delta_{общ} = \delta_T + \delta_{укл}. \quad (12.2)$$

Заносим все полученные данные в таблицу 12.4.

6. Проверка выполнения заданного допуска по условию:

$$\delta_{общ} < \delta_{черт}. \quad (12.3)$$

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задана деталь (рисунок 12.1) изготовленная из капрона с размерами: $D = 36_{-0,54}$; $d = 18_{+0,48}$; $l = 52_{\pm 0,32}$.

1. По таблице 12.1 определяем значение усадки для капрона $\Delta S = 0,8\%$.

2. Так как все размеры являются линейными, то они относятся к категории A_1 .

3. Определяем по таблице 12.2 качества точности: для d – 9-ый, для D и l – 10-ый.

По таблице 12.3 находим технологические допуски:

- для D : $\delta_T = 0,1$ мм;

- для d : $\delta_T = 0,048$ мм;

- для l : $\delta_T = 0,12$ мм.

4. Определяем величину технологического уклона (формула 12.1):

- для D : $\delta_{укл} = 2 \cdot 52 \cdot \text{tg}0,5^0 = 0,31$ мм;

- для d : $\delta_{укл} = 2 \cdot 52 \cdot \text{tg}1,0^0 = 0,62$ мм;

- для l : $\delta_{укл} = 2 \cdot 36 \cdot \text{tg}0,5^0 = 0,22$ мм.

5. Рассчитываем общую погрешность (формула 12.2):

- для D : $\delta_{общ} = 0,1 + 0,31 = 0,41$ мм;

- для d : $\delta_{общ} = 0,048 + 0,62 = 0,668$ мм;

- для l : $\delta_{общ} = 0,12 + 0,22 = 0,34$ мм.

Таблица 12.1 – Расчетные данные

Размеры	Заданный допуск $\delta_{\text{черт}}$, мм	Категория сложности	Квалитет точности IT	Технологический допуск δ_T , мм	Технологический уклон $\delta_{\text{укл}}$, мм	Общая погрешность $\delta_{\text{общ}}$, мм	Условие: $\delta_{\text{общ}} < \delta_{\text{черт}}$
36 _{-0,54}	0,54	A ₁	10	0,1	0,31	0,41	0,41 < 0,54
18 _{+0,48}	0,48	A ₁	9	0,048	0,62	0,668	0,668 < 0,48
52 $\pm$ 0,32	0,64	A ₁	10	0,12	0,22	0,34	0,34 < 0,64

Как следует из таблицы 12.1, для размера 18_{+0,48} не выполняется условие 12.3, что является недопустимым и, следовательно, для него нужно предусмотреть последующую механическую обработку.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как определяется категория сложности пластмассовых деталей?
2. Как находится технологический допуск?
3. Как находится технологический уклон?
4. Как определить общую погрешность пластмассовых деталей?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 13

Расчет и проектирование калибров для контроля размеров гладких цилиндрических соединений

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:
основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:
применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:
уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером. Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

Годность деталей с допусками от 6 до 17 квалитетов особенно при массовом и крупносерийном производстве наиболее часто определяют с помощью предельных калибров.

Комплект рабочих предельных калибров для контроля размеров гладких цилиндрических деталей состоит из проходного *P-ПП* и непроходного *P-НЕ* калибров.

С помощью предельных калибров определяют не численные значения контролируемых параметров, а годность детали, т. е. находится ли контролируемый размер в пределах допуска. Деталь считается годной, если проходной калибр (проходная сторона калибра) проходит, а непроходной (непроходная сторона калибра) не проходит по контролируемой поверхности детали.

Рабочие калибры *P-ПП* и *P-НЕ* предназначены для контроля деталей в процессе их изготовления.

Для контроля отверстий используют пробки, а для контроля – валов – скобы.

Контрольные калибры *K-ПП* и *K-НЕ* предназначены для проверки размеров проходной и непроходной сторон при изготовлении нерегулируемых скоб или для установки размеров регулируемых скоб. Контрольный калибр *K-И* является непроходным и служит для изъятия из эксплуатации проходных рабочих скоб вследствие их износа.

ГОСТ 24853-81 для размеров до 500 мм предусматривает восемь вариантов схем расположения полей допусков контролируемых деталей в зависимости от их размеров и точности изготовления.

Принятые обозначения:

- | | |
|--------------------|---|
| D, d | – номинальный размер отверстия и вала; |
| D_{max}, d_{max} | – наибольший предельный размер детали; |
| T_D, T_d | – допуск размера детали; |
| H | – допуск на изготовление калибров для отверстия; |
| H_S | – допуск на изготовление калибров со сферическими измерительными поверхностями для отверстия; |
| H_1 | – допуск на изготовление калибров для вала; |
| H_P | – допуск на изготовление контрольного калибра; |

- Z – отклонение середины поля допуска на изготовление проходного калибра для отверстия относительно наименьшего предельного размера детали;
- Z_1 – отклонение середины поля допуска на изготовление проходного калибра вала относительно наибольшего предельного размера детали;
- Y – допустимый выход размера изношенного проходного калибра для отверстия за границу поля допуска детали;
- Y_1 – допустимый выход размера изношенного проходного калибра для вала за границу поля допуска детали;
- α – величина компенсации погрешности контроля калибрами отверстий размерами свыше 180 мм;
- α_1 – величина компенсации погрешности контроля калибрами валов размерами свыше 180 мм.

Схема полей допусков, контролируемых деталей и калибров приведена на рисунках 13.1 – 13.8.

Исполнительные размеры – это предельные размеры калибров, по которым изготавливают новые калибры.

Исполнительные размеры калибров должны определяться по формулам, указанным в таблице 13.1.

Таблица 13.1 – Формулы для расчета исполнительных размеров калибров

Калибр			Номинальный размер детали, мм	
			До 180	180...500
Для отверстия	Пробки	Проходная сторона новая $P-PP$	$D_{\min} + Z \pm H/2$	$D_{\min} + Z \pm H/2 \pm H_S/2$
		1. Проходная сторона изношенная $P-PP_{\text{и}}$	$D_{\min} - Y$	$D_{\min} - Y + \alpha$
		Непроходная сторона $P-HE$	$D_{\max} \pm H/2$	$D_{\max} - \alpha \pm H/2 \pm H_S/2$
Д л	С	Проходная сторона новая $P-PP$	$D_{\max} - Z_1 \pm H_1/2$	$D_{\max} - Z_1 \pm H_1/2$

Контрка либры		Проходная сторона изношенная <i>P-ПРи</i>	$D_{max} + Y$	$D_{max} + Y_1 - \alpha_1$
		Непроходная сторона <i>P-HE</i>	$D_{min} \pm H_1 / 2$	$D_{min} + \alpha_1 \pm H_1 / 2$
		Проходная сторона новая <i>K-ПР</i>	$D_{max} - Z_1 \pm H_p / 2$	$D_{max} - Z_1 \pm H_p / 2$
		Проходная сторона изношенная <i>K-И</i>	$D_{max} + Y_1 \pm H_p / 2$	$D_{max} + Y_1 - \alpha_1 \pm H_p / 2$
		Непроходная сторона <i>K-HE</i>	$D_{min} \pm H_p / 2$	$D_{min} + \alpha_1 \pm H_p / 2$

В качестве исполнительного размера скобы принимают ее наименьший предельный размер с положительным отклонением; для пробки и контрольных калибров – их наибольший предельный размер с отрицательным отклонением.

ПРИМЕР

Для посадки $\varnothing 160 \frac{H12}{b12}$ выбрать и построить схемы расположения полей допусков калибров-пробок, скоб и контрольных калибров, выбрать допуски и предельные отклонения по ГОСТ 24853-81 и указать их на схемах. Рассчитать исполнительные размеры всех калибров.

1. По ГОСТ 25346-82 и ГОСТ 25348-82 выбираем предельные отклонения для посадки

$$\varnothing 160 \frac{H12 \left(\begin{smallmatrix} +0,400 \\ -0,280 \end{smallmatrix} \right)}{b12 \left(\begin{smallmatrix} -0,280 \\ -0,680 \end{smallmatrix} \right)}.$$

2. Определяем предельные размеры и допуски

$$D_{max} = 160,400 \text{ мм}; D_{min} = 160 \text{ мм};$$

$$d_{max} = 159,72 \text{ мм}; d_{min} = 159,32 \text{ мм};$$

$$T_D = D_{max} - D_{min} = 160,400 - 160 = 0,400 \text{ мм};$$

$$T_d = d_{max} - d_{min} = 159,72 - 159,32 = 0,400 \text{ мм}.$$

3. Для отверстия $\varnothing 160H12$ выбираем схему расположения полей допусков калибров-пробок, определяем допуски и отклонения по ГОСТ 24853-81 ($z = z_1 = 32$ мкм, $Y = Y_1 = 0$ мкм, $\alpha = \alpha_1 = 0$, $H = H_1 = 18$, $H_s = 12$, $H_p = 5$ мкм) и наносим их на схему полей допусков (рисунок 13.9).

Рассчитываем предельные размеры калибров-пробок:

$$P - PP_{\max} = D_{\min} + z + \frac{H}{2} = 160 + 0,032 + 0,009 = 160,041 \text{ мм},$$

$$P - PP_{\min} = D_{\min} + z - \frac{H}{2} = 160 + 0,032 - 0,009 = 160,023 \text{ мм},$$

$$P - PP_u = D_{\min} - Y + \alpha = 160 - 0 + 0 = 160 \text{ мм},$$

$$P - HE_{\max} = D_{\max} - \alpha + \frac{H}{2} = 160,400 - 0 + 0,009 = 160,409 \text{ мм},$$

$$P - HE_{\min} = D_{\max} - \alpha - \frac{H}{2} = 160,400 - 0 - 0,009 = 160,391 \text{ мм}.$$

Назначаем исполнительные размеры калибров-пробок: $P - PP = 160,041_{-0,018}$, $P - HE = 160,409_{-0,018}$.

Рассчитываем предельные размеры калибров-скоб.

$$P - PP_{\max} = d_{\max} - z_1 + \frac{H_1}{2} = 159,72 - 0,032 + 0,009 = 159,697 \text{ мм},$$

$$P - PP_{\min} = d_{\max} - z_1 - \frac{H_1}{2} = 159,72 - 0,032 - 0,009 = 159,679 \text{ мм},$$

$$P - PP_u = d_{\max} + Y_1 - \alpha_1 = 159,72 + 0 - 0 = 159,72 \text{ мм},$$

$$P - HE_{\max} = d_{\min} + \alpha_1 + \frac{H_1}{2} = 159,32 + 0 + 0,009 = 159,329 \text{ мм},$$

$$P - HE_{\min} = d_{\min} + \alpha_1 - \frac{H_1}{2} = 159,32 + 0 - 0,009 = 159,311 \text{ мм}.$$

Рассчитываем предельные размеры контркалибров (таблица 4.1):

$$K - PP_{\min} = d_{\max} - z_1 - \frac{H_p}{2} = 159,72 - 0,032 - 0,0025 = 159,6855 \text{ мм}.$$

$$K - PP_{\max} = d_{\max} - z_1 + \frac{H_p}{2} = 159,72 - 0,032 + 0,0025 = 159,6905 \text{ мм}.$$

$$K - H_{\max} = d_{\max} + Y_1 + \frac{H_p}{2} = 159,72 + 0 + 0,0025 = 159,7225 \text{ мм}.$$

$$K - H_{\min} = d_{\max} + Y_1 - \frac{H_p}{2} = 159,72 + 0 - 0,0025 = 159,7175 \text{ мм}.$$

$$K - HE_{\max} = d_{\min} + \frac{H_p}{2} = 159,32 + 0,0025 = 159,3225 \text{ мм}.$$

$$K - HE_{\min} = d_{\min} - \frac{H_p}{2} = 159,32 - 0,0025 = 159,3175 \text{ мм}.$$

Находим исполнительные размеры калибров-скоб.

$$P - PP = 159,679^{+0,018}, P - HE = 159,311^{+0,018}.$$

Исполнительные размеры контркалибров:

$$K-I = 159,7225_{-0,005};$$

$$K-IP = 159,6905_{-0,005};$$

$$K-HE = 159,3225_{-0,005}.$$

По ГОСТ 14822-69 для контроля отверстия $\varnothing 160H12$ выбираем калибр-пробку проходную неполную. По ГОСТ 18360-93 для контроля вала $\varnothing 160b12$ выбираем калибр-скобу листовую.

При маркировке на калибр наносят: номинальный размер детали, для контроля которого предназначен калибр; буквенное обозначение поля допуска изделия, величину предельных отклонений изделия в миллиметрах; тип калибра (например, Р-ПР, Р-НЕ, К-И) и товарный знак завода изготовителя.

4. Начертить схему расположения полей допусков согласно заданной посадки (рисунки 13.1 – 13.8). Для посадки $\varnothing 160 \frac{H12}{b12}$ (квалитет 12, размер до 180) подходят схемы 13.2 для отверстия и 13.4 для вала. Делаем схемы полей допусков для калибра-пробки и калибра-скобы, заданной посадки (рисунки 13.9, 13.10).

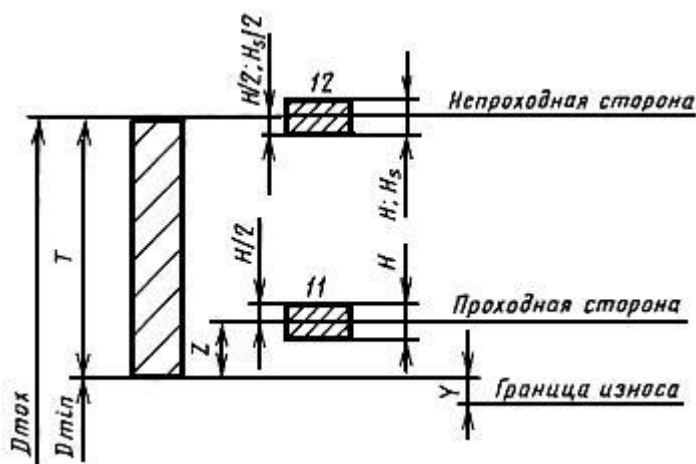


Рисунок 13.1 – Для отверстий квалитетов 6, 7 и 8 и номинальных размеров до 180 мм

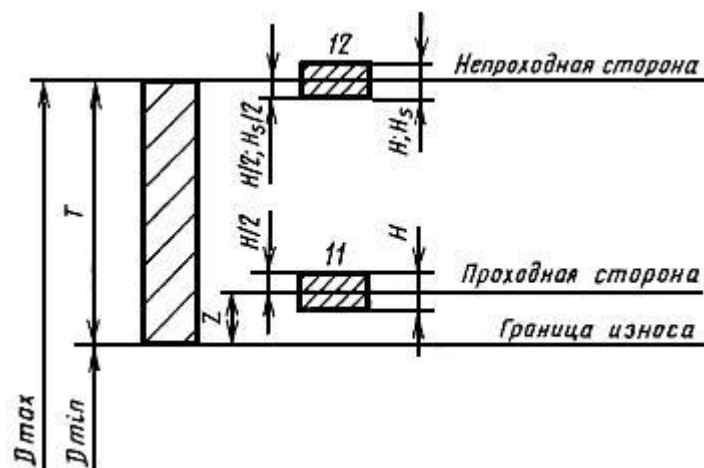


Рисунок 13.2 – Для отверстий квалитетов от 9 до 17 и номинальных размеров до 180 мм

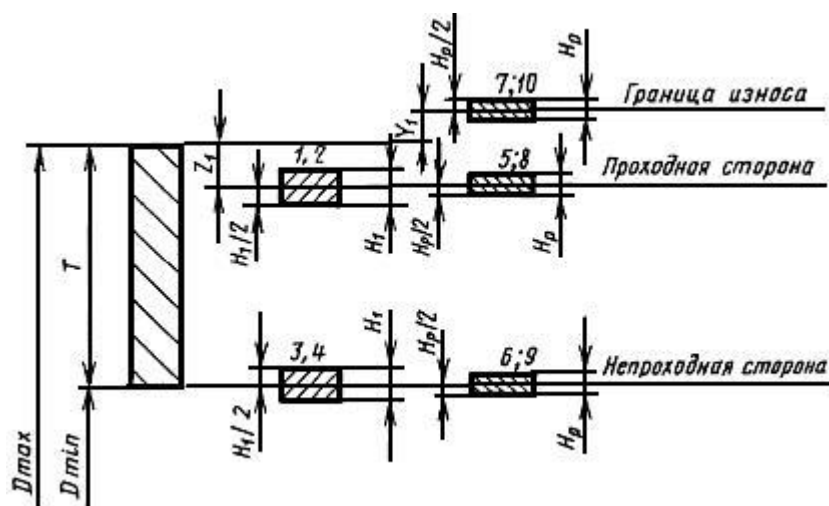


Рисунок 13.3 – Для валов квалитетов 6, 7 и 8 и номинальных размеров до 180 мм

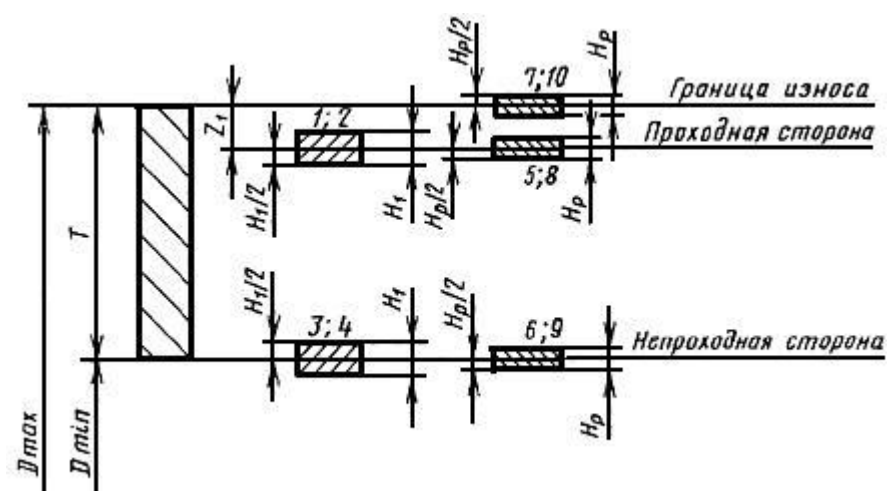


Рисунок 13.4 – Для валов квалитетов от 9 до 17 и номинальных размеров до 180 мм

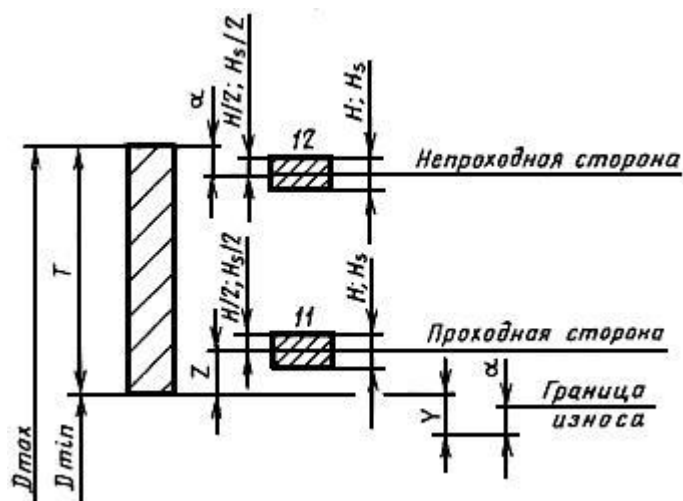


Рисунок 13.5 – Для отверстий квалитетов 6, 7 и 8 и номинальных размеров свыше 180 мм

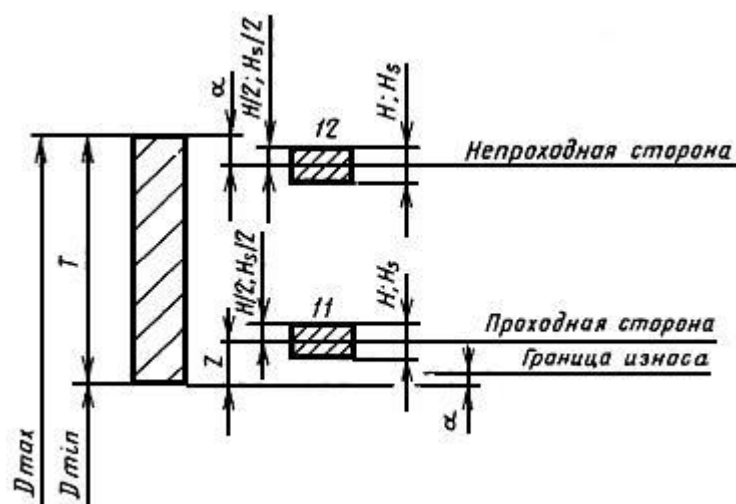


Рисунок 13.6 – Для отверстий квалитетов от 9 до 17 и номинальных размеров свыше 180 мм

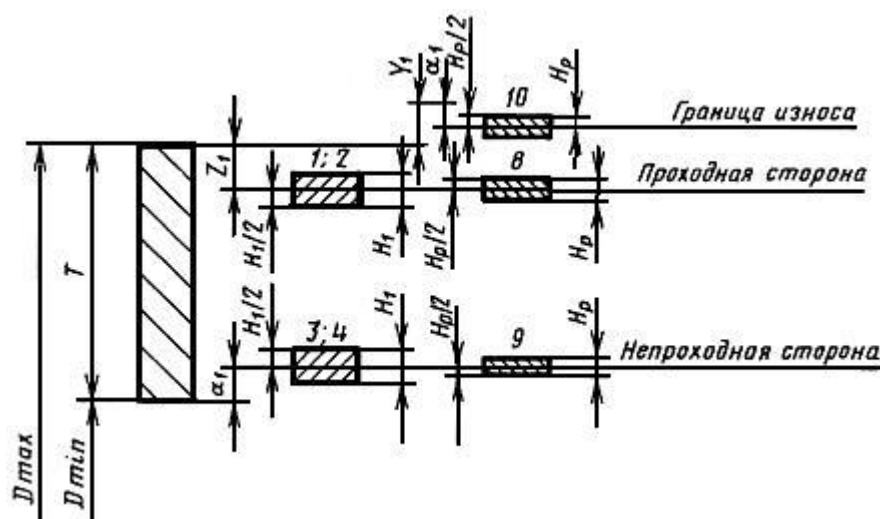


Рисунок 13.7 – Для валов квалитетов 6, 7 и 8 и номинальных размеров свыше 180 мм

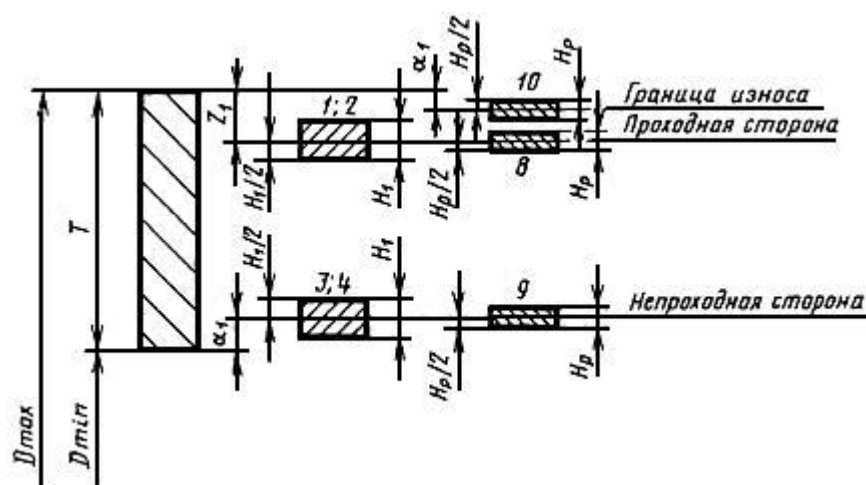


Рисунок 13.8 – Для валов квалитетов от 9 до 17 и номинальных размеров свыше 180 мм

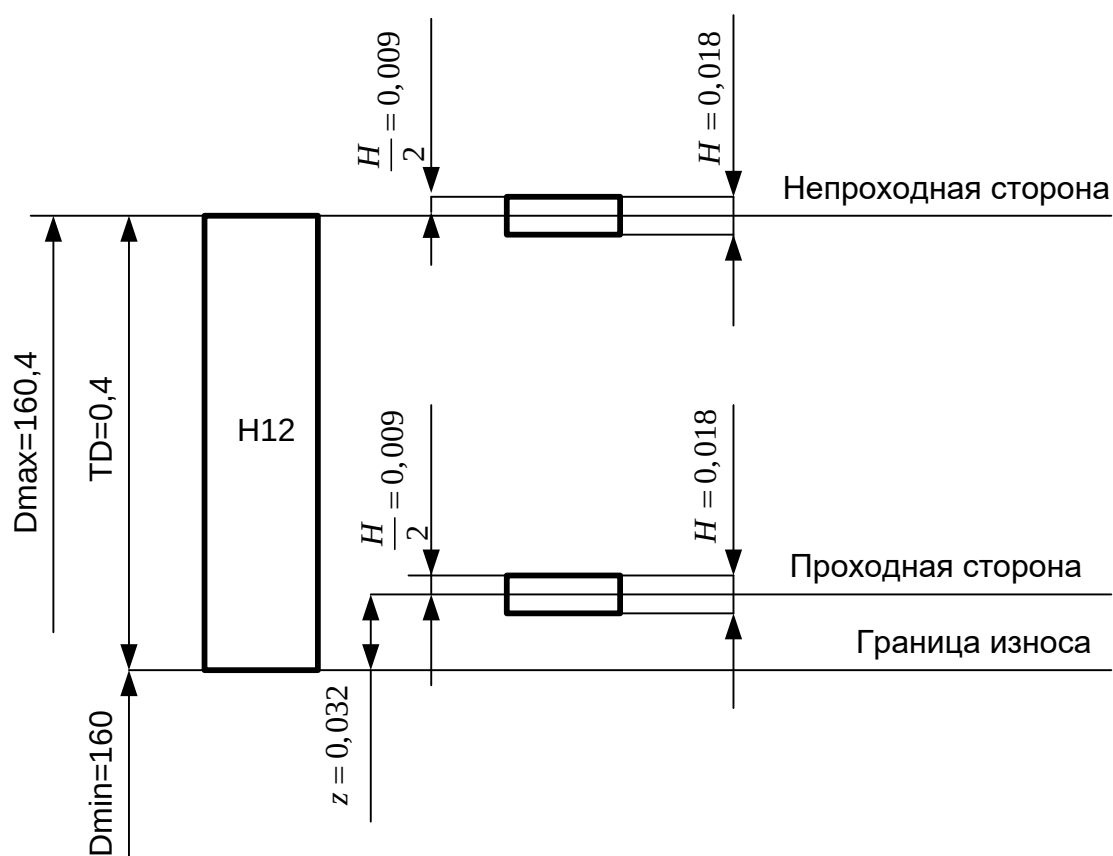


Рисунок 13.9 – Схема полей допусков калибра-пробки для отверстия $\varnothing 160H12$

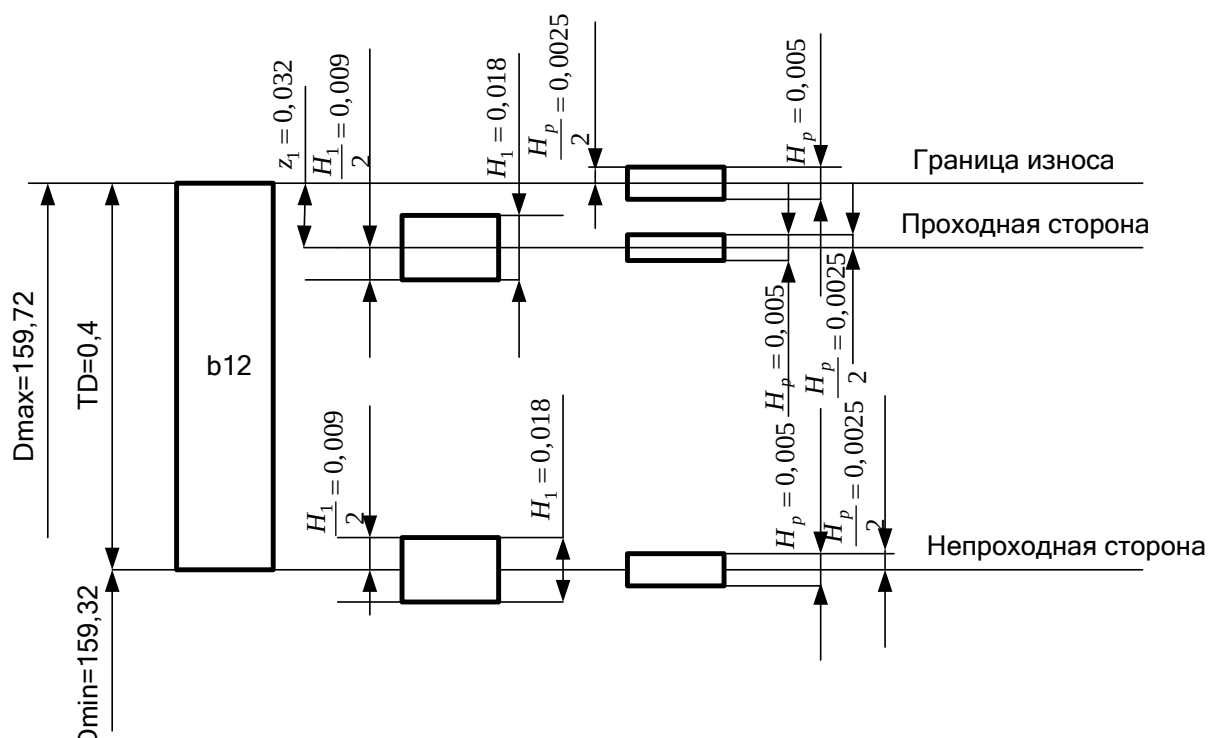


Рисунок 13.10 – Схема полей допусков калибра-скобы для вала Ø160b12

2. Задачи

Рассчитать исполнительные размеры рабочих калибров для контроля отверстия и вала с построением схем расположения полей допусков, если детали образуют следующие посадки соединения:

1. $\phi 50 \frac{H7}{k6}$; 2. $\phi 80 \frac{H7}{f7}$ (); 3. $\phi 120 \frac{H8}{e8}$; 4. $\phi 60 \frac{H7}{m6}$;
5. $\phi 100 \frac{H7}{g6}$; 6. $\phi 150 \frac{H7}{h6}$; 7. $\phi 110 \frac{H7}{m6}$; 8. $\phi 40 \frac{H7}{p6}$;
9. $\phi 50 \frac{H7}{s6}$; 10. $\phi 120 \frac{H8}{f7}$; 11. $\phi 90 \frac{H8}{k7}$; 12. $\phi 80 \frac{H7}{js6}$;
13. $\phi 30 \frac{H7}{m6}$; 14. $\phi 90 \frac{H7}{r6}$; 15. $\phi 75 \frac{H8}{js7}$; 16. $\phi 70 \frac{H8}{c8}$;
17. $\phi 40 \frac{H7}{c8}$; 18. $\phi 70 \frac{H7}{d8}$; 19. $\phi 110 \frac{H7}{h6}$; 20. $\phi 35 \frac{H7}{k6}$;

21. $\phi 50 \frac{H7}{s8}$; 22. $\phi 60 \frac{H7}{t6}$; 23. $\phi 40 \frac{H7}{u7}$; 24. $\phi 45 \frac{H8}{f7}$;

25. $\phi 40 \frac{H8}{h8}$; 26. $\phi 60 \frac{H8}{js7}$; 27. $\phi 80 \frac{H8}{k7}$; 28. $\phi 90 \frac{H8}{m7}$;

29. $\phi 100 \frac{H8}{x8}$; 30. $\phi 80 \frac{H8}{z8}$.

3. Вопросы к практическому занятию

1. Как проверяется годность детали при помощи предельных калибров?
2. Назначение контрольных калибров.
3. Как определяются исполнительные размеры калибров?
4. От чего зависит допуск калибра?
5. Какие размеры принимаются в качестве исполнительных размеров калибра-пробки?
6. Какие размеры принимаются в качестве исполнительных размеров калибра-скобы?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 14

Определение вероятности попадания размера ролика подшипника в пределы допуска

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы:
основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:
применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы:
уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером. Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

Практическая работа проходит в следующей последовательности:

1. Измерить размеры физической величины заданных объектов. Полученную выборку представить в виде таблицы 14.1. Определить

предельные значения выборки ($X_{\max}$, $X_{\min}$). Найти размах варьирования по формуле:

$$R = X_{\max} - X_{\min}. \quad (14.1)$$

Задаваясь числом интервалов ($K = 5 - 11$), определить величину интервала:

$$C = \frac{R}{K}. \quad (14.2)$$

2. Найти границы интервалов выборки можно следующим образом:

- границы 1 интервала – $X_{\min} \dots X_{\min} \pm C$;
- границы 2 интервала – $X_{\min} \dots X_{\min} \pm 2C$;
- границы k интервала – $X_{\min} \pm (k-1) \dots X_{\min} \pm kC$.

В каждый интервал включаются размеры, лежащие в пределах от наименьшего значения интервала включительно до наибольшего значения интервала, исключая его. В таблице 14.2 при помощи черточек сделать подсчет частот по интервалам.

3. Составить таблицу 14.3 (эмпирическое распределение X) и построить эмпирическую кривую распределения в координатах «середина интервала-частость» (рисунок 14.1). Значения середин интервалов и частостей находятся по формулам 14.3 и 14.4 соответственно.

$$X_i = \frac{X_{i\max} + X_{i\min}}{2}, \quad (14.3)$$

$$m_i = \frac{f}{n}, \quad (14.4)$$

где n – общее число наблюдаемых значений случайной величины.

4. Для вычисления статистических характеристик распределения предварительно заполнить вспомогательную таблицу 14.4 для вычисления среднего арифметического $\bar{X}$ и среднего квадратического σ выборки.

5. Определить аргументы функции Лапласа по формулам:

$$Z_1 = \frac{H - \bar{X}}{\sigma}, \quad Z_2 = \frac{B - \bar{X}}{\sigma}. \quad (14.5)$$

где H и B – нижний и верхний пределы. Принимаем $H = X_{\min}$, $B = X_{\max}$.

6. Определить вероятность попадания результатов измерений в поле допускаемых значений физической величины (значения $\Phi(z)$ находятся по таблице 6.1) по формуле:

$$P(x_{\max} < x < x_{\min}) = \Phi(z_2) - \Phi(z_1), \quad (14.6)$$

где $\Phi(-z) = -\Phi(z)$.

7. Сделать вывод.

Таблица 14.1 – Отклонения от номинального размера измеренных деталей

-0,07	-0,03	-0,04	-0,08	-0,03	-0,08	-0,09	-0,10	-0,10	-0,10
-0,13	-0,08	-0,06	-0,04	-0,04	-0,03	-0,04	-0,07	-0,11	-0,12
-0,03	-0,07	-0,08	-0,11	-0,05	-0,05	-0,07	-0,03	-0,09	-0,10
-0,05	-0,12	-0,07	-0,06	-0,08	-0,11	-0,08	-0,12	-0,03	-0,10
-0,11	-0,14	-0,13	-0,08	-0,12	-0,07	-0,09	-0,10	-0,11	-0,08
-0,08	-0,05	-0,11	-0,07	-0,05	-0,08	-0,10	-0,09	-0,09	-0,02
-0,06	-0,12	-0,05	-0,07	-0,11	-0,05	-0,09	-0,03	-0,11	-0,09
-0,11	-0,06	-0,07	-0,06	-0,06	-0,12	-0,10	-0,08	-0,09	-0,01
-0,05	-0,07	-0,06	-0,05	-0,08	-0,09	-0,14	-0,09	-0,08	-0,09
-0,07	-0,06	-0,06	-0,12	-0,05	-0,03	-0,10	-0,09	-0,09	-0,08

ПРИМЕР

Путем измерений были определены отклонения от номинального размера для заданных 100 деталей (таблица 14.1).

Находим $X_{\max} = -0,01$;

$X_{\min} = -0,14$.

Определяем размах варьирования (формула 14.1):

$$R = X_{\max} - X_{\min} = 0,13 \text{ мм.}$$

Определяем величину интервала (формула 14.2):

$$C = \frac{0,13}{7} = 0,02.$$

2. Определяем границы интервалов:

- границы 1-го интервала: $X_{\min 1} = -0,14$;

$$X_{\max 1} = X_{\min 1} + C = -0,14 + 0,02 = -0,12;$$

- границы 2-го интервала: $X_{\min 2} = -0,12$;

$$X_{\max 2} = X_{\min 2} + C = -0,12 + 0,02 = -0,10;$$

- границы 3-го интервала: $X_{\min 3} = -0,10$;

$$X_{\max 3} = X_{\min 3} + C = -0,10 + 0,02 = -0,08;$$

- границы 4-го интервала: $X_{\min 4} = -0,08$;

$$X_{\max 4} = X_{\min 4} + C = -0,08 + 0,02 = -0,06;$$

- границы 5-го интервала: $X_{\min 5} = -0,06$;

$$X_{\max 5} = X_{\min 5} + C = -0,06 + 0,02 = -0,04;$$

- границы 6-го интервала: $X_{\min 6} = -0,04$;

$$X_{\max 6} = X_{\min 6} + C = -0,04 + 0,02 = -0,02;$$

- границы 7-го интервала принимаем $X_{\min 7} = -0,02$; $X_{\max 7} = 0$. На такое допущение можно пойти в связи с низкой плотностью результатов на границах выборки.

Заполняем таблицу 14.2 подсчета частот эмпирического распределения, т. е. определяем сколько результатов попадает в каждый из полученных интервалов.

Таблица 14.2 – Подсчет частот эмпирического распределения

Интервалы		Подсчет частот f_i	Частота f_i
от	до		
-0,14	-0,12	III	3
-0,12	-0,10	IIIIIIIIII	16
-0,10	-0,08	IIIIIIIIIIIIIIII	22
-0,08	-0,06	IIIIIIIIIIIIIIIIII	25
-0,06	-0,04	IIIIIIIIIIII	19
-0,04	-0,02	IIIIIIII	13
-0,02	0	II	2
			$\Sigma f_i = 100$

Таблица 14.3 – Эмпирическое распределение

Интервалы		Середина интервала X_i	Частота f_i	Частость m_i
От	До			

-0,14	-0,12	-0,13	3	0,03
-0,12	-0,10	-0,11	16	0,16
-0,10	-0,08	-0,09	22	0,22
-0,08	-0,06	-0,07	25	0,25
-0,06	-0,04	-0,05	19	0,19
-0,04	-0,02	-0,03	13	0,13
-0,02	0	-0,01	2	0,02
			$\sum f_i=100$	$\sum m_i=1,0$

3. Составляем вспомогательную таблицу 14.3, для которой середина интервала X_i определяется по формуле 14.3, а частость m_i определяется по формуле 14.4.

По полученным значениям таблицы 14.3 (середина интервала и частость) строим эмпирическую кривую распределения в произвольно выбранном масштабе.

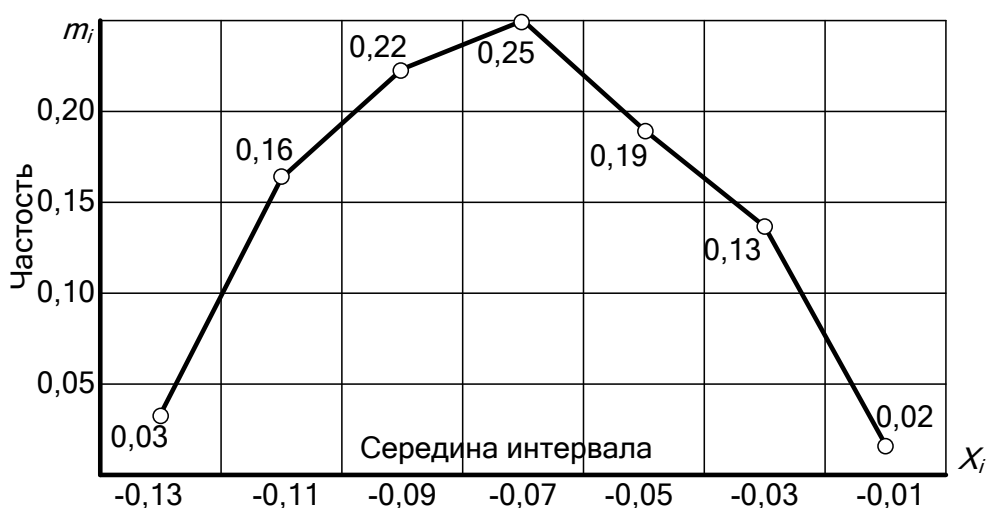


Рисунок 14.1 – Эмпирическая кривая распределения заданной выборки

Таблица 14.4 – Определение среднего арифметического $\bar{X}$ и среднего квадратического σ значений выборки

Середина интервала	Частость m_i	$X_i \cdot m_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$m_i(X_i - \bar{X})^2$
-0,13	0,03	-0,0039	0,058	0,0033	0,000099
-0,11	0,16	-0,0176	0,038	0,0014	0,00022
-0,09	0,22	-0,0198	0,018	0,0003	0,00006
-0,07	0,25	-0,0178	-0,002	0,000004	0,000001
-0,05	0,19	-0,0095	-0,022	0,0005	0,000095
-0,03	0,13	-0,0039	-0,042	0,0017	0,00022
-0,01	0,03	-0,0003	-0,062	0,0038	0,00011
		$\Sigma=-0,0725$	$\Sigma=0,000784$		

$$\bar{X} = \sum x_i m_i = -0,0725;$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[m_i (X_i - \bar{X})^2 \right]} = \sqrt{0,000784} = 0,028.$$

$$Z_1 = \frac{H - \bar{X}}{\sigma} = \frac{X_{\min} - \bar{X}}{\sigma} = \frac{-0,14 - (-0,0725)}{0,028} = -2,41;$$

6. Предварительно находим значения функции Лапласа из таблицы 6.1:

$$\Phi(z_2) = \Phi(2,23) = 0,4861.$$

$$P(x_{\min} < x < x_{\max}) = \Phi(z_2) - \Phi(z_1) = \Phi(2,23) - \Phi(-2,41) = \Phi(2,23) + \Phi(2,41) = 0,4861 + 0,4918 = 0,9779.$$

ЗАДАНИЯ

№ варианта														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Доверительная ошибка (уровень значимости)														
$q = 0,20$	$q = 0,10$	$q = 0,05$	$q = 0,02$	$q = 0,01$	$q = 0,20$	$q = 0,10$	$q = 0,05$	$q = 0,02$	$q = 0,01$	$q = 0,20$	$q = 0,10$	$q = 0,05$	$q = 0,02$	$q = 0,01$
Доверительная вероятность														

$P=$ 0,80	$P=$ 0,90	$P=$ 0,95	$P=$ 0,98	$P=$ 0,99	$P=$ 0,80	$P=$ 0,90	$P=$ 0,95	$P=$ 0,98	$P=$ 0,99	$P=$ 0,80	$P=$ 0,90	$P=$ 0,95	$P=$ 0,98	$P=$ 0,99
Значения результатов выборки														
1,22	2,88	3,46	4,31	5,14	6,02	7,78	8,50	9,82	0,36	1,62	2,46	3,08	4,64	5,50
1,28	2,92	3,60	4,30	5,19	6,04	7,85	8,58	9,88	0,48	1,70	2,48	3,10	4,66	5,56
1,20	2,78	3,48	4,44	5,20	6,06	7,83	8,52	9,89	0,50	1,68	2,52	3,14	4,68	5,58
1,32	2,80	3,47	4,38	5,28	6,03	7,82	8,56	9,90	0,46	1,66	2,54	3,18	4,72	5,64
1,34	2,84	3,52	4,39	5,22	6,16	7,92	8,57	9,96	0,48	1,64	2,60	3,22	4,78	5,62
1,28	2,82	3,54	4,40	5,21	6,14	7,80	8,64	9,94	0,42	1,76	2,58	3,20	4,76	5,60
1,26	2,86	3,56	4,42	5,26	6,12	7,84	8,62	9,92	0,43	1,72	2,59	3,19	4,66	5,62
1,24	2,84	3,55	4,36	5,29	6,10	7,85	8,60	9,84	0,45	1,74	2,54	3,16	4,70	5,58
1,26	2,86	3,50	4,35	5,22	6,09	7,86	8,55	9,90	0,44	1,72	2,55	3,20	4,73	5,56
1,28	2,90	3,49	4,32	5,23	6,08	7,88	8,54	9,89	0,42	1,69	2,53	3,10	4,74	5,55
1,28	2,84	3,52	4,33	5,26	6,07	7,90	8,53	9,88	0,45	1,70	2,53	3,13	4,73	5,52
1,30	2,85	3,53	4,36	5,21	6,10	7,86	8,57	9,86	0,44	1,68	2,52	3,14	4,66	5,54
1,26	2,87	3,55	4,34	5,24	6,08	7,84	8,58	9,84	0,43	1,64	2,50	3,15	4,68	5,56
1,30	2,89	3,54	4,36	5,25	6,07	7,86	8,56	9,88	0,38	1,65	2,49	3,16	4,72	5,55
1,28	2,91	3,56	4,35	5,20	6,06	7,88	8,60	9,90	0,40	1,66	2,53	3,14	4,73	5,54
1,26	2,85	3,58	4,38	5,21	6,09	7,84	8,56	9,89	0,44	1,68	2,54	3,15	4,75	5,52
1,26	2,84	3,56	4,37	5,22	6,10	7,85	8,57	9,86	0,43	1,67	2,56	3,17	4,74	5,60
1,24	2,83	3,55	4,39	5,24	6,08	7,83	8,58	9,84	0,45	1,64	2,54	3,18	4,72	5,58
1,26	2,86	3,54	4,38	5,23	6,07	7,84	8,56	9,86	0,44	1,68	2,55	3,14	4,74	5,56
1,24	2,85	3,50	4,37	5,22	6,09	7,86	8,55	9,87	0,42	1,69	2,53	3,16	4,73	5,54

№ варианта									
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Доверительная ошибка (уровень значимости)									
$q =$ 0,20	$q =$ 0,10	$q =$ 0,05	$q =$ 0,02	$q =$ 0,01	$q =$ 0,20	$q =$ 0,10	$q =$ 0,05	$q =$ 0,02	$q =$ 0,01
Доверительная вероятность									
$P=$ 0,80	$P=$ 0,90	$P=$ 0,95	$P=$ 0,98	$P=$ 0,99	$P=$ 0,80	$P=$ 0,90	$P=$ 0,95	$P=$ 0,98	$P=$ 0,99
Значения результатов выборки									
14,34	22,06	36,62	45,48	58,82	63,32	77,54	85,76	94,02	102,12

14,36	22,10	36,68	45,52	58,90	63,38	77,62	85,78	94,06	102,26
14,40	22,14	36,72	45,64	58,88	63,34	77,56	85,90	94,04	102,18
14,50	22,22	36,78	45,58	58,86	63,40	77,62	85,84	94,16	102,20
14,48	22,20	36,70	45,62	58,89	63,45	77,58	85,81	94,10	102,12
14,36	22,18	36,68	45,60	58,84	63,36	77,60	85,92	94,14	102,26
14,42	22,14	36,72	45,56	58,92	63,40	77,65	85,90	94,15	102,28
14,44	22,12	36,70	45,54	58,90	63,44	77,70	85,84	94,18	102,23
14,46	22,16	36,74	45,56	58,98	63,46	77,60	85,88	94,14	102,14
14,42	22,14	36,76	45,52	58,88	63,48	77,64	85,78	94,08	102,20
14,44	22,18	36,76	45,54	58,96	63,38	77,56	85,80	94,12	102,18
14,38	22,20	36,64	45,58	58,88	63,44	77,68	85,83	94,06	102,20
14,40	22,08	36,72	45,62	58,90	63,40	77,61	85,88	94,04	102,21
14,42	22,09	36,74	45,60	58,83	63,42	77,64	85,86	94,10	102,16
14,44	22,14	36,64	45,49	58,94	63,36	77,58	85,80	94,12	102,22
14,46	22,12	36,72	45,51	58,90	63,40	77,68	85,84	94,07	102,20
14,48	22,18	36,73	45,56	58,86	63,38	77,66	85,82	94,12	102,16
14,44	22,15	36,76	45,54	58,90	63,39	77,62	85,86	94,10	102,22
14,42	22,12	36,71	45,50	58,94	63,42	77,64	85,84	94,04	102,20
14,42	22,14	36,74	45,54	58,90	63,40	77,62	85,84	94,10	102,14

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Конструкция и принцип работы миниметра.
2. Характеристика групп погрешностей изготовления.
3. Характеристики распределения случайных величин.
4. Вероятность получения значений случайной погрешности в заданных пределах.
5. Как определить вероятность получения размеров в пределах границ выборки?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.

2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.

3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 15

Выбор посадок резьбовых соединений

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером. Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и

соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei – нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

Классификация резьб: по назначению делятся на общие применяются в любых отраслях промышленности (крепежные, резьбы для преобразования движений в различных винтовых механизмах, трубные и арматурные); специальные (применяются в определенных изделиях некоторых отраслей промышленности), а также по профилю витков на треугольные, трапециидальные, упорные, прямоугольные, по числу заходов, в зависимости от направления контура осевого сечения – правые, левые резьбы, по принятой единиц измерения линейных размеров– метрические, дюймовые.

На работу резьбового соединения наибольшее влияние оказывают:

- отклонения шага;
- отклонение угла профиля;
- отклонение среднего диаметра.

Номинальные значения диаметров резьбы находятся по формулам:

$$d_2 = D_2 = d - 0,6495P, \quad d_1 = D_1 = d - 1,0825P.$$

Поля допусков для метрической резьбы приведены в ГОСТ 16093–2004.

ПРИМЕР

Дана метрическая резьба $M12 \times 1,75 - \frac{5H}{4g6g}$. Как видно из условия, для гайки поля допусков среднего D_2 и внутреннего диаметров D_1 гайки одинаковы.

1. По ГОСТ 16093–2004 находим предельные отклонения болта и гайки:

- для D_2 и D_1 : $M12 \times 1,75 - 5H$: $ES = +125$, $EI = 0$;
- для D : $M12 \times 1,75 - H$: $EI = 0$, ES – не нормируется;
- для d_2 : $M12 \times 1,75 - 4g$: $es = -34$; $ei = -129$;
- для d : $M12 \times 1,75 - 6g$: $es = -34$; $ei = -184$;
- для d_1 : $M12 \times 1,75 - g$: $es = -34$; ei – не нормируется.

2. Определяем номинальные значения диаметров:

$$d_2 = D_2 = 12 - 0,6495 \cdot 1,75 = 10,86;$$

$$d_1 = D_1 = 12 - 1,0825 \cdot 1,75 = 10,11;$$

$$d = D = 12.$$

3. Определяем предельные диаметры болта:

$$d_{2\max} = d_2 + es_{d_2} = 10,86 + (-0,034) = 10,826;$$

$$d_{2\min} = d_2 + ei_{d_2} = 10,86 + (-0,129) = 10,731;$$

$$d_{\max} = d + es_d = 12 + (-0,034) = 11,966;$$

$$d_{\min} = d + ei_d = 12 + (-0,184) = 11,816;$$

$$d_{1\max} = d_1 + es_{d_1} = 10,11 + (-0,034) = 10,076$$

Значения $d_{1\min}$ не нормируются.

4. Определяем предельные значения диаметров гайки:

$$D_{2\max} = D_2 + ES_{D_2} = 10,86 + 0,125 = 10,985;$$

$$D_{2\min} = D_2 + EI_{D_2} = 10,86 + 0 = 10,86;$$

$$D_{1\max} = D_1 + ES_{D_1} = 10,11 + 0,125 = 10,235;$$

$$D_{1\min} = D_1 + EI_{D_1} = 10,11 + 0 = 10,11;$$

$$D_{\min} = D + EI_D = 12 + 0 = 12.$$

Значение $D_{\max}$ не нормируется.

Схемы полей допусков гайки и болта показаны на рисунке 15.1.

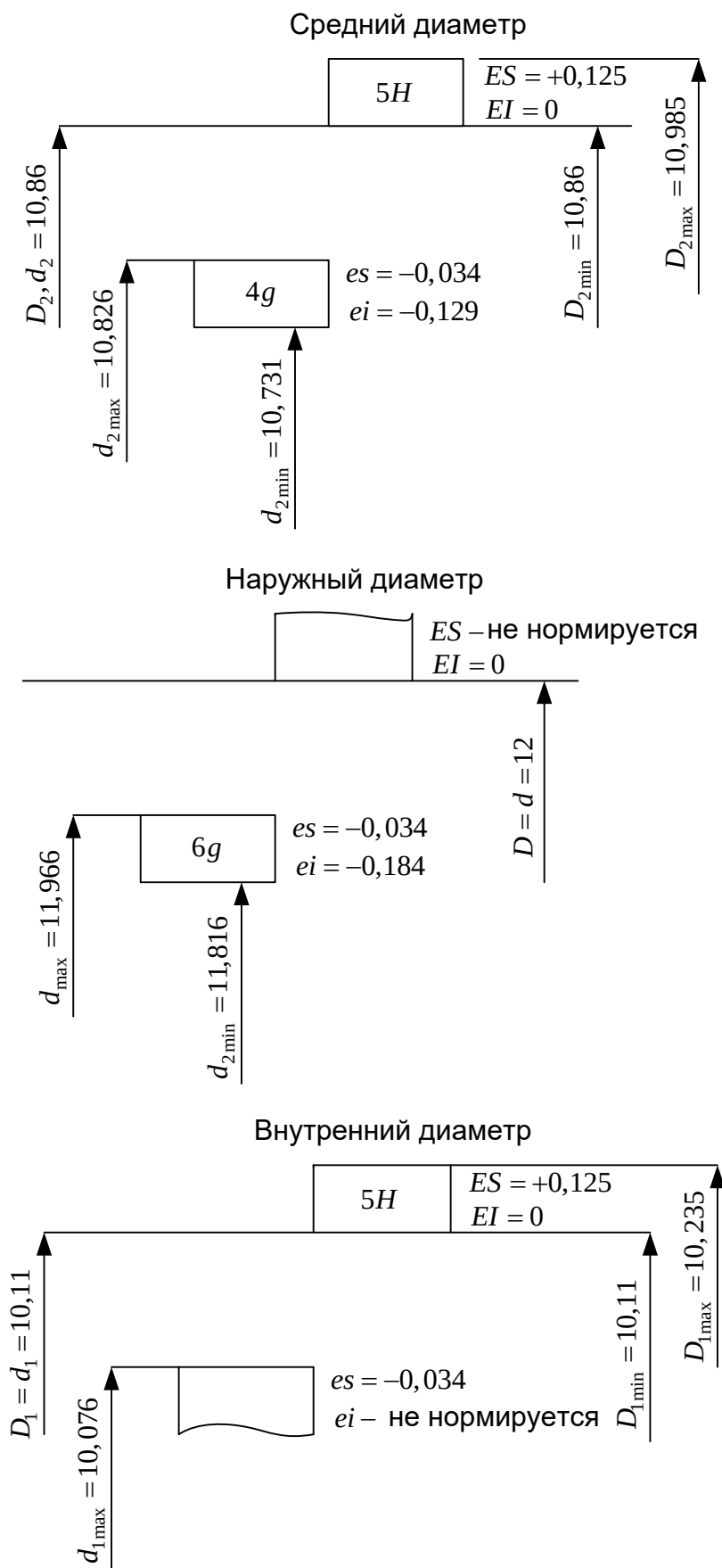


Рисунок 15.1 – Схемы полей допусков резьбовой посадки $M12 \times 1,75 - \frac{5H}{4g6g}$

ЗАДАНИЯ

Таблица 15.1– Задания для выполнения практического занятия

Вариант	Исходные данные	Вариант	Исходные данные
1	$M 5 \times 0,75 - \frac{4H}{7h6h}$	2	$M 24 \times 1,0 - \frac{6G}{8h}$
3	$M 8 \times 1,5 - \frac{4H5H}{4g}$	4	$M 36 \times 1,0 - \frac{5G}{7h6h}$
5	$M 12 \times 1,5 - \frac{5G}{4h}$	6	$M 32 \times 4,5 - \frac{5H}{6e}$
7	$M 20 \times 1,5 - \frac{6G}{5h6h}$	8	$M 24 \times 4,5 - \frac{6G}{6d}$
9	$M 30 \times 4,5 - \frac{6H}{6d}$	10	$M 36 \times 4,5 - \frac{4H}{4h}$
11	$M 42 \times 4,5 - \frac{6H}{6e}$	12	$M 48 \times 4,5 - \frac{6H}{6g}$
13	$M 42 \times 4,5 - \frac{6H}{6e}$	14	$M 64 \times 5,0 - \frac{7H}{6h}$
15	$M 16 \times 1,0 - \frac{7H}{6g}$	16	$M 30 \times 4,0 - \frac{8G}{6d}$
17	$M 30 \times 1,0 - \frac{8G}{6h}$	18	$M 36 \times 1,5 - \frac{7H}{5h6h}$
19	$M 42 \times 1,0 - \frac{7H}{7e6e}$	20	$M 36 \times 3,0 - \frac{6H}{7h6h}$
21	$M 42 \times 1,5 - \frac{6H}{7h6h} .5$	22	$M 56 \times 5,0 - \frac{6H}{7e6e}$
23	$M 56 \times 1,5 - \frac{6H}{8h}$	24	$M 20 \times 1,25 - \frac{5G}{6d}$

3 Контрольные вопросы

- 1 Область применения резьбовых соединений.
- 2 Виды резьбовых соединений.
- 3 Основные параметры резьбовых соединений.
- 4 Классификация резьб по назначению.
- 5 Классификация резьб по профилю витков.
- 6 Классификация резьб по числу заходов.
- 7 Классификация резьб в зависимости от направления контура осевого сечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 16

Решение прямой задачи размерной цепи

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером. Предельное отклонение - это

алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

Машины и механизмы состоят из множества различных деталей, взаимно связанных между собой и имеющих линейные и диаметральные размеры. Для обеспечения правильной работы любой сборочной единицы и машины в целом, взаимозаменяемости деталей и сборочных единиц, необходимо выдержать эти размеры в определенных пределах, поскольку изменение размера любой из множества деталей вызовет нарушение положения других деталей, составляющих эту сборочную единицу или машину. Вышеуказанные требования обеспечиваются за счет расчета размерных цепей, проводимых на стадии конструирования машин и проектирования технологических процессов.

Размерная цепь – это совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное расположение осей или поверхностей одной детали (поддетальная размерная цепь) или нескольких деталей (сборочная размерная цепь).

Размер служащий исходным при постановке задачи или получающийся последним в ходе ее решения называется замыкающим звеном $A\Delta$ (на чертежах не обозначается). Остальные размеры цепи называются составляющими звеньями и обозначаются A_i .

Замыкающее звено – расстояние между поверхностями или осями (зазор, натяг). Оно может быть положительным, отрицательным или равным нулю.

Составляющие звенья, с увеличением которых замыкающее звено также увеличивается, называются *увеличивающими* и обозначаются $\vec{A}_i$. Звенья, с увеличением которых A_Δ уменьшается, называют *уменьшающими* и обозначают $\tilde{A}_i$.

Если обозначить: m – общее число звеньев; $(m-1)$ – число составляющих звеньев; n – число увеличивающих звеньев; p – число уменьшающих звеньев, то в общем виде можно записать:

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^n \vec{A}_i - \sum_{i=1}^p \tilde{A}_i. \quad (16.1)$$

При решении размерных цепей различают прямую и обратную задачи.

Прямая задача – определение допусков и предельных отклонений составляющих звеньев по предельным значениям исходного звена. Это конструкторская задача.

Решение прямой задачи осуществляется двумя способами:

- способом равных допусков;
- способом допусков одного качества (равноточных допусков).

При использовании способа равных допусков полагают, что допуски всех составляющих размеров одинаковы:

$$TA_1 = TA_2 = \dots = TA_{m-1} = T_{cp} A_i. \quad (16.2)$$

ПРИМЕР

Дана размерная цепь: $A_{\Delta \max} = 20,6$ мм, $A_{\Delta \min} = 20$ мм, $TA_\Delta = 0,6$ мм (рисунок 16.1).

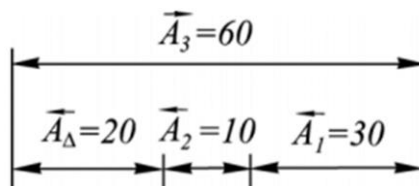


Рисунок 16.1 – Размерная цепь

Способ равных допусков.

1. Определим допуски доставляющих размеров:

$$TA_i = \frac{TA_{\Delta}}{n + p} = \frac{0,6}{3} = 0,2 \text{ мм.}$$

2. Для увеличивающих звеньев допуски назначают как для основного отверстия:

$$E_s(\vec{A}_i) = TA_i; E_i(\vec{A}_i) = 0,$$

а для уменьшающих размеров как для основного вала:

$$E_s(\tilde{A}_i) = 0; E_i(\tilde{A}_i) = -TA_i.$$

Получаем: $\vec{A}_1 = 30_{-0,2}$; $\tilde{A}_2 = 10_{-0,2}$; $\vec{A}_3 60^{+0,2}$.

Такой метод применяется, когда звенья лежат в одном интервале, что бывает весьма редко (в рассмотренном примере $A_1 = 30(18...30)$; $A_2 = 10(6...10)$; $A_3 = 60(50...80)$).

Поэтому более правомерно использовать способ одного качества точности (способ равноточных допусков).

Способ равноточных допусков.

Определим коэффициент точности, одинаковый для всех звеньев цепи:

$$a = \frac{TA_{\Delta}}{\sum_{i=1}^{m-1} i_i} = \frac{600}{i_1 + i_2 + i_3} = \frac{600}{1,31 + 0,9 + 1,86} \approx 147,$$

где $i_1 = 1,31(18...30)$; $i_2 = 0,90(6...10)$; $i_3 = 1,86(50...80)$.

Таблица 16.2 – Значения единицы допуска

Интервал размеров, мм	Значение единицы допуска, мкм
До 3	0,55
Св. 3 до 6	0,73
Св. 6 до 10	0,90
Св. 10 до 18	1,08
Св. 18 до 30	1,31
Св. 30 до 50	1,56
Св. 50 до 80	1,87
Св. 80 до 120	2,17
Св. 120 до 180	2,52
Св. 180 до 250	2,89
Св. 250 до 315	3,22
Св. 315 до 400	3,54

Ближайшее табличное значение $атабл = 160$ для IT12.

Таблица 16.3 – Безразмерный коэффициент точности

Квалитет	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число единиц допуска	2,7	3,7	5	7	10	16	25	40	64
Квалитет	11	12	13	14	15	16	17	18	
Число единиц допуска	100	160	250	400	640	1000	1600	2500	

Следовательно, допуски составляющих звеньев назначаются по 12 квалитету: $TA_1 = 0,21$ мм; $TA_2 = 0,15$ мм; $TA_3 = 0,25$ мм.

Делаем проверку:

$$TA_{\Delta} = 0,6 \neq \sum_{i=1}^{m-1} TA_i = 0,21 + 0,15 + 0,25 = 0,61.$$

Чтобы условие выполнялось, необходимо уменьшить допуск наименее ответственного размера на 0,01 (например, принимаем $TA_1 = 0,2$ мм).

Окончательный ответ: $\tilde{A}_1 = 30_{-0,2}$; $\tilde{A}_2 = 10_{-0,15}$; $\vec{A}_3 = 60^{+0,25}$.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назначение размерных цепей.
2. Порядок построения размерной цепи.
3. Основное уравнение размерной цепи.
4. Задачи, используемые при расчете размерной цепи.
5. Как определяется квалитет звеньев размерной цепи?
6. Как назначаются стандартные поля допусков звеньев размерной цепи?
7. Корректировка звеньев размерной цепи.
8. Выбор допусков и отклонений для стандартизованных деталей.

Таблица 16.4 – Задания к практической работе

№ варианта	$A_{\Delta\max}$	$A_{\Delta\min}$	TA_{Δ}	TA_1	TA_2	TA_3
1	30,4	30	0,4	15	36	81
2	5,2	5	0,2	8	22	35
3	8,3	8	0,3	10	26	44
4	10,4	10	0,4	12	24	46
5	7,3	7	0,3	14	18	39
6	11,4	11	0,4	16	20	47
7	15,6	15	0,6	22	36	73
8	16,5	16	0,5	24	32	72
9	18,6	18	0,6	26	38	82
10	20,4	20	0,4	22	34	76
11	22,5	22	0,5	28	32	82
12	24,6	24	0,6	38	42	104
13	26,5	26	0,5	30	42	98
14	28,4	28	0,4	32	46	106
15	30,4	30	0,4	34	44	108
16	16,4	16	0,4	28	34	78
17	18,6	18	0,6	34	44	96
18	20,5	20	0,5	28	42	90
19	24,8	24	0,8	34	52	110
20	12,4	12	0,4	22	36	70
21	8,4	8	0,4	18	26	52
22	10,5	10	0,5	20	34	64
23	12,5	12	0,5	22	32	66

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 17

Решение обратной задачи размерной цепи

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером. Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

Машины и механизмы состоят из множества различных деталей, взаимно связанных между собой и имеющих линейные и диаметральные размеры. Для обеспечения правильной работы любой сборочной единицы и машины в целом, взаимозаменяемости деталей и сборочных единиц, необходимо выдержать эти размеры в определенных пределах, поскольку изменение размера любой из множества деталей вызовет нарушение положения других деталей, составляющих эту сборочную единицу или машину. Вышеуказанные требования обеспечиваются за счет расчета размерных цепей, проводимых на стадии конструирования машин и проектирования технологических процессов.

Размерная цепь – это совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное расположение осей или поверхностей одной детали (поддетальная размерная цепь) или нескольких деталей (сборочная размерная цепь).

Размер служащий исходным при постановке задачи или получающийся последним в ходе ее решения называется замыкающим звеном A_Δ (на чертежах не обозначается). Остальные размеры цепи называются составляющими звеньями и обозначаются A_i .

Замыкающее звено – расстояние между поверхностями или осями (зазор, натяг). Оно может быть положительным, отрицательным или равным нулю.

Составляющие звенья, с увеличением которых замыкающее звено также увеличивается, называются *увеличивающими* и обозначаются $\vec{A}_i$. Звенья, с увеличением которых A_Δ уменьшается, называют *уменьшающими* и обозначают $\tilde{A}_i$.

Если обозначить: m – общее число звеньев; $(m-1)$ – число составляющих звеньев; n – число увеличивающих звеньев; p – число уменьшающих звеньев, то в общем виде можно записать:

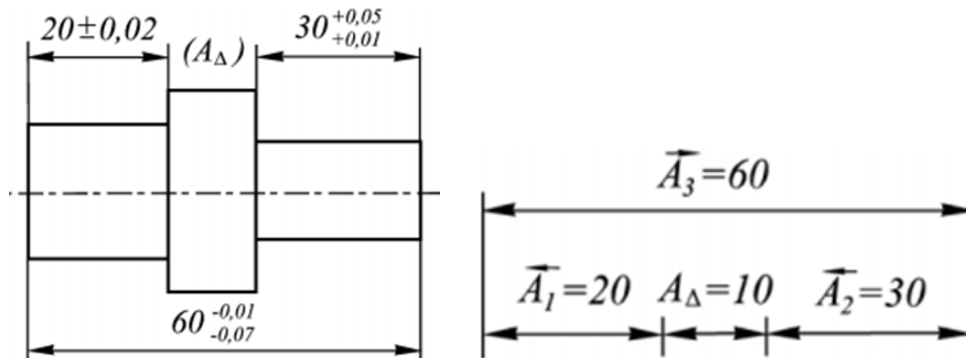
$$A_\Delta = \sum_{i=1}^n \vec{A}_i - \sum_{i=1}^p \tilde{A}_i. \quad (17.1)$$

При решении размерных цепей различают прямую и обратную задачи.

Обратная задача – определение номинального размера, предельных отклонений и допуска замыкающего звена по допускам и предельным отклонениям составляющих звеньев. Это технологическая задача. Обе задачи решают методом максимума-минимума и вероятностным методом.

ПРИМЕР

Решить обратную задачу размерной цепи, показанной на рисунке 17.1.



1. Номинальный размер замыкающего звена A_Δ :

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^n \vec{A}_i - \sum_{i=1}^p \tilde{A}_i = 60 - (20 + 30) = 10 \text{ мм.}$$

2. Допуск замыкающего звена:

$$TA_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i = 0,04 + 0,04 + 0,06 = 0,14 \text{ мм.}$$

3. Предельные отклонения замыкающего звена:

$$E_s A_\Delta = \sum_{i=1}^n E_s \vec{A}_i - \sum_{i=1}^p E_i \tilde{A}_i = -0,01 - (-0,02 + 0,01) = 0;$$

$$E_i A_\Delta = \sum_{i=1}^n E_i \vec{A}_i - \sum_{i=1}^p E_s \tilde{A}_i = -0,07 - (0,02 + 0,05) = -0,14 \text{ мм.}$$

4. Проверяем допуск замыкающего звена:

$$TA_\Delta = E_s A_\Delta - E_i A_\Delta = 0 - (-0,14) = 0,14 \text{ мм.}$$

Получаем: $A_\Delta = 10_{-0,14}$.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назначение размерных цепей.
2. Порядок построения размерной цепи.

3. Основное уравнение размерной цепи.
4. Задачи, используемые при расчете размерной цепи.
5. Как определяется квалитет звеньев размерной цепи?
6. Как назначаются стандартные поля допусков звеньев размерной цепи?
7. Корректировка звеньев размерной цепи.
8. Выбор допусков и отклонений для стандартизованных деталей.

Таблица 17.1 – Задания к практической работе

№ варианта	A_1	A_2	A_3
1	$12 \pm 0,4$	$25^{+0,26}_{+0,12}$	$54^{-0,12}_{-0,24}$
2	$12^{+0,06}$	$8 \pm 0,05$	$34^{-0,02}_{-0,08}$
3	$8 \pm 0,2$	$16^{+0,12}_{+0,02}$	$28^{-0,04}_{-0,12}$
4	$18^{+0,18}_{+0,08}$	$22 \pm 0,08$	$48^{-0,05}_{-0,18}$
5	$10 \pm 0,08$	$18^{+0,14}_{+0,06}$	$34^{-0,02}_{-0,14}$
6	$16^{+0,12}_{+0,06}$	$24 \pm 0,06$	$44^{-0,03}_{-0,12}$
7	$6 \pm 0,02$	$14^{+0,04}_{+0,01}$	$22^{-0,01}_{-0,06}$
8	$12^{+0,08}_{+0,04}$	$16 \pm 0,03$	$32^{-0,08}_{-0,14}$
9	$8 \pm 0,03$	$24^{+0,08}_{+0,01}$	$38^{-0,10}_{-0,18}$
10	$6^{+0,18}_{+0,12}$	$18 \pm 0,04$	$28^{-0,06}_{-0,12}$
11	$14 \pm 0,08$	$23^{+0,06}$	$42^{-0,02}_{-0,14}$
12	$16^{+0,14}_{+0,08}$	$14 \pm 0,05$	$36^{-0,03}_{-0,12}$
13	$18 \pm 0,1$	$28^{+0,16}_{+0,06}$	$50^{-0,02}_{-0,14}$
14	$24^{+0,15}_{+0,06}$	$18 \pm 0,04$	$52^{-0,06}_{-0,16}$
15	$22 \pm 0,12$	$38^{+0,18}_{+0,02}$	$72^{-0,16}_{-0,26}$
16	$28^{+0,16}_{+0,03}$	$28 \pm 0,06$	$64^{-0,14}_{-0,22}$
17	$24 \pm 0,1$	$26^{+0,12}_{+0,01}$	$58^{-0,04}_{-0,12}$
18	$25^{+0,18}_{+0,13}$	$24 \pm 0,03$	$56^{-0,02}_{-0,08}$
19	$32 \pm 0,4$	$36^{+0,16}_{+0,04}$	$74^{-0,04}_{-0,14}$
20	$20^{+0,08}_{+0,03}$	$32 \pm 0,04$	$56^{-0,06}_{-0,18}$
21	$12 \pm 0,2$	$26^{+0,12}_{+0,01}$	$46^{-0,04}_{-0,14}$
22	$14^{+0,18}_{+0,12}$	$22 \pm 0,03$	$42^{-0,08}_{-0,22}$

23	$10 \pm 0,3$	$34^{+0,14}_{+0,04}$	$48^{-0,10}_{-0,20}$
----	--------------	----------------------	----------------------

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

Практическая работа № 18

Вероятностный метод расчета размерных цепей

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Знания, приобретаемые студентами в результате освоения темы: основные характеристики оценки точности изделий.

Умения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: применение методик расчета точностных характеристик изделий.

Владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы: уметь пользоваться справочной литературой в области нормирования точности.

Формируемые компетенции и индикаторы: ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}.

Актуальность темы: База - это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение. Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером. Предельное отклонение - это

алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение - это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение - это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала. Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру.

Теоретическая часть

Машины и механизмы состоят из множества различных деталей, взаимно связанных между собой и имеющих линейные и диаметральные размеры. Для обеспечения правильной работы любой сборочной единицы и машины в целом, взаимозаменяемости деталей и сборочных единиц, необходимо выдержать эти размеры в определенных пределах, поскольку изменение размера любой из множества деталей вызовет нарушение положения других деталей, составляющих эту сборочную единицу или машину. Вышеуказанные требования обеспечиваются за счет расчета размерных цепей, проводимых на стадии конструирования машин и проектирования технологических процессов.

Размерная цепь – это совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное расположение осей или поверхностей одной детали (поддетальная размерная цепь) или нескольких деталей (сборочная размерная цепь).

Размер служащий исходным при постановке задачи или получающийся последним в ходе ее решения называется замыкающим звеном $A\Delta$ (на чертежах не обозначается). Остальные размеры цепи называются составляющими звеньями и обозначаются A_i .

Замыкающее звено – расстояние между поверхностями или осями (зазор, натяг). Оно может быть положительным, отрицательным или равным нулю.

Составляющие звенья, с увеличением которых замыкающее звено также увеличивается, называются *увеличивающими* и обозначаются $\vec{A}_i$. Звенья, с увеличением которых A_Δ уменьшается, называют *уменьшающими* и обозначают $\tilde{A}_i$.

Если обозначить: m – общее число звеньев; $(m-1)$ – число составляющих звеньев; n – число увеличивающих звеньев; p – число уменьшающих звеньев, то в общем виде можно записать:

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^n \vec{A}_i - \sum_{i=1}^p \tilde{A}_i. \quad (18.1)$$

При решении размерных цепей различают прямую и обратную задачи.

Вероятностный метод допускает вероятность несоблюдения требуемых зазоров или натягов у незначительной части изделий, т.е. обеспечивает неполную взаимозаменяемость, при которой эта часть изделий требует дополнительной доработки. Зато этот метод позволяет несколько расширить допуски на изготовление деталей и сборочных единиц.

ПРИМЕР

Решить обратную задачу размерной цепи вероятностным методом, показанной на рисунке 18.1.

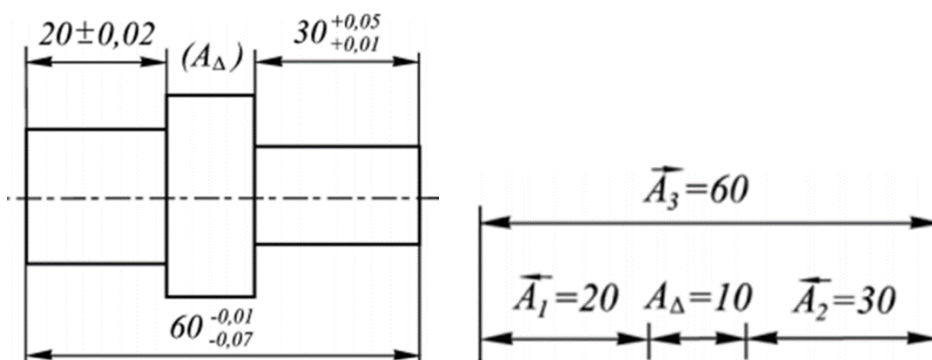


Рисунок 18.1 – Размерная цепь для решения обратной задачи

1. Номинальный размер замыкающего звена A_Δ :

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \vec{A}_i - \sum_{i=1}^p \vec{A}_i = 60 - (20 + 30) = 10 \text{ мм.}$$

2. Допуск замыкающего звена:

$$TA_{\Delta} = t \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot (TA_1^2 + TA_2^2 + TA_3^2)} = 3 \cdot \sqrt{\frac{1}{9} \cdot (40^2 + 40^2 + 60^2)} = 28 \text{ мкм,}$$

где $t=3$, $\lambda = \frac{1}{3}$ – для нормального закона распределения:

t – коэффициент риска, определяющий количество бракованных деталей;

λ – коэффициент относительного рассеяния. Зависит от принятого закона распределения размера:

- для нормального распределения (Гаусса) $\lambda^2 = 1/9$,

- для закона треугольника (Симпсона) $\lambda^2 = 1/6$,

- для закона равной вероятности $\lambda^2 = 1/3$.

3. Координаты середины поля допуска замыкающего звена:

$$C(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n C(\vec{A}_i) - \sum_{i=1}^p C(\vec{A}_i) = C(A_3) - C(A_1) - C(A_2) = \\ = -0,04 - 0 - 0,03 = -0,07.$$

4. Предельные отклонения замыкающего звена:

$$E_i A_{\Delta} = C(A_{\Delta}) - \frac{TA_{\Delta}}{2} = -0,07 - \frac{0,028}{2} = -0,084$$

$$E_s A_{\Delta} = C(A_{\Delta}) + \frac{TA_{\Delta}}{2} = -0,07 + \frac{0,028}{2} = -0,056.$$

Получаем: $A_{\Delta} = 10_{-0,084}^{-0,056}$.

Прямая задача.

Дана размерная цепь: $A_{\Delta \max} = 20,6 \text{ мм}$, $A_{\Delta \min} = 20 \text{ мм}$, $TA_{\Delta} = 0,6 \text{ мм}$ (рисунок 18.2).

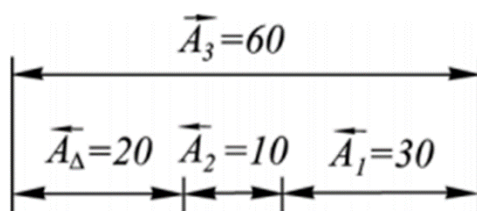


Рисунок 18.2 – Размерная цепь для решения прямой задачи

1. Определение средней точности размерной цепи:

$$a_{cp} = \frac{3 \cdot TA_{\Delta}}{t \cdot \sqrt{\lambda^2 \cdot \sum_{i=1}^{m-1} i^2}} = \frac{3 \cdot 600}{3 \cdot \sqrt{1,31^2 + 0,9^2 + 1,86^2}} = 244,9.$$

Найденное число единиц допуска находится ближе к стандартному значению $a=250$, что соответствует 13-му качеству.

Таблица 18.1 – Безразмерный коэффициент точности

Квалитет	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число единиц допуска	2,7	3,7	5	7	10	16	25	40	64
Квалитет	11	12	13	14	15	16	17	18	
Число единиц допуска	100	160	250	400	640	1000	1600	2500	

Следовательно, допуски составляющих звеньев назначаются по 12 квалитету: $TA_1 = 0,21$ мм; $TA_2 = 0,15$ мм; $TA_3 = 0,25$ мм.

2. Назначим допуски на размеры по 13 квалитету:

$TA_1 = 0,33$ мм; $TA_2 = 0,22$ мм; $TA_3 = 0,46$ мм.

3. Определение истинного процента брака:

$$t = \frac{TA_{\Delta}}{\sqrt{\lambda^2 \cdot \sum_{i=1}^{m-1} TA_i^2}} = \frac{3 \cdot 600}{\sqrt{330^2 + 220^2 + 460^2}} = 2,96, \text{ что соответствует браку менее}$$

3-х процентов.

Примем, что в данных условиях такой процент брака нас устраивает. Если же потребуется меньший процент брака, то надо будет допуски на ряд звеньев назначить по 12-му квалитету.

Таблица 18.23 – Задания к практической работе для решения обратной задачи

№ варианта	A_1	A_2	A_3
------------	-------	-------	-------

1	$12 \pm 0,4$	$25^{+0,26}_{+0,12}$	$54^{-0,12}_{-0,24}$
2	$12^{+0,06}$	$8 \pm 0,05$	$34^{-0,02}_{-0,08}$
3	$8 \pm 0,2$	$16^{+0,12}_{+0,02}$	$28^{-0,04}_{-0,12}$
4	$18^{+0,18}_{+0,08}$	$22 \pm 0,08$	$48^{-0,05}_{-0,18}$
5	$10 \pm 0,08$	$18^{+0,14}_{+0,06}$	$34^{-0,02}_{-0,14}$
6	$16^{+0,12}_{+0,06}$	$24 \pm 0,06$	$44^{-0,03}_{-0,12}$
7	$6 \pm 0,02$	$14^{+0,04}_{+0,01}$	$22^{-0,01}_{-0,06}$
8	$12^{+0,08}_{+0,04}$	$16 \pm 0,03$	$32^{-0,08}_{-0,14}$
9	$8 \pm 0,03$	$24^{+0,08}_{+0,01}$	$38^{-0,10}_{-0,18}$
10	$6^{+0,18}_{+0,12}$	$18 \pm 0,04$	$28^{-0,06}_{-0,12}$
11	$14 \pm 0,08$	$23^{+0,06}$	$42^{-0,02}_{-0,14}$
12	$16^{+0,14}_{+0,08}$	$14 \pm 0,05$	$36^{-0,03}_{-0,12}$
13	$18 \pm 0,1$	$28^{+0,16}_{+0,06}$	$50^{-0,02}_{-0,14}$
14	$24^{+0,15}_{+0,06}$	$18 \pm 0,04$	$52^{-0,06}_{-0,16}$
15	$22 \pm 0,12$	$38^{+0,18}_{+0,02}$	$72^{-0,16}_{-0,26}$
16	$28^{+0,16}_{+0,03}$	$28 \pm 0,06$	$64^{-0,14}_{-0,22}$
17	$24 \pm 0,1$	$26^{+0,12}_{+0,01}$	$58^{-0,04}_{-0,12}$
18	$25^{+0,18}_{+0,13}$	$24 \pm 0,03$	$56^{-0,02}_{-0,08}$
19	$32 \pm 0,4$	$36^{+0,16}_{+0,04}$	$74^{-0,04}_{-0,14}$
20	$20^{+0,08}_{+0,03}$	$32 \pm 0,04$	$56^{-0,06}_{-0,18}$
21	$12 \pm 0,2$	$26^{+0,12}_{+0,01}$	$46^{-0,04}_{-0,14}$
22	$14^{+0,18}_{+0,12}$	$22 \pm 0,03$	$42^{-0,08}_{-0,22}$
23	$10 \pm 0,3$	$34^{+0,14}_{+0,04}$	$48^{-0,10}_{-0,20}$

Таблица 18.3 – Задания к практической работе для решения прямой задачи

№ варианта	$A_{\Delta \max}$	$A_{\Delta \min}$	TA_{Δ}	TA_1	TA_2	TA_3
1	30,4	30	0,4	15	36	81
2	5,2	5	0,2	8	22	35
3	8,3	8	0,3	10	26	44
4	10,4	10	0,4	12	24	46
5	7,3	7	0,3	14	18	39
6	11,4	11	0,4	16	20	47
7	15,6	15	0,6	22	36	73
8	16,5	16	0,5	24	32	72
9	18,6	18	0,6	26	38	82

10	20,4	20	0,4	22	34	76
11	22,5	22	0,5	28	32	82
12	24,6	24	0,6	38	42	104
13	26,5	26	0,5	30	42	98
14	28,4	28	0,4	32	46	106
15	30,4	30	0,4	34	44	108
16	16,4	16	0,4	28	34	78
17	18,6	18	0,6	34	44	96
18	20,5	20	0,5	28	42	90
19	24,8	24	0,8	34	52	110
20	12,4	12	0,4	22	36	70
21	8,4	8	0,4	18	26	52
22	10,5	10	0,5	20	34	64
23	12,5	12	0,5	22	32	66

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назначение размерных цепей.
2. Порядок построения размерной цепи.
3. Основное уравнение размерной цепи.
4. Задачи, используемые при расчете размерной цепи.
5. Как определяется качество звеньев размерной цепи?
6. Как назначаются стандартные поля допусков звеньев размерной цепи?
7. Корректировка звеньев размерной цепи.
8. Выбор допусков и отклонений для стандартизованных деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987.-352с.
2. Допуски и посадки: Справочник/Под ред. В.Д. Мягкова. - Л.: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.- М.5 Машиностроение, 1980.-728 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по организации самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
«Нормирование точности в машиностроении»
для студентов направления подготовки
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
направленность (профиль) «Технология машиностроения»

Ставрополь 2026

Методические указания для обучающихся по аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работе носят общий характер и адресованы студентам очной и заочной) формы обучения для освоения компетенций и индикаторов:

1. ОПК-5, Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления машиностроительных изделий требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда:

- ИД-2_{ОПК-5} Оценивает состояние организации технологической операции с точки зрения достижения требуемых результатов по точности обработки деталей машин и качества их поверхностей.

2. ОПК-8. Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа:

- ИД-3_{ОПК-8} Выбирает оптимальные варианты решения проблем, связанные с машиностроительными производствами.

3. ОПК-9. Способен участвовать в разработке проектов изделий машиностроения:

- ИД-2_{ОПК-9} Участвует в организации процессов разработки и изготовления изделий машиностроительных производств.

4. ПК-3. Способен обеспечивать качество изделий средней сложности в механосборочном производстве:

- ИД-3_{ПК-3} Осуществляет контроль соблюдения технологической дисциплины.

Вопросы для собеседования

1. Назначение подшипников.
2. Преимущества и недостатки подшипников скольжения.
3. Преимущества и недостатки подшипников качения.
4. Точность присоединительных размеров d , D , B .
5. Маркировка подшипников качения.

6. Радиальное биение цилиндрических поверхностей.
7. Взаимозаменяемость подшипников качения.
8. Местное нагружение подшипников качения.
9. Циркуляционное нагружение подшипников качения.
10. Колебательное нагружение подшипников качения.
11. Классификация шлицевых соединений.
12. Назначение шлицевых соединений.
13. Шлицевые соединения с прямобочным профилем зуба.
14. Шлицевые соединения с эвольвентным профилем зуба.
15. Выбор типа шлицевых соединений.
16. Допуски и посадки шлицевых соединений.
17. Системы центрирования втулки относительно вала.
18. Центрирование по внутреннему диаметру d .
19. Центрирование по наружному диаметру D .
20. Центрирование по боковым поверхностям зубьев B .
21. Область применения резьбовых соединений.
22. Виды резьбовых соединений.
23. Классификация резьб по назначению.
24. Назначение посадок резьбовых соединений.
25. Преимущества и недостатки резьбовых соединений.
26. Назначение контрольных калибров.
27. Определение допусков формы.
28. Частные погрешности формы.
29. Графическое обозначения допусков расположения поверхностей.
30. Основное уравнение размерной цепи.

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если продемонстрированы: уверенное владение информацией в полном объеме, навыки и умения реализуются для нестандартных условий обработки.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в полном объеме; уверенное владение умениями и навыками реализуются для типовых ситуаций уверенно.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в не полном объеме; владение умениями и навыками реализуются не в полном объеме.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если теоретические знания имеются, но они разрознены и бессистемны; умения и навыки реализуются для типовых ситуаций с ошибками.

2. Описание шкалы оценивания

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80

Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: диалог преподавателя со студентом и ответ студентом на вопросы по темам дисциплины. Перед собеседованием по теме студент должен выполнить и защитить практические работы.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить компетенции ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}. Освоение компетенций на повышенном уровне предполагает изучение дополнительной научной и учебной литературы и четкие ответы на вопросы без ошибок. При освоении компетенции на базовом уровне студент изучил основную литературу, при ответе возможны 2...3 негрубые ошибки.

Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо изучить рекомендуемую литературу

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования своими конспектами лекций, методическими указаниями по дисциплине, тетрадями по практическим занятиям, справочными таблицами.

При проверке задания, оцениваются:

- степень усвоения программного материала;
- способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников;
- правильность и четкость ответов;
- правильность речи в быстром или умеренном темпе;
- умение использовать методическую, научную и техническую литературу;
- инициативность в поиске информации.

Оценочный лист

ПК	Пункты оценки	Отметка о сформированности
ИД-2 _{ОПК-5} , ИД-3 _{ОПК-8} , ИД-2 _{ОПК-9} , ИД-3 _{ПК-3}	степень усвоения программного материала	
	способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников	
	способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса	
	правильность и четкость ответов	
	правильность речи в быстром или умеренном темпе	
	умение использовать методическую, научную и техническую литературу	
	инициативность в поиске информации	

Комплект задания для контрольной работы

Тема 1. Расчет посадок гладких цилиндрических соединений

Вариант 1

1.1 Посадка с натягом: размеры соединения: $d=80$ мм, $d_1=0$, $d_2=150$ мм; $L=82$ мм; крутящий момент $M_{кр}=1200$ Нм; радиальная нагрузка $P=0$; материал вала – сталь 30; материал втулки – сталь 30.

1.2 Посадка с зазором: размеры соединения: $D=20$ мм, $L=52$; число оборотов $n=800$ мин⁻¹; радиальная нагрузка $R=0,3$ кН; шероховатость поверхности вала $R_{za}=1,25$ мкм, $R_{zb}=1,0$ мкм; тип масла - инд.20.

1.3 Переходная посадка: $\varnothing 180\text{ H7/js6}$

Задание 1 Расчет посадки с натягом

Задание 2 Расчет посадки с зазором

Задание 3 Расчет переходной посадки

Вариант 2

1.1 Посадка с натягом: размеры соединения: $d=63\text{ мм}$, $d_1=0$, $d_2=120\text{ мм}$; $L=60\text{ мм}$; крутящий момент $M_{кр}=800\text{ Нм}$; радиальная нагрузка $P=0$; материал вала – сталь 30; материал втулки – СЧ280.

1.2 Посадка с зазором: размеры соединения: $D=25\text{ мм}$, $L=48$; число оборотов $n=950\text{ мин}^{-1}$; радиальная нагрузка $R=0,4\text{ кН}$; шероховатость поверхности вала $R_{za}=2,5\text{ мкм}$, $R_{zb}=1,6\text{ мкм}$; тип масла - инд.50.

1.3 Переходная посадка: $\varnothing 140\text{ H8/m7}$

Задание 1 Расчет посадки с натягом

Задание 2 Расчет посадки с зазором

Задание 3 Расчет переходной посадки

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» Результат выполненной работы по расчету посадок гладких цилиндрических соединений является верным. Отчетный документ не содержит ошибок.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если результат выполненной работы по расчету посадок гладких цилиндрических соединений является верным. Отчетный документ содержит незначительные ошибки, влияющие на общий результат.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если результат выполненной работы по расчету посадок гладких цилиндрических соединений является неверным, но использован корректный способ решения задачи. Отчетный документ содержит определенные ошибки, не позволяющие установить качество достигнутого результата.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, Результат выполненной работы по расчету посадок гладких цилиндрических соединений является не верным. Отчетный документ содержит ошибки, влияющие на общий результат.

2. Описание шкалы оценивания

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: диалог преподавателя со студентом и ответ студентом на вопросы по темам контрольной работы.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить компетенций ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3}. Освоение компетенций на повышенном уровне предполагает изучение

дополнительной научной и учебной литературы и четкие ответы на вопросы без ошибок. При освоении компетенции на базовом уровне студент изучил основную литературу, при ответе возможны 2...3 негрубые ошибки.

При подготовке к защите контрольной работы студенту предоставляется право использования любых источников информации.

При проверке задания, оцениваются:

- последовательность выполнения и оформления;
- рациональность выполнения;
- умение использовать методическую и техническую литературу;
- правильность и четкость ответов;
- правильность расчетов;
- аккуратность оформления.
- правильность оформления графической части

Оценочный лист

ПК	Пункты оценки	Отметка о сформированности
ИД-2 _{ОПК-5} , ИД-3 _{ОПК-8} , ИД-2 _{ОПК-9} , ИД-3 _{ПК-3}	последовательность выполнения и оформления	
	рациональность выполнения	
	умение использовать методическую и техническую литературу	
	умение использовать методическую и техническую литературу	
	правильность и четкость ответов	
	правильность расчетов	
	правильность оформления графической части	

Задания для групповых творческих работ для проведения практического занятия по теме: «Определение допусков изделий из пластмасс»

Групповые творческие задания:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Рассчитать допуски изделия из пластмассы для заданной детали.
3. Сделать выводы и оформить отчет.
4. К защите работы подготовьте ответы на вопросы:
 - 4.1 Как определяется категория сложности пластмассовых деталей?
 - 4.2 Как находится технологический допуск?
 - 4.3 Как находится технологический уклон?
 - 4.4 Как определить общую погрешность пластмассовых деталей?

Задания для групповых творческих работ для проведения практического занятия по теме: «Расчет и проектирование калибров для контроля размеров гладких цилиндрических соединений»

Групповые творческие задания:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Рассчитать и спроектировать калибры для контроля размеров гладких цилиндрических соединений при заданной посадке.
3. Сделать выводы и оформить отчет.

4. К защите работы подготовьте ответы на вопросы:
- 4.1 Как проверяется годность детали при помощи предельных калибров?
- 4.2 Назначение контрольных калибров.
- 4.3 Как определяются исполнительные размеры калибров?
- 4.4 От чего зависит допуск калибра?

**Задания для групповых творческих работ
для проведения практического занятия по теме: «Выбор посадок резьбовых
соединений»**

Групповые творческие задания:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Выбрать посадку заданного резьбового соединения и рассчитать ее основные параметры. Начертить схемы полей допусков гайки и болта.
3. Сделать выводы и оформить отчет.
4. К защите работы подготовьте ответы на вопросы:
- 4.1 Область применения резьбовых соединений.
- 4.2 Виды резьбовых соединений.
- 4.3 Основные параметры резьбовых соединений.
- 4.4 Классификация резьб по назначению.

**Задания для групповых творческих работ
для проведения практического занятия по теме: «Вероятностный метод расчета
размерных цепей»**

Групповые творческие задания:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Рассчитать заданную размерную цепь при помощи прямой и обратной задач.
3. Сделать выводы и оформить отчет.
4. К защите работы подготовьте ответы на вопросы:
- 4.1 Назначение размерных цепей.
- 4.2 Порядок построения размерной цепи.
- 4.3 Основное уравнение размерной цепи.
- 4.4 Задачи, используемые при расчете размерной цепи.

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он безошибочно рассчитывает параметры точности различных поверхностей деталей.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он рассчитывает параметры точности различных поверхностей деталей с несущественными неточностями.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он не корректно рассчитывает параметры точности различных поверхностей деталей.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не рассчитывает параметры точности различных поверхностей деталей.

2. Описание шкалы оценивания

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за
---	---

	контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3} компетенции и индикаторы.

Для выполнения задания по дисциплине необходимо использовать практикум по дисциплине "Нормирование точности в машиностроении" для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль подготовки – Технология машиностроения).

При проверке задания, оцениваются:

- последовательность и рациональность выполнения;
- точность расчетов;
- умение использовать методическую и техническую литературу;
- аккуратность оформления.

При защите работы оцениваются:

- четкость и выразительность изложения доклада;
- умение применять теоретические знания основной и дополнительной литературы;
- правильность ответов на вопросы;
- связь проекта с производственным опытом;
- инициативность в поиске информации.

Оценочный лист

ПК	Пункты оценки	Отметка о сформированности
ИД-2 _{ОПК-5} , ИД-3 _{ОПК-8} , ИД-2 _{ОПК-9} , ИД-3 _{ПК-3}	последовательность и рациональность выполнения	
	точность расчетов	
	умение использовать методическую и техническую литературу	
	аккуратность оформления	
	четкость и выразительность изложения доклада	
	умение применять теоретические знания основной и дополнительной литературы	
	правильность ответов на вопросы	
	связь проекта с производственным опытом	
	инициативность в поиске информации	

Тесты

Паспорт фонда тестовых заданий

№ п/ п	Проверяемые темы дисциплины	Проверяемые компетенции	Тип теста*			
			зф ¹	оф ²	ус ³	пп ⁴
1	Основные понятия о размерах, отклонениях и посадках. Нормирование точности размеров деталей гладких цилиндрических соединений	ИД-2ОПК-5, ИД-3ОПК-8, ИД-2ОПК-9, ИД-3ПК-3	18	2	3	2
2	Нормирование шероховатости поверхности, точности формы и расположения поверхностей.	ИД-2ОПК-5, ИД-3ОПК-8, ИД-2ОПК-9, ИД-3ПК-3	12	2	2	
3	Нормирование точности подшипников качения	ИД-2ОПК-5, ИД-3ОПК-8, ИД-2ОПК-9, ИД-3ПК-3	11	2		1
4	Нормирование точности шпоночных соединений.	ИД-2ОПК-5, ИД-3ОПК-8, ИД-2ОПК-9, ИД-3ПК-3	11		1	
5	Нормирование точности шлицевых соединений	ИД-2ОПК-5, ИД-3ОПК-8, ИД-2ОПК-9, ИД-3ПК-3	8			
6	Нормирование точности размеров деталей резьбовых соединений.	ИД-2ОПК-5, ИД-3ОПК-8, ИД-2ОПК-9, ИД-3ПК-3	14	1	1	
7	Нормирование точности цилиндрических зубчатых колёс и передач.	ИД-2ОПК-5, ИД-3ОПК-8, ИД-2ОПК-9, ИД-3ПК-3	20		3	1
8	Размерные цепи.	ИД-2ОПК-5, ИД-3ОПК-8, ИД-2ОПК-9, ИД-3ПК-3	14	1		1
	Всего		108	8	10	5

* отметить тип теста «+»

¹ задания закрытой формы (с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенного набора вариантов);

² задания открытой формы (ответ формулируется самостоятельно);

³ задания на установление соответствия (с установлением правильного соответствия между элементами двух представленных множеств);

⁴ задания на установление правильной последовательности (с указанием правильного порядка перечисленного набора элементов).

Тема 1. Основные понятия о размерах, отклонениях и посадках. Нормирование точности размеров деталей гладких цилиндрических соединений

I:

S Чему равно верхнее отклонение: $\varnothing 50_{-0,22}^?$

+ 0

- +0,22

- -0,22

- 50

I:

S Чему равно нижнее отклонение: $\varnothing 80^{+0,19}_?$

+ 0

- -0,19

- +0,19

- 80

I:

S Чему равен допуск размера $\varnothing 80^{+0,19}_{+0,02}$?

- 80

+ 0,170

- 0,210

- 0,105

I:

S Чему равны значения предельных натягов для посадки: $ES=+0,10$; $EI=0$; $es=+0,25$; $ei=+0,15$?

- 0,10; 0,25

+ 0,05; 0,25

- 0,15; 0,25

- 0,05; 0,35

I:

S Чему равны значения предельных зазоров для посадки: $ES=+0,10$; $EI=0$; $es= -0,10$; $ei= -0,25$?

- 0,10; 0,25

- 0,20; 0,35

+ 0,10; 0,35

- 0,15; 0,25

I:

S Чему равен допуск посадки: $ES=+0,10$; $EI=0$; $es=+0,25$; $ei=+0,15$?

- 0,15

- 0,25

+ 0,20

- 0,30

I:

S Чему равен допуск посадки: $ES=+0,10$; $EI=0$;
 $es=-0,10$; $ei=-0,25$?

- 0,15
- 0,20
- 0,30
- + 0,25

I:

S Чему равно значение предельного натяга для посадки: $ES=+0,10$; $EI=0$;
 $es=+0,05$; $ei=-0,05$?

- 0,10
- 0,15
- 0
- + 0,05

I:

S Чему равно значение предельного зазора для посадки: $ES=+0,10$; $EI=0$;
 $es=+0,05$; $ei=-0,05$?

- + 0,15
- 0,10
- 0
- 0,05

I:

S Чему равны значения предельных натягов для посадки: $ES=+0,15$; $EI=0$;
 $es=+0,35$; $Td=0,10$?

- + 0,10; 0,35
- 0,15; 0,35
- 0,05; 0,35
- 0,10; 0,30

I:

S Чему равны значения предельных зазоров для посадки: $ES=+0,15$; $EI=0$;
 $Td=0,15$; $ei=-0,30$?

- 0,10; 0,35
- + 0,15; 0,45
- 0,15; 0,35
- 0,10; 0,45

I:

S Чему равно значение предельного натяга для посадки: $TD=0,20$; $EI=0$; $es=+0,10$; $ei=-0,05$?

- 0,05
- + 0,10
- 0,15
- 0,20

I:

S Чему равно значение предельного зазора для посадки: $TD=0,20$; $EI=0$; $es=+0,10$; $ei=-0,05$?

- 0,20
- 0,10
- + 0,25
- 0,15

I:

S Чему равны неизвестные предельные отклонения посадки с зазором, если известно, что $S_{\max}=0,35$; $S_{\min}=0,15$; $ei=-0,35$; $TD=Td$?

- $ES=0,10$; $EI=-0,10$; $es=-0,15$
- $ES=0$; $EI=-0,05$; $es=-0,20$
- + $ES=0$; $EI=-0,10$; $es=-0,25$
- $ES=0$; $EI=-0,20$; $es=-0,30$

I:

S Чему равны неизвестные предельные отклонения посадки с натягом, если известно, что $N_{\max}=0,40$; $N_{\min}=0,10$; $ei=+0,25$; $TD=Td$?

- $ES=0,25$; $EI=0$; $es=+0,50$
- $ES=0,10$; $EI=0$; $es=+0,45$
- $ES=0,25$; $EI=0,10$; $es=+0,50$
- + $ES=0,15$; $EI=0$; $es=+0,40$

I:

S Чему равны неизвестные предельные отклонения посадки с зазором, если известно, что $S_{\max}=0,45$; $S_{\min}=0,10$; $ei=-0,45$; $TD=Td-0,05$?

- $ES=0,05$; $EI=-0,25$; $es=-0,30$
- $ES=0$; $EI=-0,20$; $es=-0,35$
- $ES=0,10$; $EI=-0,25$; $es=-0,35$
- + $ES=0$; $EI=-0,15$; $es=-0,25$

I:

S Чему равны неизвестные предельные отклонения посадки с натягом, если известно, что $N_{\max}=0,50$; $N_{\min}=0,20$; $ei=+0,20$; $TD-0,10=Td$?

- + $ES=0$; $EI=-0,20$; $es=+0,30$
- $ES=0,10$; $EI=-0,25$; $es=+0,40$
- $ES=0$; $EI=-0,30$; $es=+0,35$
- $ES=0,05$; $EI=-0,20$; $es=+0,50$

I:

S Чему равен допуск посадки: $ES=+0,10$; $EI=0$; $es=+0,05$; $ei=-0,05$?

- + $0,20$
- $0,15$
- $0,25$
- $0,30$

I:

S Для каких посадок назначается основное отклонение «A»?

- с гарантированным натягом
- + с гарантированным зазором
- с более вероятным натягом
- с более вероятным зазором

I:

S Для каких посадок назначается основное отклонение «S»?

- с гарантированным зазором
- + с гарантированным натягом
- с более вероятным натягом
- с более вероятным зазором

I:

S Какие посадки являются предпочтительными?

- в системе вала
- с натягом
- + в системе отверстия
- переходные

Тема 2. Нормирование шероховатости поверхности, точности формы и расположения поверхностей

I:

S Что из перечисленного не относится к геометрическим показателям?

+ остаточные напряжения

- шероховатость

- форма

- размеры

I:

S Что из перечисленного не является причиной образования шероховатости?

+ вид обработки

- пластические деформации при обработке

- трение заготовки и инструмента

- вибрации в системе резания

I:

S По какой формуле определяется среднее арифметическое отклонение профиля?

$$- Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$+ Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

$$- Ra = \frac{\sum_{i=1}^5 (H_{\max i}) + \sum_{i=1}^5 (H_{\min i})}{5}$$

$$- Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}$$

I:

S По какой формуле определяется высота неровностей профиля по десяти точкам?

$$- Rz = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$+ Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 (H_{\max i}) + \sum_{i=1}^5 (H_{\min i})}{5}$$

$$- R_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

$$- R_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}$$

I:

S По какой формуле определяется средний шаг неровностей профиля?

$$- S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi} (n-1)$$

$$- S_m = \frac{\sum_{i=1}^5 (S_{\max i}) + \sum_{i=1}^5 (S_{\min i})}{5}$$

$$+ S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}$$

$$- S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |S_{mi}|$$

I:

S По какой формуле определяется средний шаг местных выступов профиля?

$$- S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |S_i|$$

$$- S = \frac{\sum_{i=1}^n (S_{\max i}) + \sum_{i=1}^n (S_{\min i})}{n}$$

$$+ S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$$

$$- S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i (n-1)$$

I:

S По какой формуле определяется относительная опорная длина профиля?

$$- t_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |t_i|$$

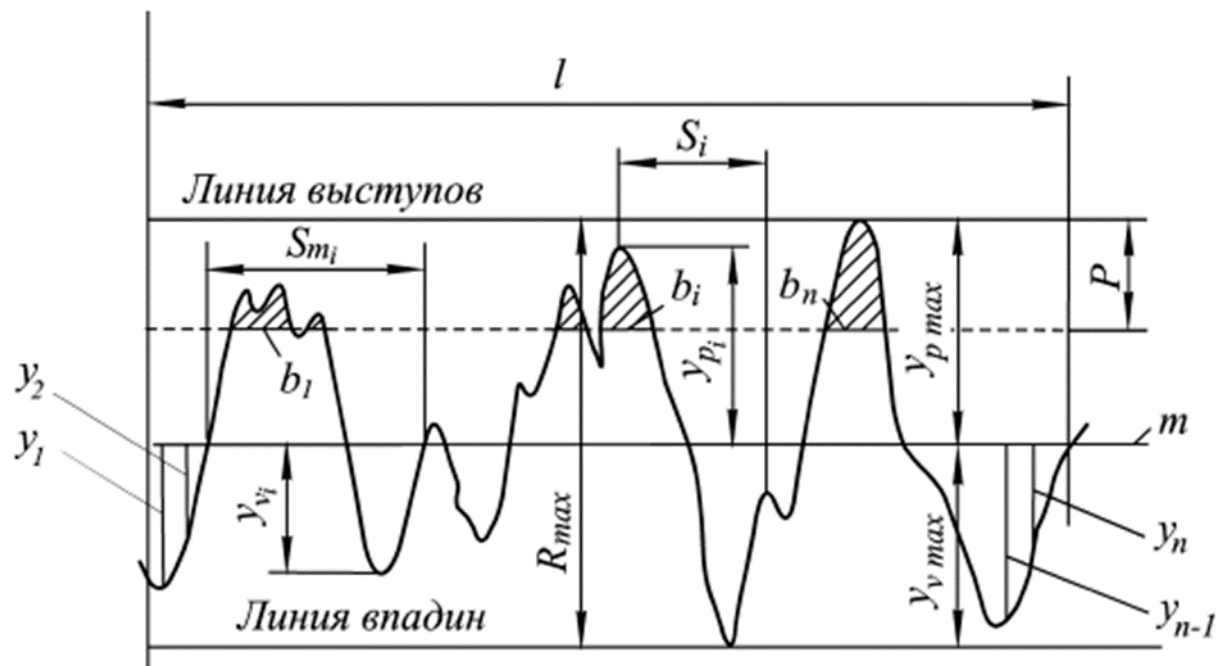
$$- t_p = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{\max i}) + \sum_{i=1}^n (t_{\min i})}{n}$$

$$- t_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i (n-1)$$

$$+ t_p = \frac{\eta_p}{l} 100\%$$

I:

S Что на профилограмме к определению основных параметров шероховатости поверхности обозначается буквой «у»?



- наибольшие выступы профиля в пределах базовой длины
- средние значения шагов местных выступов профиля
- относительные опорные длины профиля
- + абсолютные значения отклонений профиля

I:

S Что на профилограмме к определению основных параметров шероховатости поверхности обозначается S_{mi} ?

- + шаг местных выступов профиля
- шаг неровностей
- средний шаг местных выступов профиля
- средний шаг неровностей профиля

I:

S Для определения чего находится сумма длин отрезков b_i в пределах

базовой длины: $\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i$?

- шага местных выступов профиля
- + относительной опорной длины профиля
- среднего шага неровностей профиля
- высоты неровностей профиля

I:

S Из какого ряда выбирают значение уровня сечения профиля R?

- в % от l
- + в % от $R_{\max}$
- в % от $y_{p\max}$
- в % от R_a

I:

S Из какого ряда выбирают значение относительной опорной длины профиля t_p ?

- в % от $R_{\max}$
- в % от
- + в % от l
- в % от R_a

I:

S В каких единицах назначается шероховатость поверхности?

- микрометрах
- нанометрах
- + миллиметрах
- ангстремах

I:

S В каком ответе указана относительная опорная длина профиля $t_p=70\%$ при уровне сечения профиля $P=50\%$?

- t_{70}^{50}
- t_{50-70}
- $t \frac{50}{70}$
- + t_{50}^{70}

I:

S Какой из параметров шероховатости не рекомендуется назначать для поверхностей деталей, работающих в условиях трения качения или скольжения?

- Ra
- Rz
- t_p
- + Sm

I:

S Какой из параметров шероховатости не рекомендуется назначать для поверхностей деталей, работающих при циклических нагрузках?

- + Ra
- R_{max}
- Sm

- S

I:

S Какой из параметров шероховатости не рекомендуется назначать для поверхностей деталей, испытывающих контактные напряжения?

+ Rmax

- Ra

- Rz

- Sm

I:

S Что не учитывают при назначении шероховатости для ответственных поверхностей деталей?

- техническую эстетику

+ эксплуатационное назначение

- коррозионную стойкость

- технологию изготовления

I:

S Оптимальная шероховатость – шероховатость, соответствующая

- минимальному нагреву

+ минимальному износу

- минимальной коррозии

- максимальной прочности

I:

S Если $S_w/W_r < 40$ (где W_r - среднее арифметическое значение из пяти высот волнистости, S_w - средний шаг волнистости), то отклонение относится к

.....

- волнистости

- отклонению формы
- + шероховатости
- отклонению взаимного расположения поверхностей

I:

S Если $1000 \geq S_w/W_r \geq 40$ (где W_r - среднее арифметическое значение из пяти высот волнистости, S_w - средний шаг волнистости), то отклонение относится к

- отклонению формы
- шероховатости
- + волнистости
- отклонению взаимного расположения поверхностей

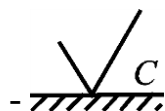
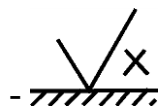
I:

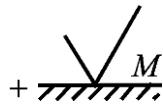
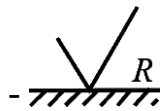
S Если $S_w/W_r > 1000$ (где W_r - среднее арифметическое значение из пяти высот волнистости, S_w - средний шаг волнистости), то отклонение относится к

- шероховатости
- волнистости
- отклонению взаимного расположения поверхностей
- + отклонению формы

I:

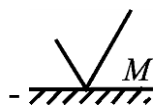
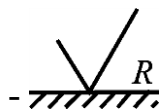
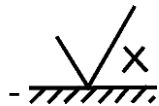
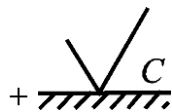
S Какое из представленных обозначений направления неровностей соответствует их произвольному направлению?





I:

S Какое из представленных обозначений направления неровностей соответствует их кругообразному направлению?



Тема 3. Нормирование точности подшипников качения

I:

S По каким поверхностям подшипников качения допускается неполная взаимозаменяемость?

- + между телами качения и кольцами
- по наружному диаметру D наружного кольца
- по внутреннему диаметру d внутреннего кольца
- по торцовым поверхностям

I:

S Как называется изделие, служащее для поддержания различных деталей, вращающихся на осях или валах?

- + подшипник

- втулка
- муфта
- маховик

I:

S Что не относится к основным показателям точности подшипников?

- точность присоединительных размеров
- + отклонение от перпендикулярности торцовых и цилиндрических поверхностей
- отклонение от круглости цилиндрических поверхностей
- радиальное биение цилиндрических поверхностей

I:

S Какой из перечисленных классов точности применяется только для шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников?

- 6X
- + T
- 4
- 2

I:

S Какой из перечисленных классов точности применяется только для роликовых конических подшипников?

- T
- 4
- + 6X
- 2

I:

S Какое из приведенных обозначений подшипника качения является правильным?

- 6/205

- $\frac{6}{205}$

+ 6-205

- 6(205)

I:

S Чему будет равен внутренний диаметр подшипника 6-205?

- 20

- 5

- 205

+ 25

I:

S Сопряжение подшипников с деталями осуществляются.....

- по наружному кольцу - в системе отверстия; по внутреннему кольцу - в системе вала

- по наружному кольцу - внесистемно; по внутреннему кольцу - в системе отверстия

по наружному кольцу - в системе вала; по внутреннему кольцу - внесистемно

+ по наружному кольцу - в системе вала; по внутреннему кольцу - в системе отверстия

I:

S Для достижения требуемого сопряжения с подшипником качения осуществляется.....

+ обработка отверстия и вала с учетом нужной посадки

- обработка наружного и внутреннего диаметров подшипника

- обработка наружного диаметра подшипника и отверстия
- обработка внутреннего диаметра подшипника и вала

I:

S Какое поле допуска вала не применяется для посадок подшипников качения?

- + p
- k
- m
- n

I:

S Какая посадка является предпочтительной при сопряжении вала и внутреннего кольца подшипника качения?

- с небольшим гарантированным зазором
- + с небольшим гарантированным натягом
- с равновероятными зазорами или натягами
- любая из перечисленных

I:

S Какая схема наиболее распространена при работе подшипников качения?

- вращаются внутреннее кольцо с валом, а также наружное кольцо и корпус
- + вращаются внутреннее кольцо с валом, а наружное кольцо и корпус неподвижны
- вращаются наружное кольцо и корпус, а внутреннее кольцо с валом неподвижны
- внутреннее кольцо с валом, а также наружное кольцо и корпус неподвижны

I:

S Какая из посадок соответствует подшипнику 0 класса точности?

- H6/k5
- H5/m4
- + H7/js6
- H8/u8

I:

S Какая из посадок соответствует подшипнику 5 класса точности?

- H5/m4
- H7/js6
- + H6/k5
- H8/u8

I:

S Какая из посадок соответствует подшипнику 2 класса точности?

- H7/js6
- H6/k5
- H8/u8
- + H5/m4

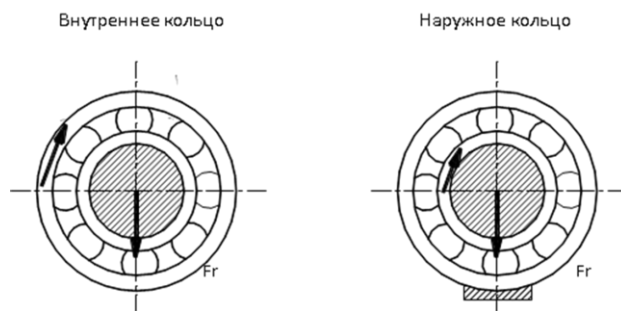
I:

S Что из перечисленного не относится к критериям выбора посадки подшипника?

- тип подшипника
- размер подшипника
- условия эксплуатации подшипника
- + коррозионностойкость подшипника

I:

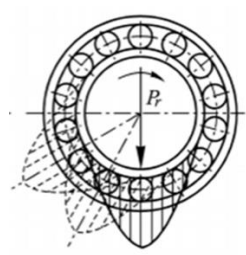
S Какому виду нагружения подшипника соответствует приведенный рисунок?



- + местное
- циркуляционное
- колебательное
- комбинированное

I:

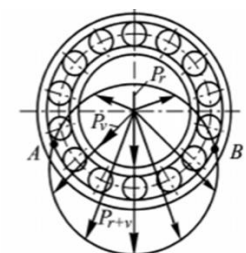
S Какому виду нагружения подшипника соответствует приведенный рисунок?



- + циркуляционное
- колебательное
- комбинированное
- местное

I:

S Какому виду нагружения подшипника соответствует приведенный рисунок?



- циркуляционное
- + колебательное
- комбинированное
- местное

Тема 4. Нормирование точности шпоночных соединений

I:

S По каким посадкам, в основном, выполняют шпоночные соединения?

- + переходным
- с натягом
- с зазором
- по всем перечисленным

I:

S Что оказывает наибольшее влияние на работоспособность шпоночных соединений?

- + точность посадок по ширине шпонки
- точность посадок по длине шпонки
- точность посадок по высоте шпонки
- рациональный выбор материала

I:

S Какой размер используют для обозначения шпоночных пазов втулок на чертежах?

- h
- + $d + t_2$
- $d - t_1$
- t_1

I:

S Какой размер является предпочтительным для обозначения шпоночных пазов валов на чертежах?

- h
- + t_1
- $d + t_2$
- $d - t_1$

I:

S Что гарантирует собираемость шпоночного соединения?

- конструкция соединения
- пригоночные операции
- + стандартная посадка
- материал шпонки

I:

S В какой системе получают посадку по высоте призматических шпонок?

- отверстия
- внесистемной
- + вала
- по любой

I:

S В какой системе получают посадку по длине призматических шпонок?

- отверстия
- внесистемной
- по любой
- + вала

I:

S В какой системе получают посадку по длине пазов призматических шпонок?

- внесистемной
- по любой
- вала
- + отверстия

I:

S В какой системе получают посадку по диаметру сегментных шпонок?

- + вала
- внесистемной
- по любой
- отверстия

I:

S Какой вариант соединения по ширине призматических шпонок не используется?

- + стандартное
- свободное
- нормальное
- плотное

I:

S Какой вид шпоночного соединения является наиболее распространенным?

- стандартное
- + нормальное
- свободное
- плотное

I:

S Какое шпоночное соединение применяется, если шпонка является направляющей на валу?

- стандартное
- + свободное
- нормальное
- плотное

I:

S Какое шпоночное соединение применяется при объемной термообработке сопрягаемых деталей?

- стандартное
- нормальное
- + свободное
- плотное

I:

S Какой вид шпоночного соединения создается при использовании посадки H9/h9?

- стандартное
- нормальное
- + свободное
- плотное

I:

S Какой вид шпоночного соединения создается при использовании посадки N9/h9?

- стандартное
- свободное
- плотное
- + нормальное

I:

S Какой вид шпоночного соединения создается при использовании посадки P9/h9?

- стандартное
- свободное
- нормальное
- + плотное

Тема 5. Нормирование точности шлицевых соединений

I:

S Какие шлицевые соединения по форме шлицевых поверхностей не используются?

- + призматические
- прямобоочные
- эвольвентные
- треугольные

I:

S Какие шлицевые соединения по условиям нагружения не используются?

- + нормальные
- тяжелые
- средние
- легкие

I:

S Какие шлицевые соединения из перечисленных являются наиболее распространенными?

- призматические
- + прямобоочные

- треугольные
- трапециидальные

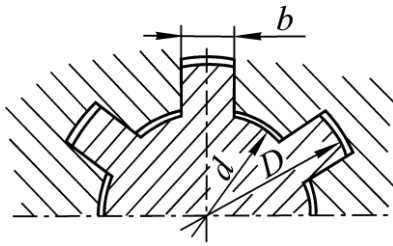
I:

S Какой способ центрирования шлицевых соединений не применяется?

- по внутреннему диаметру
- + по шагу шлицев
- по наружному диаметру
- по боковым поверхностям

I:

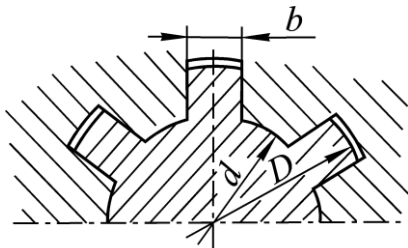
S Какой способ центрирования шлицевых соединений показан на рисунке?



- по внутреннему диаметру
- по шагу шлицев
- + по боковым поверхностям
- по наружному диаметру

I:

S Какой способ центрирования шлицевых соединений показан на рисунке?

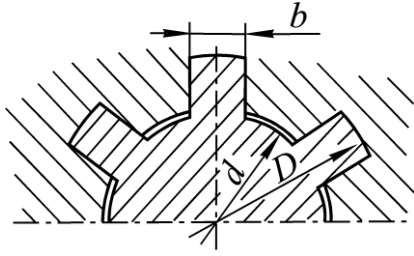


- по шагу шлицев
- по боковым поверхностям
- + по внутреннему диаметру

- по наружному диаметру

I:

S Какой способ центрирования шлицевых соединений показан на рисунке?



- по шагу шлицев

- по боковым поверхностям

- по внутреннему диаметру

+ по наружному диаметру

I:

S Какой метод центрирования шлицевых соединений самый простой и дешевый?

- по шагу шлицев

- по внутреннему диаметру

- по наружному диаметру

+ по боковым поверхностям

I:

S Какой метод центрирования шлицевых соединений применяется при невысоких требованиях к соосности сопрягаемых деталей?

+ по боковым поверхностям

- по шагу шлицев

- по внутреннему диаметру

- по наружному диаметру

I:

S Какой метод центрирования шлицевых соединений применяется, когда необходимо обеспечить высокую точность центрирования и втулка не проходит термообработку, так как она изготавливается протягиванием?

- + по наружному диаметру
- по боковым поверхностям
- по шагу шлицев
- по внутреннему диаметру

I:

S Какой метод центрирования шлицевых соединений применяется, когда необходимо обеспечить высокую точность центрирования и втулка имеет высокую твердость?

- по наружному диаметру
- + по внутреннему диаметру
- по боковым поверхностям
- по шагу шлицев

I:

S Какой метод центрирования шлицевых соединений имеет самую высокую точность центрирования?

- по наружному диаметру
- + по внутреннему диаметру
- по боковым поверхностям
- по шагу шлицев

I:

S Какой метод центрирования шлицевых соединений имеет самую высокую стоимость изготовления?

- по наружному диаметру
- по боковым поверхностям

- + по внутреннему диаметру
- по шагу шлицев

I:

S Какой метод центрирования шлицевых соединений дает наиболее равномерное распределение сил между зубьями?

- по наружному диаметру
- по внутреннему диаметру
- + по боковым поверхностям
- по шагу шлицев

I:

S Какой метод центрирования шлицевых соединений применяется при передаче больших крутящих моментов и знакопеременных нагрузках?

- по наружному диаметру
- по внутреннему диаметру
- по шагу шлицев
- + по боковым поверхностям

I:

S Какой метод центрирования шлицевых соединений применяется, когда требуются минимальные зазоры между боковыми поверхностями зубьев и впадин?

- по наружному диаметру
- по внутреннему диаметру
- по шагу шлицев
- + по боковым поверхностям

I:

S Какая из перечисленных посадок используется для сопряжения по центрирующему диаметру (по d или D)?

- + H7/f7
- F8/f7
- D9/e8
- F10/f8

I:

S Какой метод центрирования эвольвентных шлицевых соединений не рекомендуется?

- + по внутреннему диаметру
- по наружному диаметру
- по шагу шлицев
- по боковым поверхностям

I:

S В какой системе установлены посадки по боковым поверхностям зубьев для эвольвентных шлицевых соединений?

- вала
- + отверстия
- внесистемные
- любой

I:

S Какой вид шлицевого соединения обозначается следующим образом:

$$50 \times \frac{H7}{g6} \times 2?$$

- прямобочного
- + эвольвентного
- треугольного
- трапециидального

I:

S Какой вид шлицевого соединения обозначается следующим образом:

$$d - 8 \times 32 \frac{H7}{f7} \times 36 \frac{H12}{a11} \times 6 \frac{D9}{h9}?$$

- эвольвентного
- треугольного
- + прямобочного
- трапециидального

I:

S При каком виде центрирования эвольвентного шлицевого соединения используется следующее условное обозначение: $50 \times \frac{H7}{g6} \times 2$?

- по внутреннему диаметру
- по боковым поверхностям
- + по наружному диаметру
- по шагу шлицев

I:

S При каком виде центрирования эвольвентного шлицевого соединения используется следующее условное обозначение: $50 \times 2 \times \frac{9H}{9g}$?

- по внутреннему диаметру
- по наружному диаметру
- по шагу шлицев
- + по боковым поверхностям

Тема 6. Нормирование точности размеров деталей резьбовых соединений

I:

S Что не относится к основным элементам метрической резьбы?

- + профиль резьбы

- средний диаметр
- внутренний диаметр
- шаг резьбы

I:

S От чего не зависит свинчиваемость резьб?

- + внутреннего диаметра
- среднего диаметра
- шага резьбы
- угла профиля

I:

S Изменением чего можно компенсировать погрешности шага и угла профиля резьбы на длине свинчивания?

- внутреннего диаметра
- + среднего диаметра
- наружного диаметра
- длины свинчивания

I:

S Для каких резьб в обозначении можно не указывать ее шаг?

- с мелким шагом
- + с крупным шагом
- со специальным шагом
- с переменным шагом

I:

S Какие погрешности шага резьбы обычно превышают погрешности других видов?

- периодически повторяющиеся

- аддитивные
- + прогрессивно возрастающие
- затухающие

I:

S Что является основным параметром, определяющим точность и характер резьбового соединения?

- внутренний диаметр
- наружный диаметр
- + средний диаметр
- шаг резьбы

I:

S Какие посадки резьбовых соединений являются наиболее распространенными?

- с натягом
- переходные
- все широко применяются
- + с зазором

I:

S Какая длина свинчивания резьбового соединения обозначается буквой «S»?

- нормальная
- большая
- стандартная
- + малая

I:

S В каком случае применяются резьбовые соединения с натягом?

- + когда необходимо устранить возможность самоотвинчивания

- когда соединение работает при высокой температуре
- когда необходима быстрая и легкая свинчиваемость детали
- когда требуется повышенная циклическая прочность

I:

S Какие размеры резьбового соединения не нормируются?

- + наружный диаметр гайки
- внутренний диаметр гайки
- наружный диаметр болта
- шаг резьбы

I:

S Какие размеры резьбового соединения не нормируются?

- внутренний диаметр гайки
- + внутренний диаметр болта
- наружный диаметр болта
- шаг резьбы

I:

S Как правильно читается приведенное обозначение резьбового соединения M24×3(P1)?

- резьба метрическая, левая, трехзаходная (ход 3 мм), с шагом 1 мм
- + резьба метрическая, трехзаходная, с шагом 1 мм
- резьба метрическая, левая, однозаходная, с шагом 3 мм
- резьба метрическая, однозаходная, с шагом 3 мм

I:

S Как правильно читается приведенное обозначение резьбового соединения M24×3(P1)LH?

- резьба метрическая, трехзаходная, с шагом 1 мм

- резьба метрическая, левая, однозаходная (ход 3 мм), с шагом 3 мм
- + резьба метрическая, левая, трехзаходная (ход 3 мм), с шагом 1 мм
- резьба метрическая, однозаходная, с шагом 3 мм

I:

S Что показывает цифра 6 в обозначении основного отклонения болта: 6h?

- качество точности
- относительную точность
- + степень точности
- разряд точности

I:

S Какая резьба обеспечивает наиболее точное перемещение при наименьшем трении?

- метрическая
- круглая
- упорная
- + трапецеидальная

I:

S Какая резьба обеспечивает плавность вращения и высокую нагрузочную способность?

- метрическая
- круглая
- трапецеидальная
- + упорная

I:

S По каким посадкам соединяются детали кинематических резьб?

- + с зазором

- с натягом
- переходным
- любым

I:

S Что из перечисленного не относится к недостаткам прямоугольной резьбы?

- + низкая точность
- сложность изготовления
- низкая прочность
- низкая износостойкость

I:

S В какой системе выполняются посадки трапецеидальной резьбы?

- вала
- + отверстия
- внесистемные
- любой

I:

S Для какой резьбы AZ является основным отклонением для среднего внутреннего диаметра?

- трапецеидальной
- + упорной
- метрической
- круглой

Тема 7. Нормирование точности цилиндрических зубчатых колёс и передач

I:

S Чем характеризуются отсчетные зубчатые передачи?

- + малым модулем
- плавностью работы

- отсутствием вибраций
- большой длиной зуба

I:

S Чем характеризуются силовые зубчатые передачи?

- + большой длиной зуба
- малым модулем
- плавностью работы
- отсутствием вибраций

I:

S Чем характеризуются скоростные зубчатые передачи?

- большой длиной зуба
- + плавностью работы
- малым модулем
- передачей незначительных нагрузок

I:

S Какая группа параметров точности не относится к зубчатым передачам?

- обеспечивающие кинематическую точность
- + обеспечивающие постоянство модуля
- обеспечивающие плавность работы
- обеспечивающие контакт зубьев

I:

S Что в обозначение зубчатых зацеплений показывается римскими цифрами?

- вид сопряжения
- суммарное пятно контакта
- + класс отклонений межосевого расстояния
- норма плавности зубчатого колеса

I:

S Что не влияет на размеры пятна контакта зубчатого зацепления?

- погрешности направления зуба
- непараллельность осей
- + боковой зазор
- перекос осей

I:

S Какой вид сопряжения в зубчатой передаче гарантирует наибольший боковой зазор?

- B
- C
- D
- + A

I:

S Какой вид сопряжения в зубчатой передаче может иметь нулевой боковой зазор?

- D
- B
- C
- + H

I:

S Сколько видов сопряжений установлено для зубчатых передач?

- + 6
- 7
- 5
- 8

I:

S Сколько установлено степеней точности зубчатых колес и передач?

+ 12

- 10

- 8

- 7

I:

S Какой вид сопряжения зубчатых передач соответствует 12 степени точности?

- B

+ A

- D

- C

Тема 8. Размерные цепи

I:

S Что в теории размерных цепей обозначается следующим образом: A_{Δ} ?

+ замыкающее звено

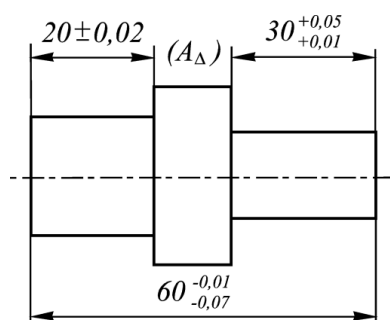
- составляющее звено

- увеличивающее звено

- уменьшающее звено

I:

S Чему равен размер замыкающего звена для размерной цепи, представленной на рисунке?



+ 10

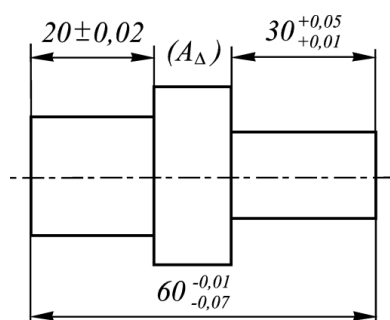
- 20

- 30

- 60

I:

S Чему равен суммарный размер уменьшающих звеньев для размерной цепи, представленной на рисунке?



- 60

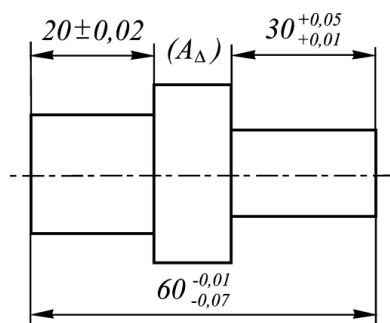
+ 50

- 20

- 30

I:

S Чему равен суммарный размер увеличивающих звеньев для размерной цепи, представленной на рисунке?



- 50

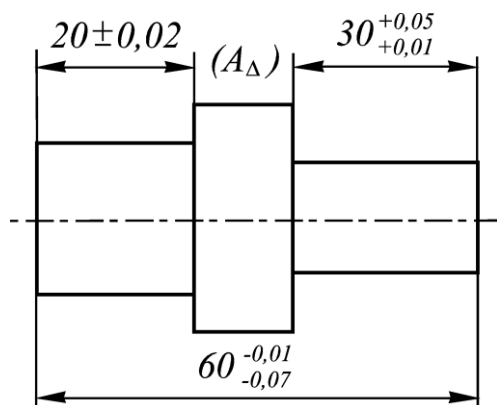
+ 60

- 20

- 30

I:

S Чему равен допуск замыкающего звена для размерной цепи, представленной на рисунке?



- 0,06

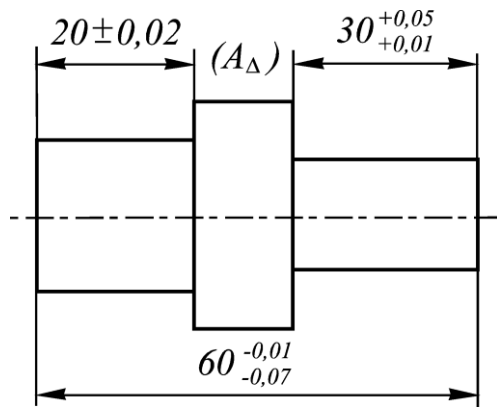
- 0,08

+ 0,14

- 0,12

I:

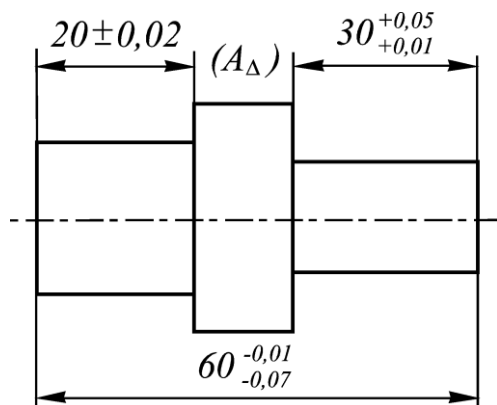
S Чему равно верхнее предельное отклонение замыкающего звена для размерной цепи, представленной на рисунке?



- -0,1
- +0,2
- + 0
- -0,14

I:

S Чему равно нижнее предельное отклонение замыкающего звена для размерной цепи, представленной на рисунке?



- -0,1
- +0,2
- 0
- + -0,14

I:

S Какая из записей размера замыкающего звена является правильной?

- $A_{\Delta} = 15_{-0,1}^0$
- $A_{\Delta} = 14,9 - 15$

$$- A_{\Delta} = \frac{14,9}{15}$$

$$+ A_{\Delta} = 15_{-0,1}$$

I:

S Какая из задач решения размерных цепей является конструкторской?

+ прямая

- обратная

- максимума-минимума

- вероятностная

I:

S Какая из задач решения размерных цепей является технологической?

+ обратная

- прямая

- максимума-минимума

- вероятностная

Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если продемонстрированы: уверенное владение информацией в полном объеме, навыки и умения реализуются для нестандартных условий обработки, при ответе на вопрос привлечены дополнительные источники информации, в том числе и многовариантный анализ ситуации, что свидетельствует о повышенном уровне усвоения компетенций.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если продемонстрированы: владение информацией в полном объеме; уверенное владение умениями и навыками реализуются для типовых ситуаций уверенно, что свидетельствует о базовом уровне усвоения компетенций.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретические знания имеются, но они разрознены и бессистемны; умения и навыки реализуются для типовых ситуаций с ошибками, что свидетельствует о частичном усвоении базового уровня усвоения компетенций.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если знания, умения и навыки отсутствуют, что свидетельствует о недостаточном уровне усвоении компетенций.

1. Описание шкалы оценивания

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в

установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя: тестирование студента.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить ИД-2_{ОПК-5}, ИД-3_{ОПК-8}, ИД-2_{ОПК-9}, ИД-3_{ПК-3} компетенции. Освоение компетенций на повышенном уровне предполагает изучение дополнительной научной и учебной литературы и ответы на вопросы без ошибок. При освоении компетенции на базовом уровне студент изучил основную литературу, при тестировании возможны 2...3 негрубые ошибки.

Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо изучить рекомендуемую литературу.

При подготовке к тесту студенту предоставляется право пользования своими конспектами лекций, методическими указаниями по дисциплине, тетрадями по лабораторным работам, справочными таблицами.

При проверке задания, оцениваются:

- степень усвоения программного материала;
- правильность ответов;
- способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников;
- способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса;
- умение использовать методическую и техническую литературу;
- инициативность в поиске информации;

Оценочный лист

ПК	Пункты оценки	Отметка о сформированности
ИД-2 _{ОПК-5} , ИД-3 _{ОПК-8} , ИД-2 _{ОПК-9} , ИД-3 _{ПК-3}	степень усвоения программного материала	
	способность рассуждать и сопоставлять материал из разных источников	
	способность связывать теорию с практикой, другими темами данного курса	
	правильность ответов	
	инициативность в поиске информации	
	умение использовать методическую и техническую литературу	

Вид работы: Подготовка конспекта. Инструкция по выполнению самостоятельной работы

Хорошо составленный конспект помогает усвоить материал. В конспекте кратко излагается основная сущность учебного материала, приводятся необходимые обоснования, табличные данные, схемы, эскизы, расчеты и т.п. Конспект целесообразно составлять целиком на тему. При этом имеется возможность всегда дополнять составленный конспект вырезками и выписками из журналов, газет, статей, новых учебников, брошюр по обмену опытом, данных из Интернета и других источников. Таким образом конспект становится сборником необходимых материалов, куда студент вносит всё новое, что он изучил, узнал. Такие конспекты представляют, большую ценность при подготовке к урокам.

1. Первичное ознакомление с материалом изучаемой темы по тексту учебника, картам, дополнительной литературе.

2. Выделение главного в изучаемом материале, составление обычных кратких записей.

3. Подбор к данному тексту опорных сигналов в виде отдельных слов, определённых знаков, графиков, рисунков.

4. Продумывание схематического способа кодирования знаний, использование различного шрифта и т.д.

5. Составление опорного конспекта.

Темы конспекта.

5 семестр

1. Основные понятия о размерах, отклонениях и посадках.
Нормирование точности размеров деталей гладких цилиндрических соединений.

2. Нормирование шероховатости поверхности, точности формы и расположения поверхностей.
3. Нормирование точности подшипников качения.
4. Нормирование точности шпоночных соединений.
5. Нормирование точности шлицевых соединений.
6. Нормирование точности размеров деталей резьбовых соединений.
7. Нормирование точности цилиндрических зубчатых колёс и передач.
8. Размерные цепи.

Форма контроля и критерии оценки

«5» Полнота использования учебного материала. Объём конспекта – 1 тетрадная страница на один раздел или один лист формата А 4. Логика изложения (наличие схем, количество смысловых связей между понятиями). Наглядность (наличие рисунков, символов, и пр.; аккуратность выполнения, читаемость конспекта. Грамотность (терминологическая и орфографическая). Отсутствие связанных предложений, только опорные сигналы – слова, словосочетания, символы. Самостоятельность при составлении.

«4» Использование учебного материала не полное. Объём конспекта – 1 тетрадная страница на один раздел или один лист формата А 4. Не достаточно логично изложено (наличие схем, количество смысловых связей между понятиями). Наглядность (наличие рисунков, символов, и пр.; аккуратность выполнения, читаемость конспекта. Грамотность (терминологическая и орфографическая). Отсутствие связанных предложений, только опорные сигналы – слова, словосочетания, символы. Самостоятельность при составлении.

«3» Использование учебного материала не полное. Объём конспекта – менее одной тетрадной страницы на один раздел или один лист формата А 4. Не достаточно логично изложено (наличие схем, количество смысловых связей между понятиями). Наглядность (наличие рисунков, символов, и пр.;

аккуратность выполнения, читаемость конспекта. Грамотность (терминологическая и орфографическая). Отсутствие связанных предложений, только опорные сигналы – слова, словосочетания, символы. Самостоятельность при составлении. Не разборчивый почерк.

«2» Использование учебного материала не полное. Объём конспекта – менее одной тетрадной страницы на один раздел или один лист формата А 4. Отсутствуют схемы, количество смысловых связей между понятиями. Отсутствует наглядность (наличие рисунков, символов, и пр.; аккуратность выполнения, читаемость конспекта. Допущены ошибки терминологические и орфографические. Отсутствие связанных предложений, только опорные сигналы – слова, словосочетания, символы. Не самостоятельность при составлении. Не разборчивый почерк.

Рекомендуемая литература

Основная литература:

1. Управление качеством продукции машиностроения : учебное пособие / М. М. Кане, А. Г. Суслов, О. А. Горленко [и др.]. — Москва : Машиностроение, 2023. — 416 с. — ISBN 978-5-907523-21-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/387551>
2. Бастраков, В. М. Взаимозаменяемость и нормирование точности : учебное пособие / В. М. Бастраков. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. — 224 с. — ISBN 978-5-9729-2417-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/500006>

Перечень дополнительной литературы:

1. Кравченко, Е. Г. Нормирование точности и технические измерения : учебное пособие / Е. Г. Кравченко, В. Ю. Верецагин. — Комсомольск-на-Амуре : КНАГУ, 2020. — 173 с. — ISBN 978-5-7765-1434-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/151710>.

2. Гречишников, В. М. Метрология, стандартизация и технические измерения : учебное пособие / В. М. Гречишников. — Самара : Самарский университет, 2023. — 220 с. — ISBN 978-5-7883-1962-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/406397>

3. Леонов, О. А. Управление качеством : учебник для вузов / О. А. Леонов, Г. Н. Темасова, Ю. Г. Вергазова. — 6-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 188 с. — ISBN 978-5-507-52049-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/496001>.

Интернет-ресурсы:

1. [http:// biblioclub.ru/](http://biblioclub.ru/) Университетская библиотека онлайн.
2. <http://www.rsl.ru> – Российская государственная библиотека.
3. <http://www.i-mash.ru> – ресурс машиностроения, каталог стандартов ЕСКД.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению контрольной работы по дисциплине

«Нормирование точности в машиностроении»

для студентов направления подготовки

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств

направленность (профиль) Технология машиностроения

Ставрополь 2026

1. Пояснительная записка

1.1 Цель контрольной работы

Целью контрольной работы является изучение принципов расчета и выбора посадок с зазором, переходных посадок и посадок с натягом.

1.2 Задачи контрольной работы

Контрольная работа выполняется по теме: Расчет посадок гладких цилиндрических соединений.

В качестве задания каждому студенту выдаются индивидуальные данные:

- данные к расчету посадок с натягом;
- данные к расчету посадок с зазором;
- данные к расчету переходной посадки.

Вариант контрольной работы выдается ведущим преподавателем. Контрольная работа включает в себя расчетно- пояснительную записку в объеме до 20 листов формата А4.

Таблица 1.1 – Исходные данные к расчету посадок с натягом

Вариант	d , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	L , мм	$M_{кр}$, Н	P , кН	Материал	
							вала	втулки
1	55	30	80	60	200	1.0	Ст25	Ст25
2	40	20	60	40	300	0	Ст40х	Ст40х
3	45	22	70	50	400	0.8	Ст50	Ст50
4	36	0	55	40	0	1.2	Ст60г	Ст60г
5	72	40	100	100	1200	0	Ст40х	Ст40х
6	85	0	120	90	0	4	Ст55	Ст55
7	48	20	63	60	500	1.5	Ст40х	Ст40х
8	40	10	70	30	200	2	Ст40х	Ст40х
9	80	40	120	70	250	4	Ст45	Ст30
10	100	40	180	100	300	2	Ст30	Ст30
11	20	0	34	26	50	0	Ст45	Ст30
12	80	45	130	120	0	20	Ст40	Ст40

13	80	10	160	80	1200	0	Ст30	Ст30
14	60	0	100	60	800	0	Ст30	С428-48
15	120	20	200	120	60	6.5	Ст45	БрАЖ9-4
16	60	20	100	60	400	0	Ст45	Ст45
17	100	40	160	100	80	0.8	Ст35	Ст35
18	180	100	240	160	600	8.0	Ст40	Ст40
19	140	10	230	43	120	0	Ст45	Ст45
20	132	10	260	35	10	1.8	Ст40	БрАЖ9-4
21	125	20	250	30	20	10	Ст45	Ст30
22	190	40	150	100	40	2.0	Ст40	Ст40
23	145	25	263	60	30	0	Ст35	Ст35

Таблица 1.2 – Исходные данные к расчету посадок с зазором

Вариант	D , мм	L , мм	n , мин ⁻¹	R , кН	R_{za} , мкм	R_{zb} , мкм	Тип масла
1	125	200	1000	46.0	5.0	3.2	турб.46
2	16	30	2500	0.2	1.6	1.0	турб.22
3	28	50	630	0.5	1.2	1.2	турб.46
4	30	55	1000	0.9	2.5	1.0	турб.22
5	42	80	950	2.6	2.5	2.5	инд.50
6	65	185	750	12.0	3.2	2.5	турб.22
7	180	280	300	41.0	5.0	3.2	инд.50
8	100	180	800	1.5	3.2	2.5	турб.22
9	90	70	600	6.0	2.5	1.2	инд.40
10	70	50	500	4.5	1.6	2.5	турб.30
11	105	80	780	2.5	3.2	1.2	инд.30
12	88	120	1000	3.0	4.0	3.0	инд.20
13	120	150	800	0.8	1.25	1.0	инд.20
14	125	148	950	1.2	2.5	1.6	инд.50
15	132	162	820	0.8	1.25	0.63	инд.40
16	136	175	1000	1.8	4.0	2.5	инд.30
17	140	185	620	1.1	1.6	1.0	турб.46
18	145	180	1300	2.5	2.0	1.6	инд.50
19	68	83	600	1.6	4.0	1.6	инд.50
20	60	90	800	1.6	2.5	1.0	турб.46
21	65	100	1000	1.0	3.2	2.5	инд.50
22	160	100	450	1.8	2.5	1.6	турб.30
23	83	90	1000	3.8	2.0	2.0	инд.50

Таблица 1.3 – Исходные данные к расчету переходной посадки

Вариант	Посадка	Вариант	Посадка
1	Ø80 H7/js6	18	Ø160 H7/m6
2	Ø71 H8/k7	19	Ø125 Is7/h6
3	Ø60 M7/h6	20	Ø160 K8/h7
4	Ø50 N8/h7	21	Ø110 H7/m6
5	Ø45 H8/js7	22	Ø95 H8/n7
6	Ø36 K7/h6	23	Ø120 Is8/h7
7	Ø30 N8/h7	24	Ø80 H7/k6
8	Ø28 H8/js7	25	Ø63 H8/m7
9	Ø22 K7/h6	26	Ø60 N7/h6
10	Ø18 M8/h7	27	Ø50 H7/js6
11	Ø16 H8/js6	28	Ø40 M8/k7
12	Ø32 K8/h7	29	Ø36 M7/h6
13	Ø28 H7/m8	30	Ø30 H7/js6
14	Ø25 H8/n7	31	Ø25 H8/k7
15	Ø20 Is8/h7	32	Ø22 M7/h6
16	Ø16 H7/k7	33	Ø18 N8/h7
17	Ø14 H8/n7	34	Ø14 H8/k6

2. План-график выполнения контрольной работы

Номер этапа	Содержание этапов работы	Процент выполнения	Срок выполнения, неделя семестра
1	2	3	4
1	Выдача задания	-	1
2	Анализ исходных данных задания. Подбор литературы.	5	3
3	Расчет посадки с зазором	30	5
4	Выбор посадки с зазором	40	7
5	Разработка эскиза посадки с зазором и её полей допусков	45	8
6	Расчёт переходной посадки	50	9

Номер этапа	Содержание этапов работы	Процент выполнения	Срок выполнения, неделя семестра
1	2	3	4
7	Разработка эскиза переходной посадки с и её полей допусков	60	11
8	Расчет посадки с натягом	80	12
9	Разработка эскиза посадки с натягом и её полей допусков	90	13
10	Сдача контрольной работы на проверку	100	14
11	Защита.		15

3. Методические рекомендации к контрольной работе

3.1 Название раздела

Контрольная работа выполняется согласно рабочей программе дисциплины «Нормирование точности в машиностроении».

3.2 Цель работы

Цель контрольной работы определяется, исходя из компетентностного подхода к процессу обучения и рабочей программы дисциплины «Нормирование точности в машиностроении» для студентов направления подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств направленность (профиль) Технология машиностроения с освоением компетенций и индикаторов:

1. ОПК-5, Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления машиностроительных изделий требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда:

- ИД-2_{ОПК-5} Оценивает состояние организации технологической

операции с точки зрения достижения требуемых результатов по точности обработки деталей машин и качества их поверхностей.

2. ОПК-8. Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа:

- ИД-3_{ОПК-8} Выбирает оптимальные варианты решения проблем, связанные с машиностроительными производствами.

3. ОПК-9. Способен участвовать в разработке проектов изделий машиностроения:

- ИД-2_{ОПК-9} Участвует в организации процессов разработки и изготовления изделий машиностроительных производств.

4. ПК-3. Способен обеспечивать качество изделий средней сложности в механосборочном производстве:

- ИД-3_{ПК-3} Осуществляет контроль соблюдения технологической дисциплины.

3.3 Форма контроля контрольной работы

Студент допускается к защите, если контрольная работа выполнена, верно и оформлена согласно требованиям ГОСТов. Защита проходит в форме собеседования по теме контрольной работы. Принимает ведущий преподаватель. Контрольная работа оценивается «зачтено» или «не зачтено». Контрольная работа оценивается «не зачтено» в следующих случаях:

- выполнение не своего варианта;
- Контрольная работа выполнена не в полном объеме;
- студент не отвечает на заданные вопросы.

Контрольная работа оформляется в соответствии с требованиями ГОСТов, ЕСКД и других стандартов и нормативных документов к текстовым документам и должно состоять из титульного листа, содержания, введения, последующих листов работы и заканчиваться списком литературы,

использованной студентом при выполнении работы. Все таблицы, схемы, рисунки, формулы и эскизы должны иметь наименование и нумерацию. При использовании справочной литературы необходима ссылка на нее.

4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ НАД КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТОЙ

4.1 Расчёт посадки с зазором

По гидродинамической теории трения несущая способность подшипника жидкостного трения определяется при неразрывности слоя смазки.

При установившемся режиме работы положение вала относительно центра отверстия вкладыша подшипника, характеризуемое абсолютным эксцентриситетом e и относительным эксцентриситетом χ определяется величиной среднего удельного давления, (Н/м^2) вязкостью масла μ , угловой скоростью ω и диаметральной зазором S .

$$P = \frac{R}{L * d}, \quad (3.1)$$

где R – радиальная нагрузка на цапфу, Н;

d – номинальный диаметр соединения, м;

L – длина сопряжения, м.

При практических расчетах толщину масляного слоя определяют по упрощенной формуле:

$$[h_{\min}] = K(R_{ZD} + R_{Zd} + \gamma_D) \approx K(4R_{aD} + 4R_{ad} + \gamma_D), \quad (3.2)$$

где $R_{ZD}, R_{Zd}, R_{aD}, R_{ad}$ – параметры шероховатости поверхности

$K \geq 2$ – коэффициент запаса, надежности по толщине масляного слоя;

γ_D – добавка на неразрывность масляного слоя, $\gamma_D = 2 \dots 3$ мкм.

Для обеспечения жидкостного трения необходимо соблюдение условия:

$$h \geq [h_{\min}]. \quad (3.3)$$

Следовательно, условия подбора посадки (рисунок 3.1) должны быть следующими:

- минимальный зазор в подобранной посадке:

$$S_{\min} \geq [S_{\min}], \quad (3.4)$$

где $[S_{\min}]$ – минимальный допускаемый зазор, при котором толщина масляного слоя равна допускаемой минимальной величине $[h_{\min}]$.

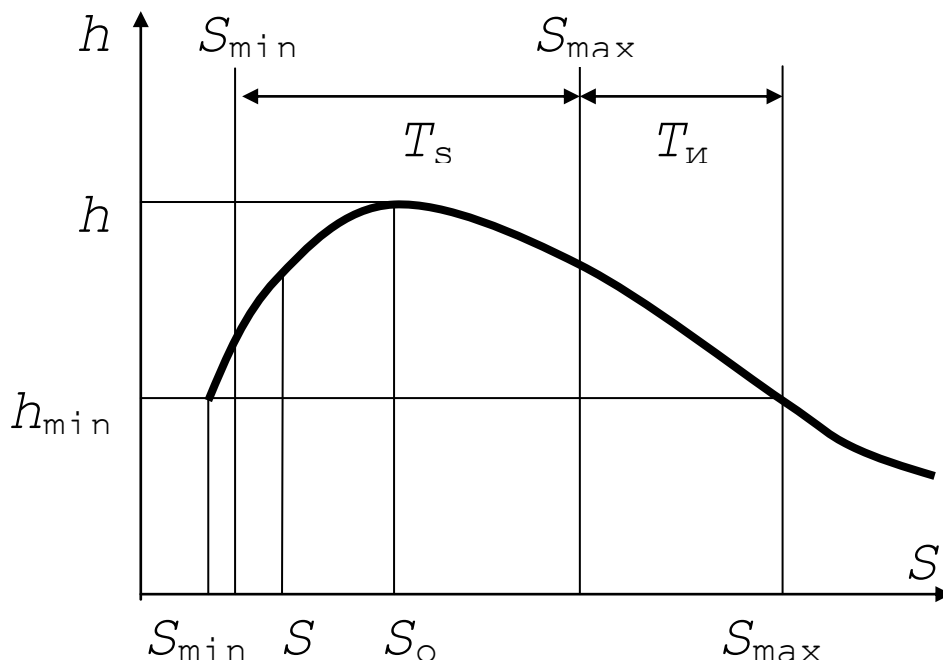


Рисунок 3.1 – Условия выбора посадки с зазором.

При малых зазорах могут возникнуть самовозбуждающиеся колебания вала в подшипнике, если $\chi < 0,3$. Относительный эксцентриситет $\chi_{\min}$, соответствующий зазору $\chi_{\min} \geq 0,3$;

- максимальный зазор в подобранной посадке с учетом износа и шероховатости поверхностей вала и вкладыша:

$$S_{\max} < [S_{\max}] - 2(R_{zd} + R_{zd}) \approx [S_{\max}] - 8(R_{ad} + R_{ad}), \quad (3.5)$$

где $[S_{\max}]$ – максимально допустимый зазор, при котором толщина масляного

слоя равна допускаемой минимальной величине $[h_{\min}]$.

Для определения $[S_{\min}]$ и $[S_{\max}]$ используем формулу:

$$h = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{\mu\omega}{P}} (1 - \chi) \sqrt{C_R}, \quad (3.6)$$

где ω – угловая скорость вала, $\omega = \frac{\pi n}{30}$, рад/с;

μ – динамическая вязкость масла, Н с/м²;

$A = (1 - \chi) \sqrt{C_R}$ – величина, зависящая от относительного эксцентриситета χ и отношения L / d . Значения A приведены в таблице 3.1, а, также показаны на рисунках 3.2 и 3.3. Пользуясь рисунками 3.2 и 3.3 или данными таблицы 3.1, можно определить $[S_{\min}]$, $[S_{\max}]$ и оптимальный зазор $S_{\text{опт}}$, при котором толщина масляного слоя достигает своего наибольшего значения h (рисунок 3.1):

$$S_{\text{опт}} = d \cdot \sqrt{\frac{\mu\omega}{P}} \frac{A_{\text{опт}}}{1 - \chi_{\text{опт}}}, \quad (3.7)$$

где $A_{\text{опт}}$ – максимальное значение A при данном L / d ;

$\chi_{\text{опт}}$ – значение χ , при котором $A = A_{\text{опт}}$.

Если известно значение A при данной толщине масляного слоя $h_{\min}$

$$A_h = \frac{2[h_{\min}]}{d \cdot \sqrt{\frac{\mu\omega}{P}}}, \quad (3.8)$$

то:

$$S_{\text{опт}} = \frac{2[h_{\min}]}{1 - \chi_{\text{опт}}} \frac{A_{\text{опт}}}{A_h}, \quad (3.9)$$

$$h' = d \sqrt{\frac{\mu\omega}{P}} \frac{A_{\text{опт}}}{2} = [h_{\min}] \frac{A_{\text{опт}}}{A_h}. \quad (3.10)$$

При известных d, L, R, ω, μ расчеты зазоров и выбор посадки можно вести в следующем порядке:

1 Определяется среднее удельное давление P (Н/м²) в подшипнике по

формуле (3.1).

2 Устанавливается допускаемая минимальная толщина масляного слоя $[h_{min}]$ по формуле (3.2).

3 Задаются рабочей температурой подшипника t_{II} . Правильность назначения температуры подшипника проверяется тепловым расчетом. Рабочая температура подшипника должна быть не выше 60...75 °С. Для предварительных расчетов $t_{II} = 50$ °С.

В соответствии с принятой температурой t_{II} и маркой масла (таблица 3.2) определяется динамическая вязкость масла:

$$\mu = \mu_{ТАБЛ} \left(\frac{50}{t_{II}} \right)^{2,8}, \quad (3.11)$$

где $\mu_{ТАБЛ}$ – динамическая вязкость при $t_{II} = 50$ °С, определенная по таблице 3.2.

4. Рассчитывается значение A_h по формуле (3.8).

5 По найденному значению A_h определяем из рисунка 3.2 или таблицы 3.1 (при данном $L / d_{H.C.}$) минимальный относительный эксцентриситет χ_{min} , при котором толщина масляного слоя равна $[h_{min}]$:

$$[S_{min}] = \frac{2[h_{min}]}{1 - \chi_{min}} \quad (3.12)$$

Если величина χ_{min} оказывается меньше 0,3, то для определения $[S_{min}]$ поступают следующим образом:

- определяется по рисунку 3.2 или таблице 3.1 значение A при заданном отношении $L / d_{H.C.}$ и $\chi = 0,3$ (A_χ);

- рассчитывают минимальный допускаемый зазор $[S_{min}]$:

$$[S_{min}] = 2,85 \pi [h_{min}] \frac{A_\chi}{A_h} \quad (3.13)$$

6 По найденному значению A_h определяется из рисунка 3.3 максимальный относительный эксцентриситет χ_{max} , при котором толщина масляного слоя равна $[h_{min}]$, χ_{max} можно также определить по таблице 3.1,

применяя линейную интерполяцию. Затем по найденному значению $\chi_{\max}$ рассчитывается максимальный допускаемый зазор:

$$[S_{\max}] = \frac{2[h_{\min}]}{1 - \chi_{\max}} \quad (3.14)$$

7 По таблицам системы допусков и посадок (таблица 1.47 /2/) подбирается стандартная посадка, при которой выполняются условия (3.4) и (3.5).

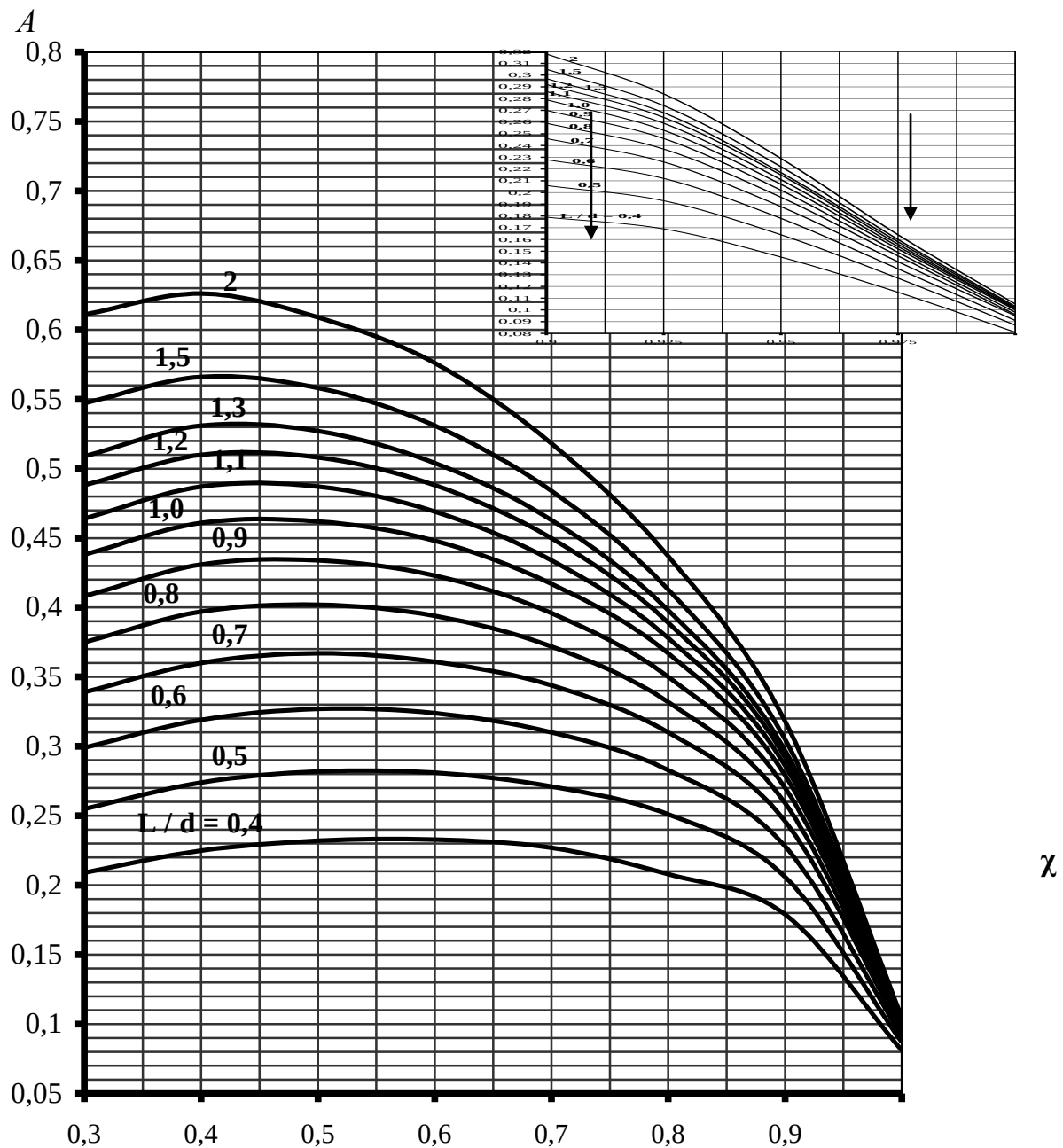


Рисунок 3.2 – Зависимость коэффициента A от относительного эксцентриситета χ

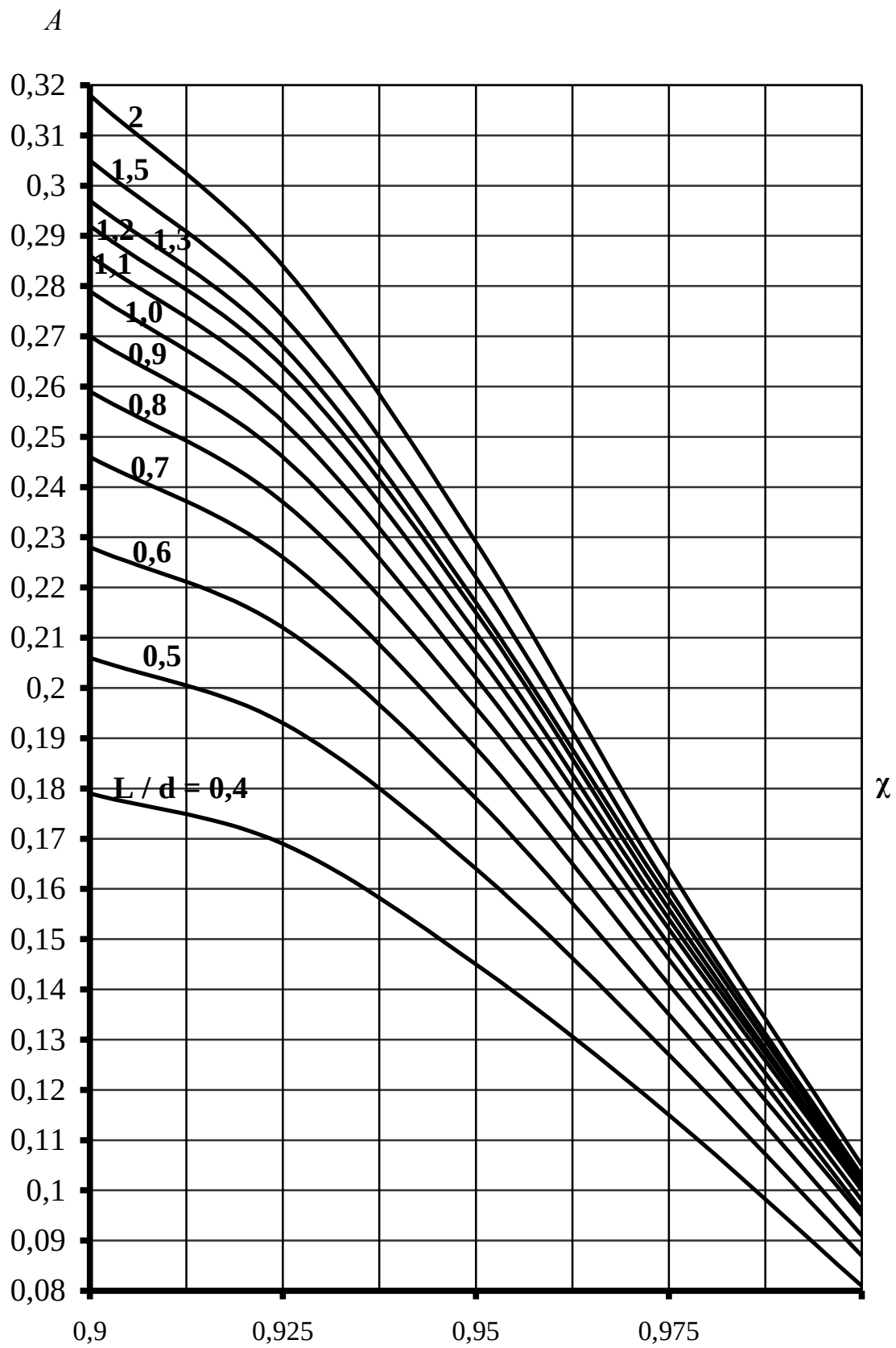


Рисунок 3.3 – Зависимость коэффициента A от относительного эксцентриситета χ при больших значениях χ

Таблица 3.1 – Значение $A = (1 - \chi)\sqrt{C_R}$ для подшипников жидкостного трения

Относи- те- льный эксцен- три- ситет χ	Значение $A = (1 - \chi)\sqrt{C_R}$ при L / d											
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
0,3	0,209	0,255	0,299	0,339	0,375	0,408	0,438	0,464	0,488	0,509	0,547	0,611
0,4	0,225	0,274	0,319	0,360	0,397	0,431	0,461	0,487	0,510	0,531	0,566	0,626
0,5	0,232	0,282	0,327	0,367	0,402	0,434	0,462	0,487	0,508	0,527	0,558	0,609
0,6	0,233	0,281	0,324	0,361	0,394	0,423	0,448	0,469	0,488	0,504	0,531	0,576
0,65	0,230	0,276	0,317	0,352	0,383	0,410	0,433	0,452	0,469	0,484	0,507	0,547
0,7	0,227	0,271	0,310	0,344	0,372	0,396	0,417	0,434	0,450	0,463	0,484	0,518
0,75	0,220	0,262	0,298	0,328	0,351	0,375	0,393	0,408	0,421	0,432	0,450	0,479
0,8	0,208	0,251	0,283	0,310	0,332	0,350	0,367	0,378	0,389	0,398	0,413	0,437
0,85	0,200	0,234	0,261	0,284	0,302	0,317	0,329	0,339	0,347	0,354	0,366	0,384
0,9	0,179	0,206	0,228	0,246	0,259	0,270	0,279	0,286	0,292	0,297	0,305	0,318
0,925	0,169	0,193	0,212	0,226	0,237	0,246	0,253	0,259	0,264	0,268	0,274	0,284
0,95	0,145	0,164	0,178	0,188	0,196	0,202	0,207	0,211	0,215	0,217	0,222	0,229
0,975	0,115	0,127	0,135	0,141	0,146	0,149	0,152	0,154	0,156	0,158	0,160	0,164
0,99	0,081	0,087	0,091	0,095	0,096	0,098	0,100	0,101	0,101	0,102	0,103	0,105

Таблица 3.2 – Основные смазочные масла для машиностроения

Наименование и марка масла	ГОСТ	Вязкость, Нс/м ²		Температура, °С	
		Кинематическая	Динамическая	вспышки	застывания
Вязкость при 50°С					
Легкие промышленные					
И-5А	20799-85	4,0-5,0	3,6-4,5	120	-25
И-3А		6-8	5,4-7,2	130	-20
Сепараторное Л	176-80	8,0-10,0	5,4-9	135	+5
Приборное	1805-86	5,5-8,0	5,8-7,2	125	-60
Средние промышленные					
И-12К (И-12)	20799-85	10-14	9-12,6	165	-30
Сепараторное Т	176-80	14-17	12,6-15,3	165	+5
И-20А (И-20)	20799-85	17-23	15,3-20,7	180	-15
И-25А (ИС-25)		24-27	21,6-24,2	180	-15
И-30А (И-30)		28-33	25,2-29,7	190	-15
И-40А (И-45)		35-45	31,5-40,5	200	-15
И-50А (И-50)		47-55	42,3-49,5	200	-20
И-70А (И-65)		65-75	58,5-67,5	200	-10
Турбинные					
Т22 (Л)	32-84	20-23	18-20,7	180	-15
Т30 (УТ)		28-32	25,3-28,8	180	-10
Т46 (Т)		44-48	39,6-43,2	195	-10

8 Определяется мощность теплообразования (Вт):

$$Q = R\omega \frac{d}{2} f . \quad (3.15)$$

При большой частоте вращения и относительно малой нагрузке мощность теплообразования (Вт) может быть подсчитана по формуле:

$$Q = 1,57 \frac{\omega^2 \mu d^3 L}{S} . \quad (3.16)$$

9 Определяется теплоотвод (Вт) через корпус и выходящий из корпуса вала подшипника по формуле:

$$Q_1 = K_T F(t_{II} - t_0), \quad (3.17)$$

где K_T – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²*°C), можно определить по формуле:

$$K_T = 6,7 + 11,7 \sqrt{v_B}, \quad (3.18)$$

где v_B – скорость омывания (м/с) корпуса воздухом, зависящая от скорости вращения вала и находящихся на нем деталей; минимальное значение $K_T \approx 18,5$ Вт/(м²*°C);

F – свободная теплоотдающая поверхность корпуса и приведенная поверхность вала, м²,

$$F \approx (12...40) L d. \quad (3.19)$$

В среднем $F \approx 25 L d$, м²; t_0 – температура окружающей среды, обычно $t_0 = 20^\circ\text{C}$.

Если тепловыделение превышает теплоотвод через корпус ($Q > Q_1$), то принимают ряд мер для увеличения Q_1 : принудительный обдув корпуса (увеличивается K_T), увеличение фактической температуры подшипника (увеличение $t_{II} - t_0$), использование ребрения для увеличения F и т.д. В случае изменения t_{II} необходимо внести коррективы в подобранную посадку, так как μ будет иметь несколько иную величину из-за различия расчетной и фактической температуры. Избыточная теплота ($Q - Q_1$) удаляется принудительной прокачкой масла через подшипник.

10 Объем масла (м³/с), прокачиваемого через подшипник, определяют по формуле:

$$W = \frac{Q - Q_1}{c \rho (t_{\text{ВЫХ}} - t_{\text{ВХ}})}, \quad (3.20)$$

где c – теплоемкость масла, Дж/(кг °C), $c = 1600...2100$ Дж/(кг °C);

ρ – плотность масла, кг/м³, $\rho = 870...890$, кг/м³;

$t_{\text{ВЫХ}}$, $t_{\text{ВХ}}$ – температура масла соответственно на выходе подшипника и входе в подшипник.

3.1.1 Пример расчета посадки с зазором

Определить величины зазоров и подобрать посадку для подшипника скольжения, работающего в условиях жидкостного трения при следующих данных: $d = 75$ мм, $L = 75$ мм, $P = 1,47 \cdot 10^6$ Н/м² (15 кгс/см²), $\omega = 157$ рад/с (1500 об/мин). Смазка централизованная маслом марки турбинное 22 (Л) с динамической вязкостью при $t_{\text{л}} = 50$ °С, $\mu = 19 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м² (таблица 2.4). Шероховатость поверхности $R_{ad} = R_{aD} = 0,8$ мкм.

Расчет посадки выполняем в соответствии с указанной выше последовательностью.

1 По условию среднее удельное давление $p = 1,47 \cdot 10^6$ Н/м².

2 По формуле (3.2) определим допускаемую толщину масляного слоя:

$$[h_{\min}] = 2(4R_{aD} + 4R_{ad} + 2) \cdot 10^{-6} = 2(3,2 + 3,2 + 2) \cdot 10^{-6} = 16,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

3 Задаемся рабочей температурой подшипника $t_{\text{л}} = 50$ °С, при которой $\mu = \mu_{\text{ТАБ}} = 19 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м².

4 Рассчитываем значение A_h по формуле (2.8):

$$A_h = \frac{2[h_{\min}]}{d \sqrt{\frac{\mu \omega}{P}}} = \frac{2 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6}}{75 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{19 \cdot 10^{-3} \cdot 157}{1,47 \cdot 10^6}}} \approx 0,314.$$

5 По рисунку 3.2 определяем, используя найденное значение $A_h = 0,314$ и $L/d = 1$, минимальный относительный эксцентриситет $\chi_{\min}$, при котором толщина масляного слоя равна $[h_{\min}]$. Менее 0,3 и поэтому условие (3.4) не выполнено.

По рисунку 3.2 находим значение $A_{\chi} = 0,438$ при $\chi = 0,3$ и $L / d_{\text{H.C}} = 1$ и затем по формуле (3.13) определяем минимальный допускаемый зазор $[S_{\min}]$ (толщина масляной пленки при этом зазоре больше $[h_{\min}]$).

$$[S_{\min}] = 2,857 [h_{\min}] \frac{A_{\chi}}{A_h} = 2,857 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6} \frac{0,438}{0,314} \approx 67 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 67 \text{ мкм}.$$

6 По найденному ранее значению $A_h = 0,314$ из рисунка 3.3 находим максимальный относительный эксцентриситет $\chi_{\max} = 0,87$.

По формуле (3.14) определим максимальный допускаемый зазор $[S_{\max}]$:

$$[S_{\max}] = \frac{2[h_{\min}]}{1 - \chi_{\max}} = \frac{2 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6}}{1 - 0,87} \approx 258 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 258 \text{ мкм}.$$

7 Для выбора посадки наряду с пунктами (3.4) и (3.5) используем дополнительное условие, что средний зазор S_C в посадке должен быть примерно равен оптимальному $S_{\text{ОПТ}}$.

Оптимальный зазор рассчитаем по формуле (3.9):

$$S_{\text{ОПТ}} = \frac{2[h_{\min}]}{1 - \chi_{\text{ОПТ}}} \frac{A_{\text{ОПТ}}}{A_h} = \frac{2 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6}}{1 - 0,48} \frac{0,454}{0,314} \approx 96 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 96 \text{ мкм},$$

где из рисунка 3.2 $\chi_{\text{ОПТ}} = 0,48$ и $A_{\text{ОПТ}} = 0,464$. Максимальную толщину масляного слоя h при оптимальном зазоре определим по формуле (3.5):

$$h = \frac{S_{\text{ОПТ}}}{2} (1 - \chi_{\text{ОПТ}}) = \frac{96}{2} (1 - 0,48) = 25 \text{ мкм}.$$

По таблице 1.47 [1] определяем, что условиям подбора посадки наиболее близко соответствует предпочтительная посадка:

$$\varnothing 75 \frac{H7\left(\begin{smallmatrix} +0,030 \\ -0,060 \end{smallmatrix}\right)}{e8\left(\begin{smallmatrix} -0,060 \\ -0,106 \end{smallmatrix}\right)},$$

для которой $S_C = 98 \text{ мкм} \approx S_{\text{ОПТ}}$, $S_{\min} = 60 \text{ мкм}$, $S_{\max} = 136 \text{ мкм}$.

Условие (3.4) можно считать выполненным, так как получение зазора $S_{\min} = 60 \text{ мкм}$ маловероятно.

Практически при сборке зазоров, меньших, чем вероятностный минимальный зазор, $S_{\min}^B$, не будет.

$$S_{\min}^B = S_C - 0,5\sqrt{T_D^2 + T_d^2} = 98 - 0,5\sqrt{30^2 + 46^2} = 70,5 \text{ мкм}$$

Для данной посадки минимальный запас на износ:

$$T_{\text{ИЗН}} = [S_{\max}] - 2(R_{ZD} + R_{Zd}) - S_{\max} = 258 - 2(3,2 + 3,2) - 136 = 109 \text{ мкм}$$

8 По формуле (3.16) определяем мощность теплообразования:

$$Q = 1,57 \frac{\omega^2 \cdot \mu \cdot d_{H.C.}^3 \cdot L}{S} = 1,57 \frac{157^2 \cdot 19 \cdot 10^{-3} (75 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 75 \cdot 10^{-3}}{70,5 \cdot 10^{-6}} \approx 330 \text{ Вт}$$

9 Определяем теплоотвод через корпус и вал подшипника по формуле (3.17):

$$Q_1 = K_T \cdot 25 \cdot L \cdot d_{H.C.} (t_{II} - t_0) = 18,5 \cdot 25 \cdot 75 \cdot 10^{-3} \cdot 75 \cdot 10^{-3} \cdot (50 - 20) = 78 \text{ Вт}$$

В связи с тем, что теплообразование существенно превышает теплоотвод через корпус и вал, избыточная теплота будет удаляться принудительной прокачкой масла.

10 Определяем по формуле (3.20) объем масла, прокачиваемого через подшипник:

$$W = \frac{Q - Q_1}{c \cdot \rho \cdot (t_{BIX} - t_{BX})} = \frac{330 - 78}{1900890 \cdot (50 - 35)} \approx 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \approx 0,6 \frac{\text{л}}{\text{мин}}.$$

3.2 Расчёт переходной посадки на вероятность получения натягов и зазоров

Трудоемкость сборки и разборки соединений с переходными посадками, так же как и характер этих посадок, во многом определяется вероятностью получения в них натягов и зазоров.

При расчете вероятности натягов и зазоров обычно исходят из нормального закона распределения размеров деталей при изготовлении. Распределение натягов и зазоров в этом случае также будет подчиняться нормальному закону, а вероятности их получения определяются с помощью интегральной функции вероятности $\Phi(z)$ [1]. Расчет проводится следующим образом. Рассчитывается посадка и определяются натяги N_{max} , N_{min} и N_C , допуски отверстия и вала TD , Td .

Определяется среднее квадратическое отклонение натяга (зазора) по

формуле:

$$\sigma_N = \frac{1}{6} \sqrt{T_D^2 + T_d^2} . \quad (3.21)$$

Определяется предел интегрирования, равный (при N_L)

$$z = \frac{N_C}{\sigma_N} . \quad (3.22)$$

Из таблицы (3.3) по найденному значению z определяется $\Phi(z)$.

Рассчитывается вероятность натягов и вероятность зазоров

$$P'_N = 0,5 + \Phi(z) , \text{ если } z > 0 \quad (3.23)$$

$$P'_N = 0,5 - \Phi(z) , \text{ если } z < 0 \quad (3.24)$$

при этом процент натягов

$$P_N = 100P'_N \quad (3.25)$$

$$P'_S = 0,5 - \Phi(z) , \quad \text{если } z > 0 \quad (3.26)$$

$$P'_S = 0,5 + \Phi(z) , \quad \text{если } z < 0 \quad (3.27)$$

при этом процент зазоров

$$P_S = 100P'_S \quad (3.28)$$

Таблица 3.3 — Значения интегральной функции вероятности $\Phi(Z)$

Z	$\Phi(Z)$	Z	$\Phi(Z)$	Z	$\Phi(Z)$	Z	$\Phi(Z)$
1	2	3	4	5	6	7	8
0,01	0,0040	0,31	0,1217	0,72	0,2642	1,80	0,4641
0,02	0,0080	0,32	0,1255	0,74	0,2703	1,85	0,4672
0,03	0,0120	0,33	0,1293	0,76	0,2764	1,90	0,4713
0,04	0,0160	0,34	0,1331	0,78	0,2823	1,95	0,4744
0,05	0,0199	0,35	0,11368	0,80	0,2881	2,00	0,4772
0,06	0,0239	0,36	0,1406	0,82	0,2939	2,10	0,4821
0,07	0,0279	0,37	0,1443	0,84	0,2995	2,20	0,4861
0,08	0,0319	0,38	0,1480	0,86	0,3051	2,30	0,4893
0,09	0,0359	0,39	0,1517	0,88	0,3106	2,40	0,4918
0,10	0,0398	0,40	0,1554	0,90	0,3159	2,50	0,4938
0,11	0,0438	0,41	0,1591	0,92	0,3212	2,60	0,4853
0,12	0,0472	0,42	0,1628	0,94	0,3264	2,70	0,4965
0,13	0,0517	0,43	0,1664	0,96	0,3315	2,80	0,4974
0,14	0,0557	0,44	0,1700	0,98	0,3365	2,90	0,4981
0,15	0,0596	0,45	0,1736	1,00	0,3413	3,00	0,49865
0,16	0,0636	0,46	0,1772	1,05	0,3531	3,20	0,49931
0,17	0,0675	0,47	0,1808	1,10	0,3643	3,40	0,49966
0,18	0,0714	0,48	0,1844	1,15	0,3749	3,60	0,49984
0,19	0,0753	0,49	0,1879	1,20	0,3849	3,80	0,499928
0,20	0,0793	0,50	0,1915	1,25	0,3944	4,00	0,499968
0,21	0,0832	0,52	0,1985	1,30	0,4032	4,50	0,499997
0,22	0,0871	0,54	0,2054	1,35	0,4115	5,00	0,4999997
0,23	0,0910	0,56	0,2123	1,40	0,4192		
0,24	0,0948	0,58	0,2190	1,45	0,4265		
0,25	0,0987	0,60	0,2257	1,50	0,4332		
0,26	0,1020	0,62	0,2324	1,55	0,4394		
0,27	0,1064	0,64	0,2389	1,60	0,4452		
0,28	0,1103	0,66	0,2454	1,65	0,4505		
0,29	0,1141	0,68	0,2517	1,70	0,4554		
0,30	0,1179	0,70	0,2580	1,75	0,4599		

3.2.1 Пример расчета переходной посадки

Рассчитать ожидаемую при сборке долю соединений с натягом и долю соединений с зазором для посадки $\varnothing 65 \frac{H7(+0,030)}{n6(+0,039/+0,020)}$.

Рассчитаем натяги и допуски отверстия и вала:

$$N_{\max} = 39 - 0 = 39 \text{ мкм}; \quad N_{\min} = 20 - 30 = -10 \text{ мкм};$$

$$N_C = \frac{39 + (-10)}{2} = 14,5 \text{ мкм}; \quad T_D = 30 - 0 = 30 \text{ мкм};$$

$$T_d = 39 - 20 = 19 \text{ мкм}.$$

$$\sigma_N = \frac{1}{6} \sqrt{T_D^2 + T_d^2} = \frac{1}{6} \sqrt{30^2 + 19^2} \approx 5,9 \text{ мкм}.$$

$$z = \frac{N_C}{\sigma_N} = \frac{14,5}{5,9} = 2,46.$$

Из таблицы 3.3 по значению $z = 2,46$ определяем $\Phi(2,46) = 0,493$.

$$P'_N = 0,5 + 0,493 = 0,993.$$

$$P'_S = 0,5 - 0,493 = 0,007.$$

Следовательно, при сборке примерно 99,3 % всех соединений (993 из 1000) будут с натягами и 0,7 % соединений (7 из 1000) с зазорами.

3.3 Расчёт посадки с натягом

Расчет посадок с натягом выполняется с целью обеспечить прочность соединения, т. е. отсутствие смещений сопрягаемых деталей под действием внешних нагрузок, и прочность сопрягаемых деталей. Исходя из первого условия, определяется минимальный допустимый натяг $[N_{\min}]$, при котором, как правило, отсутствуют пластические деформации.

При расчетах используются выводы задачи Ляме (определение напряжений и перемещений в толстостенных полых цилиндрах).

Расчет посадок с натягом можно вести в следующем порядке:

1 По известным значениям внешних нагрузок (R_{OC} , M_K) и размерам

соединения (d_{HC} и L) определяется требуемое минимальное удельное давление (Н/м^2) на контактных поверхностях соединения :

- при действии M_K :

$$[p_{\min}] = \frac{2M_K}{\pi * d_{HC}^2 * L * f} \quad (3.29)$$

- при действии R_{OC} :

$$[p_{\min}] = \frac{R_{OC}}{\pi * d_{HC} * L * f} \quad (3.30)$$

- при одновременном действии R_{OC} и M_K :

$$[p_{\min}] = \frac{\sqrt{R_{OC}^2 + (2M_K / d_{HC})^2}}{\pi * d_{HC} * L * f}, \quad (3.31)$$

где R_{OC} – продольная осевая сила, стремящаяся сдвинуть одну деталь относительно другой, Н;

M_K – крутящий момент, стремящийся повернуть одну деталь относительно другой, Н*м;

L – длина контакта сопрягаемых поверхностей, м;

f – коэффициент трения при установившемся процессе распрессовки или проворачивания.

Коэффициент трения f колеблется в широких пределах, что объясняется многообразием факторов, влияющих на прочность соединения (шероховатость поверхностей, скорость запрессовки, наличие масла, вид покрытия и т.д.).

По полученным значениям p определяется необходимая величина наименьшего расчетного натяга $N_{\min}$ (мкм):

$$N_{\min} = [p_{\min}] * d_{HC} * \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right), \quad (3.32)$$

где E_1 , E_2 – модули упругости материалов соответственно охватываемой (вала) и охватывающей (отверстия) деталей, Н*м;

C_1, C_2 – коэффициенты Ляме, определяемые по формулам:

$$C_1 = \frac{1 + (d_1 / d_{HC})^2}{1 - (d_1 / d_{HC})^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{1 + (d_{HC} / d_2)^2}{1 - (d_{HC} / d_2)^2} + \mu_2, \quad (3.33)$$

где μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона соответственно для охватываемой и охватывающей деталей.

Для сплошного вала ($d_1 = 0$) $C_1 = 1 - \mu_1$;

для массивного корпуса ($d_2 \rightarrow \infty$) $C_2 = 1 + \mu_2$.

Определяются с учетом поправок N_{min} величина минимального допустимого натяга:

$$[N_{min}] = N'_{min} + \gamma_m + \gamma_t + \gamma_\mu + \gamma_n, \quad (3.34)$$

где γ_m – поправка, учитывающая снятие неровностей R_Z или R_a контактных поверхностей деталей при образовании соединения[1],

$$\gamma_m = 1,2(R_{ZD} + R_{Zd}) \approx 5(R_{aD} + R_{ad}) \quad (3.35)$$

γ_t – поправка, учитывающая различие рабочей температуры деталей (t_D и t_d) и температура сборки (t_{CB}), различие коэффициентов линейного расширения материалов соединяемых деталей (α_D, α_d), $\gamma_t = -\Delta_t^N$

$$\Delta_t^N = N_{PAB} - N_{CB} = d(\alpha_d * \Delta t_d - \alpha_D * \Delta t_D), \quad (3.36)$$

где Δ_t^N – изменение натяга, вызванное отличием рабочей температуры сопрягаемых деталей от нормальной;

N_{PAB} – рабочий натяг;

N_{CB} – сборочный натяг (при нормальной температуре);

Положительная поправка γ_t учитывается, если при рабочей температуре натяг ослабляется; γ_μ – поправка, учитывающая ослабление натяга под действием центробежных сил (существенна для крупных быстро-вращающихся деталей); для сплошного вала и одинаковых материалов соединяемых деталей:

$$\gamma_{\mu} = \frac{v^2 * d_{HC} * \rho}{64} \left(\frac{3 + \mu}{E} \right), \quad (3.37)$$

где v – окружная скорость на нагруженной поверхности втулки, м/с;

ρ – плотность материала: при $d = 500$ мм и $v = 47$ м/с для стальных деталей $\gamma_{\mu} = 2$ мкм;

γ_{Π} – добавка, компенсирующая уменьшение натяга при повторных запрессовках.

На основе теории наибольших касательных напряжений определяется максимальное допустимое удельное давление $[p_{max}]$, при котором отсутствует пластическая деформация на контактных поверхностях деталей. В качестве $[p_{max}]$ берется наименьшее из двух значений (Н/м²):

$$p_1 = 0,58\sigma_{T1} \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_{HC}} \right)^2 \right], \quad (3.38)$$

$$p_2 = 0,58\sigma_{T2} \left[1 - \left(\frac{d_{HC}}{d_2} \right)^2 \right], \quad (3.39)$$

где σ_{T1} и σ_{T2} – предел текучести материалов охватываемой и охватывающей деталей.

Определение величины наибольшего расчетного натяга N_{max} (мкм):

$$N_{max} = [p_{max}] d_{HC} \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) \quad (3.40)$$

Определяется с учетом поправок к N_{max} величина максимально допустимого натяга $[N_{max}]$:

$$[N_{max}] = N'_{max} * \gamma_{y\partial} + \gamma_m - \gamma_t, \quad (3.41)$$

где $\gamma_{y\partial}$ – коэффициент, учитывающий увеличение удельного давления у торцов охватывающей детали [7].

Выбирается посадка из таблиц системы допусков и посадок по СТ СЭВ 144-75 и таблице 1.49 [2].

Условия подбора посадки следующие:

- максимальный натяг $N_{\max}$ в подобранной посадке должен быть не больше $[N_{\max}]$:

$$N_{\max} \leq [N_{\max}] \quad (3.42)$$

- минимальный натяг $N_{\min}$ в подобранной посадке с учетом возможных колебаний действующей нагрузки и других факторов должен быть:

$$N_{\min} > [N_{\min}] \quad (3.43)$$

- рассчитывается необходимое усилие (Н) при запрессовке собираемых деталей:

$$R_n = f_n * p_{\max} * \pi * d_{HC} * L, \quad (3.44)$$

где f_n – коэффициент трения при запрессовке, $f_n = (1,15-1,2)$.

Удельное давление $p_{\max}$ при максимальном натяге $N_{\max}$ в посадке определяется по формуле :

$$p_{\max} = \frac{N_{\max} - \gamma_m}{d_{HC} \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)} \quad (3.45)$$

Применяя термические методы сборки, необходимую температуру нагрева охватывающей детали или охлаждения охватываемой детали определяют по формулам:

$$t_D \approx \frac{N_{\max} + S_{CB}}{\alpha * D} + t_{CB}, \quad (3.46)$$

$$t_d \approx t_{CB} - \frac{N_{\max} + S_{CB}}{\alpha * d}, \quad (3.47)$$

где t_{CB} – температура помещения сборки, °С;

S_{CB} – минимально необходимый зазор при сборке;

α – коэффициент линейного расширения (сжатия) при нагреве (охлаждении) [2].

Изменение размеров d_1 и d_2 после запрессовки (λ_1 и λ_2 , мм)

рассчитываются по формулам:

$$\lambda_1 = \frac{2p_{\max} * d_1 * d_{HC}^2}{E_1(d_2^2 - d_1^2)}, \quad (3.48)$$

$$\lambda_2 = \frac{2p_{\max} * d_2 * d_{HC}^2}{E_2(d_2^2 - d_{HC}^2)} \quad (3.49)$$

3.3.1 Пример расчета посадок с натягом

Пример 1: Соединение с размерами $d_{H.C.} = 60$ мм, $L = 70$ мм, $d_1 = 10$ мм, $d_2 = 100$ мм предназначено для передачи $M_K = 650$ Нм.

Материал деталей – сталь 45 с пределом текучести $\sigma_{T1} = \sigma_{T2} = \sigma_T = 35 * 10^7$ Н/м². Высота неровностей поверхностей вала $R_{Zd} = 10$ мкм. Рабочая температура соединения 20 °С. Выбрать стандартную посадку и определить усилие запрессовки без применения термических способов сборки.

Расчет ведем в следующей последовательности:

1 Определяем $[p_{\min}]$:

$$[p_{\min}] = \frac{2M_K}{\pi * d_{HC}^2 * L * f} = \frac{2 * 650}{3,14 * (60 * 10^{-3})^2 * 70 * 10^{-3} * 0,08} = 2,05 * 10^7 \frac{H}{м^2},$$

где $f = 0,08$ выбрано из таблицы.

2 Определяем $N_{\min}$.

Предварительно определяем коэффициент C_1 :

$$C_1 = \frac{1 + (d_1 / d_{HC})^2}{1 - (d_1 / d_{HC})^2} - \mu_1 = \frac{1 + (10 / 60)^2}{1 - (10 / 60)^2} - 0,3 = 0,76$$

$$\text{при } \frac{d_{H.C.}}{d_2} = \frac{60}{100} = 0,6 \quad C_2 = 2,43.$$

Тогда

$$N'_{\min} = [p_{\min}] * d_{HC} * \left(\frac{C_1 + C_2}{E} \right) = 2,05 * 10^7 * 60 * 10^{-3} * \left(\frac{0,75 + 2,43}{2 * 10^{11}} \right) \approx \\ \approx 20 * 10^{-6} м = 20 мкм.$$

3 Определяем минимальный допустимый натяг . Предварительно определим поправку γ_m :

$$\gamma_m = 1,2(10 + 6,3) = 19,6 \text{ мкм};$$

$\gamma_t = 0$, так как температура $t_D = t_d = t_{CB} = 20^\circ \text{C}$;

$\gamma_u = 0$, так как детали не вращаются.

Принимаем с учетом возможных разборок $\gamma_n = 10 \text{ мкм}$.

Тогда:

$$[N_{\min}] = N'_{\min} + \gamma_m + \gamma_n = 20 + 19,6 + 10 = 49,6 \approx 50 \text{ мкм}.$$

4 Определяем величину $[p_{\max}]$, для чего рассчитываем p_1 и p_2 :

$$p_1 = 0,58\sigma_T \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_{HC}} \right)^2 \right] = 0,58 * 35 * 10^7 * \left[1 - \left(\frac{10}{60} \right)^2 \right] \approx 20 * 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2},$$

$$p_2 = 0,58\sigma_T \left[1 - \left(\frac{d_{HC}}{d_2} \right)^2 \right] = 0,58 * 35 * 10^7 \left[1 - \left(\frac{60}{100} \right)^2 \right] \approx 13 * 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

Следовательно, $[p_{\max}] = 13 * 10^7 \text{ Н / м}^2$.

5 Определим $N'_{\max}$:

$$\begin{aligned} N'_{\max} &= [p_{\max}] d_{HC} \frac{C_1 + C_2}{E} = 13 * 10^7 * 60 * 10^{-3} * \frac{0,76 + 2,43}{2 * 10^{11}} = \\ &= 124 * 10^{-6} \text{ м} = 124 \text{ мкм} \end{aligned}$$

6 Определяем максимальный допустимый натяг $[N_{\max}]$:

$$[N_{\max}] = N'_{\max} * \gamma_{уд} + \gamma_m = 124 * 0,93 + 19,6 = 135 \text{ мкм},$$

где $\gamma_{уд} = 0,93$

7 По [2] выбираем посадку $\varnothing 60 \frac{H7(+0,030)}{u7(+0,117/+0,087)}$, для которой $N_{max} = 117$ мкм

$< [N_{max}], N_{min} = 57 \text{ мкм} > [N_{min}]$. Запас прочности соединения для данной посадки равен: $N_{min} - [N_{min}] = 57 - 50 = 7$ мкм.

Запас прочности деталей $[N_{max}] - N_{max} = 135 - 117 = 18$ мкм. Фактические запасы прочности выше, так как в соединении (с вероятностью $\sim 0,9973$) не будет натягов, больших чем вероятностный максимальный натяг N_{max}^B , и меньших, чем вероятностный минимальный натяг N_{min}^B :

$$N_{min}^B = N_C - 0,5\sqrt{T_D^2 + T_d^2} = 87 - 0,5\sqrt{30^2 + 30^2} \approx 65,8 \text{ мкм},$$

$$N_{max}^B = N_C + 0,5\sqrt{T_D^2 + T_d^2} = 87 + 0,5\sqrt{30^2 + 30^2} \approx 108,2 \text{ мкм}.$$

8 Определяем усилия запрессовки

$$R_n = f_n p_{max} \pi d L = 0,095 * 10,3 * 10^7 * 3,14 * 60 * 10^{-3} * 70 * 10^{-3} = 131 * 10^3 \text{ Н},$$

где $f_n = 1,2$ $f = 1,2 * 0,08 = 0,96$.

$$p_{max} = \frac{(117 - 19,6) * 10^6}{60 * 10^{-3} \left(\frac{0,76 + 2,43}{2 * 10^{11}} \right)} = 10,3 * 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2},$$

Пример 2: По данным предыдущего примера выбрать стандартную посадку и определить необходимую температуру для сборки с разогревом охватываемой детали.

По аналогии с предыдущим примером.

1

$$[p_{min}] = \frac{2M_K}{\pi * d_{HC}^2 * L * f} = \frac{2 * 650}{3,14 * (60 * 10^{-3})^2 * 70 * 10^{-3} * 0,14} \approx 1,17 * 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2},$$

2 $C_1 = 0,76$; $C_2 = 2,43$; $N_{min} = 11,4$ мкм.

3 $[N_{min}] = 41$ мкм.

$$4 \quad [p_{max}] = 13 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2.$$

$$5 \quad N_{max} = 124 \text{ мкм.}$$

$$6 \quad [N_{max}] = 135 \text{ мкм.}$$

7 По таблице 1.49 /2/ подбираем посадку, для которой $N_{min} > 41$ мкм и $N_{max} \leq 135$ мкм. Посадка может остаться прежней, так как условие не изменилось.

$$\text{Итак, выбрана посадка } \varnothing 60 \frac{H7\left(\begin{smallmatrix} +0,030 \\ \end{smallmatrix}\right)}{u7\left(\begin{smallmatrix} +0,117 \\ +0,087 \end{smallmatrix}\right)}.$$

8 Определяем температуру нагрева охватываемой детали при температуре помещения для сборки $t_{CB} = 20^\circ \text{C}$:

$$t_H = \frac{N_{max} + S_{CB}}{\alpha * d} + t_{CB} = \frac{0,117 + 0,01}{11,6 * 10^{-6} * 50} + 20 = 204^\circ \text{C} = 477 \text{ K},$$

где S_{CB} принят равным S_{min} посадки $\varnothing 60 \frac{H7}{q6}$ [2]. ; $\alpha = 11,5 * 10^{-6}$ принят по [2]

для незакаленной стали.

5 Список рекомендуемой литературы

- 1 Якушев А. И., Воронцов Л. Н., Федотов Н. М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.
- 2 Допуски и посадки: Справочник/ Под ред. В. Д. Мягкова. - Ленинград: Машиностроение, 1980.-728 с.р.
- 3 Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1.-М.5 Машиностроение, 1980. – 728 с.
- 4 Петров Н. П. Трение в машинах. – М.: Изд-во АН СССР, 1948. –210 с.
- 5 Решетов Д .Н. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1975. –324 с.