

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАСПИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ И
ИНЖИНИРИНГА имени Ш.ЕСЕНОВА

ИНСТИТУТ НЕФТИ И ГАЗА
КАФЕДРА «НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО»

М.К.КАРАЖАНОВА

Методическое пособие
для выполнения практических работ по дисциплине
«Технология изготовления машин и оборудования»
(специальность 5В072400 – «Технологические машины и оборудования»)

Актау 2011г

УДК 621.9

Составитель: Каражанова М.К. Методическое пособие для выполнения практических работ по дисциплине «Технология изготовления машин и оборудования» (5В072400 – «Технологические машины и оборудования») – Актау: КГУТ иИ им. Ш. Есенова, 2011, с. 31

В настоящем методическом пособии представлены расчеты для проектирования технологического процесса изготовления деталей, расчеты погрешности при установке заготовок в приспособления, расчеты себестоимости изготовления, сравнение вариантов, рассматривается технологическое обеспечение качества изделий.

Рецензенты: к.т.н. доцент Джумагазиева Ш.К.,
Ергалиев Ж.Ж. - технический директор АО «Каскор машзавод»

Рекомендовано к изданию решением Учебно-методического совета Каспийского государственного университета технологий и инжиниринга им.Ш.Есенова

© КГУТиИ им. Ш. Есенова, 2011

Введение

Целью изучения курса является изучение студентами основ проектирования технологических процессов изготовления машин требуемого качества при минимальных затратах трудовых и энергоресурсов; обучение их методологии разработки технологических процессов в условиях современного производства.

В результате изучения дисциплины «Технология изготовления машин и оборудования» обучающиеся должны знать: о физико-химических свойствах металлов и сплавов; современные методы получения заготовок; основы обработки конструкционных материалов; должны уметь: анализировать существующие и проектировать новые технологические процессы обработки заготовок и сборки машин традиционными и автоматизированными методами; проектировать технологические процессы сборки изделия и обработки заготовок на отдельных станках, на автоматических линиях и автоматизированных участках; проводить исследования по совершенствованию технологических процессов механической обработки и сборки с целью повышения качества изделий, производительности труда и снижения себестоимости; Разрабатывать технические задания на проектирование и модернизацию технологического оборудования, приспособлений и инструментов автоматических линии, средств автоматизации, сборочных и контрольных операций

Курс дисциплины состоит из следующих тем: технология изготовления деталей, технология изготовления станин, базовых деталей, технология изготовления корпусных деталей, технология изготовления валов, технология изготовления деталей зубчатых передач, технология сборки.

Практические занятия охватывают следующие темы:

Расчеты при выполнении отдельных сборочных операций – рассматривают расчеты для проектирования технологического процесса изготовления детали, т.е., при запрессовке, клепке и т.д.; технологичность конструкции детали – определение степени ее соответствия требованиям наиболее производственного и экономичного изготовления; расчеты погрешности при установке заготовок в приспособления, определяется погрешность закрепления деталей при эксплуатации до износа; расчеты припусков – определяется минимальный припуск на обработку, достаточной для устранения на выполняемом переходе погрешностей обработки и дефектов поверхностного слоя (при изготовлении вала); расчет технологической себестоимости – определение себестоимости изготовления, сравнение вариантов, выбор оптимального варианта; технологическое обеспечение качества изделий - определение отклонений от идеальной геометрической формы, здесь рассматривается определение ожидаемой шероховатости.

1.Технология изготовления деталей

1.1 Расчеты при выполнении сборочных операций

Теоретическая часть

При проектировании отдельных сборочных операций выполняют расчеты по определению усилий, необходимых для сборки неразъемных соединений, которые определяют параметры соответствующего оборудования. Соединения с гарантированным натягом осуществляют запрессовкой (продольно – прессовые соединения) или путем теплового воздействия на сопрягаемые детали (поперечно – прессовые соединения).

При запрессовке наибольшая сила, необходимая для сборки:

$$P = f\pi dl\rho \quad (1.1)$$

где f - коэффициент трения на контактной поверхности ($f = 0,08 \dots 0,1$);

d – номинальный диаметр сопряжения, мм;

l – длина сопрягаемых поверхностей, мм;

ρ – давление на поверхности контакта, МПа.

При этом

$$\rho = \frac{i \cdot 10^{-3}}{d \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)} \quad (1.2)$$

где i – натяг в сопряжении, мкм;

E_1, E_2 – модуль упругости материалов вала и втулки соответственно, ГПа.

Коэффициенты:

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} - \mu_2 \quad (1.3)$$

где d_1 – диаметр отверстия пустотелого вала, мм;

d_2 – наружный диаметр напрессовываемой детали (втулки), мм;

μ_1, μ_2 - коэффициент Пуассона материалов вала и втулки соответственно.

Для сплошного вала $d_1 = 0$ в $C_1 = 1 - \mu$

Расчетный натяг определяется с учетом шероховатости сопрягаемых поверхностей:

$$i = \Delta d - 1,2(Rz_1 + Rz_2), \quad (1.4)$$

где Δd - наибольшая разность диаметров охватываемой и охватывающей детали, мкм;

Rz_1, Rz_2 – высота неровностей профиля по десяти точкам, мкм.

При тепловой сборке температуру T_n нагрева охватывающей детали или температуру охлаждения охватываемой, которая должна быть в начальный момент выполнения соединения, определяют по зависимости

$$T_{\text{н}} > \frac{\Delta d \cdot 10^{-3}}{\alpha d}, \quad (1.5)$$

Где α - коэффициент расширения материала детали; d – номинальный диаметр сопряжения, мм.

При переносе детали из нагревательного (охлаждающего) устройства на сборочную позицию неизбежно ее охлаждение (нагрев). Зная время переноса детали t , мин, можно найти температуру $T_{\text{в}}$, которую должна иметь деталь в момент ее выгрузки из нагревательного (охлаждающего устройства):

$$T_{\text{в}} = T + \frac{\dot{\theta}_i - \dot{\theta}}{e^{-kt}}, \quad (1.6)$$

T – температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Показатель k зависит от размеров и конфигурации детали, ее материала и метода нагрева (охлаждения). Его определяют экспериментально.

При выполнении операции клепки усилие P , необходимое для образования головок заклепок при холодной клепке,

$$P = \Phi d^{1,75} \sigma_a^{1,75} \quad (1.7)$$

Φ – коэффициент формы замыкающей головки заклепки (таблица 1.1)

d – диаметр стержня заклепки, мм;

σ – предел прочности материала заклепки при растяжении, МПа.

Значения коэффициента формы Φ

Таблица 1.1

Типы заклепок	Φ
Со сферическими головками	28,6
С плоской и потайной головками	26,2
С плоскими головками	15,2
Трубчатые	4,33
полутрубчатые	4,33

При выполнении операций развальцовки сила P_0 , необходимая для осадки концов трубки на конус, и сила $P_{\text{отб}}$, необходимая для отбортовки трубок, определяются по зависимости

$$P_0 = P_{\text{отб}} = K \frac{S(D+d)}{2} \frac{D_1}{D} \sigma_{\delta} \quad (1.8)$$

K – коэффициент, учитывающий размеры, свойства материала трубок и характер выполняемой операции (таблица 1.2)

Материал трубок	Развальцовка	Отбортовка
Медь	45	57
Сталь	55	78

S – толщина стенки, мм

D, d – наружный и внутренний диаметры трубки, мм;

D_1 - диаметр развальцованного конца трубки

σ_0 - предел текучести материала трубок, МПа.

Задача 1. Бронзовую втулку ($E = 100$ ГПа, $\mu = 0,05$) запрессовывают в отверстие корпуса из чугуна ($E = 120$ ГПа, $\mu = 0,07$), наружный диаметр втулки $40^{+0,068}_{+0,043}$ мм, внутренний диаметр $30_{-0,2}$ мм, диаметр отверстия корпуса $40_{+0,039}$ мм.

Шероховатость сопрягаемых поверхностей втулки и отверстия корпуса $Rz = 6,2$ мкм. Длина запрессовки $L = 40$ мм. Коэффициент трения при запрессовке $f = 0,08$. Определить необходимое усилие запрессовки.

Задача 2. На стальной вал диаметром $60 \text{ h}8$ мм и шероховатостью поверхности $Rz = 3,8$ мкм напрессовывают бронзовую втулку с наружным диаметром $80^{+0,3}$ мм и внутренним диаметром $60 \text{ U}8$ мм. Шероховатость внутренней поверхности втулки $Rz = 2,8$ мкм. Длина стержня вала и втулки 30 мм. Коэффициент трения при запрессовке $f = 0,1$. Определить необходимое усилие запрессовки.

Задача 3. Рассчитать усилие P , необходимое для образования головок заклепок при холодной клепке, по данным, приведенным в таблице 1.3.

Исходные данные к задаче 1.3

Таблица 1.3

Вариант	Тип заклепок	Материал заклепок	Диаметр стержня, мм
1	Со сферическими головками	сталь	6
2	С плоской и потайной головками	медь	10
3	С плоскими головками	латунь	12
4	трубчатые	Алюминиевые сплавы	8
5	полутрубчатые	медь	16

Задача 4. Определить усилие, необходимое для выполнения операции развальцовки или отбортовки трубок, по данным таблицы 1.4

Таблица 1.4

Вариант	Материал трубок	Выполняемая операция	Наружный диаметр D , мм	Внутренний диаметр d , мм
1	Медь	Развальцовка	14	10
2	Медь	Отбортовка	16	12
3	Сталь	Развальцовка	12	8
4	сталь	Отбортовка	14	10

2. Технология изготовления станин, базовых деталей

2.1 Технологичность конструкции детали.

Теоретическая часть

Технологичность - это совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте при заданных показателях качества, объеме выпуска и условиях выполнения работ.

Производственная технологичность конструкции детали – это степень ее соответствия требованиям наиболее производительного и экономичного изготовления. Чем меньше трудоемкость и себестоимость изготовления, тем более технологичной является конструкция детали.

Оценка технологичности конструкции бывает двух видов: качественная и количественная.

Качественная оценка технологичности является предварительной, обобщенной и характеризуется показаниями «лучше - хуже», «рекомендуется – не рекомендуется», «технологично – нетехнологично» и т.п. Технологичной при качественной оценке следует считать такую геометрическую конфигурацию детали и отдельных элементов, при которой учтены возможности минимального расхода материала и использования наиболее производительных и экономичных для определенного типа производства методов изготовления.

Количественная оценка технологичности выражается показателем, численное значение которого характеризует степень удовлетворения требований к технологичности. Применительно к производству количественную оценку технологичности производят по суммарной трудоемкости $\sum T_{ш.к.}$ и технологической себестоимости C_T , а также по техническим показателям, определение которых возможно из чертежа детали.

К ним относятся коэффициенты точности K_T и шероховатости $K_{ш}$

$$K_T = 1 - \frac{1}{\dot{\sigma}_{\bar{n}\delta}}, \quad (2.1)$$

$$\dot{\sigma}_{\bar{n}\delta} = \frac{\sum \dot{\sigma}_i n_i}{\sum n_i} \quad (2.2)$$

$$K_{ш} = \frac{1}{Ra_{\bar{n}\delta}} \quad (2.3)$$

$$Ra_{\bar{n}\delta} = \frac{\sum Ra_i n_i}{\sum n_i} \quad (2.4)$$

T_i, Ra_i - соответственно качества точности и значения параметра шероховатости обрабатываемых поверхностей;

$T_{\bar{n}\delta}, Ra_{\bar{n}\delta}$ - средние значения этих параметров;

n_i - число размеров или поверхностей для каждого качества и значения параметров шероховатости.

В общем случае технологичность детали (индекс «д») должна оцениваться путем сравнения ее показателей с соответствующими показателями детали – аналога (индекс «а»). под деталью – аналогом понимается базовая деталь, выполняющая в изделии те же функции, что и анализируемая, и имеющая известные базовые показатели, т.е. показатель Π_d сравнивается с показателем Π_a . Так трудоемкость детали T_d может быть определена как:

$$T_d = T_a K_M K_{сл} K_N \quad (2.5)$$

T_a – трудоемкость обработки детали – аналога, мин;

$K_M, K_{сл}, K_N$ - коэффициенты, учитывающие различия детали и детали – аналога соответственно по массе, сложности обработки и программе выпуска.

$$K_M = \left(\frac{\dot{M}_d}{\dot{M}_a} \right)^{0,67} \quad (2.6)$$

где M_d и M_a – соответственно масса детали и детали – аналога, кг.

$$\text{Коэффициент } K_{сл} = \frac{K_{T.нм.д} K_{ш.нм.д}}{K_{T.нм.а} K_{ш.нм.а}}, \quad (2.7)$$

$K_{T.нм.д}, K_{ш.нм.д}$ и $K_{T.нм.а}, K_{ш.нм.а}$ – коэффициенты, показывающие изменение трудоемкости в зависимости от изменения наименьших значений качества точности и параметра шероховатости соответственно детали и детали – аналога.

При этом $K_{T.нм.д} = 4 T_{нм.д}^{-0,63}$

$K_{ш.нм.д} = 1,19 Ra_{нм.д}^{-0,071}$

$T_{нм.д}, Ra_{нм.д}$ – соответственно наименьшие значения качества точности и параметра шероховатости поверхности.

Коэффициент:

$$K_N = \left(\frac{N_a}{N_d} \right)^m \quad (2.8)$$

N_a, N_d – соответственно годовой выпуск аналога и детали, шт., а m – показатель степени, определяемый по формуле:

$$m = 0,2 M_d^{-0,045}$$

Пример. Определить трудоемкость детали при обработке ее на технологичность, если известно, что трудоемкость изготовления детали – аналога составляет $T_a = 36$ мин. При годовом объеме выпуска $N = 1000$ шт.

Известно также, что масса детали $M_d = 2,2$ кг, ее аналога $M_a = 2,6$ кг, наименьшие квалитет и параметр шероховатости и детали и ее аналога соответственно $T_{нм.д} = 8$ к, $T_{нм.а} = 10$ и $Ra_{нм.д} = 1,25$ мкм, $Ra_{нм.а} = 2,5$ мкм. Годовая программа выпуска детали предполагается $N_d = 1250$ шт.

Решение. В соответствии с формулами (2.1 – 2.8)

$$K_M = (2,2/2,6)^{0,67} = 0,894$$

$$K_{T,нм.д} = 4 * 8^{-0,63} = 1,08$$

$$K_{T,нм.а} = 4 * 10^{-0,63} = 0,94$$

$$K_{ш,нм.д} = 1,19 * 1,25^{-0,071} = 1,17$$

$$K_{ш,нм.а} = 1,19 * 2,5^{-0,045} = 0,193$$

$$K_{сл} = 1,08 * 1,17 / (0,94 * 1,11) = 1,2$$

$$m = 0,2 * 2,2^{-0,045} = 0,193$$

$$K_N = (1000/1250)^{0,193} = 0,96$$

$$T_d = 36 * 0,894 * 1,2 * 0,96 = 37 \text{ мин.}$$

Таким образом, несмотря на существенное увеличение трудоемкости за счет сложности обработки ($K > 1$), технологичность детали по трудоемкости в сравнении с аналогом практически не изменяется, так как уменьшена масса и увеличена годовая программа выпуска.

Задача. Определить трудоемкость детали при обработке ее на технологичность по вариантам, приведенным в таблице. 2.1

Таблица 2.1

вариант	Деталь				Деталь – аналог				
	$M_d, \text{кг}$	$T_{нм.д}$	$Ra_{нм.д, \text{мкм}}$	$N_{д, \text{шт}}$	$M_a, \text{кг}$	$T_{нм.а}$	$Ra_{нм.а, \text{мкм}}$	$N_{а, \text{шт}}$	$T_a, \text{мин}$
1	2,3	8	2,5	1500	2,8	7	1,25	1000	36,0
2	7,2	10	6,3	2500	6,9	9	2,5	3000	15,8
3	12,4	9	2,5	1000	13,7	10	5,3	1500	42,0
4	1,2	7	0,63	1500	1,5	6	0,32	1000	25,0
5	2,8	6	0,32	60000	2,3	7	0,63	40000	10,6
6	0,8	11	2,5	25000	1,1	10	1,25	30000	31,0
7	6,5	10	1,25	25000	6,1	9	0,63	15000	22,0
8	10,0	10	2,5	1000	9,2	11	6,3	1200	13,5
9	21,6	8	1,25	25000	22,8	9	2,5	2000	7,5
10	16,4	7	0,63	500	14,8	6	0,32	1000	26,0
11	8,6	7	1,25	800	10,0	8	2,5	600	18,0
12	2,6	12	6,3	3500	2,9	10	2,5	5000	34,0

3. Расчеты погрешности при установке заготовок в приспособления

3.1 Расчет погрешности закрепления

Погрешность закрепления является одной из составляющих погрешности установки. Для определения погрешности ε_3 или $\varepsilon_{3.0}$ и $\varepsilon_{3.и}$ используются формулы, приведенные в таблице 3.1.

Формулы для расчета погрешности закрепления ε_3

Таблица 3.1

Погрешность закрепления	Опоры со сферической головкой (ГОСТ 13441 – 68*)	Опоры со насеченной головкой (ГОСТ 13441 – 68*)	Опоры с плоской головкой и опорные пластины (ГОСТ 13441 – 68*)	Призмы
ε_3' – из – за непостоянства силы закрепления	$\{6,2[\theta / (rQ)]^{\frac{1}{3}} + R_{max_3} / (19,56Q)^{\frac{8}{9}} \times [1 / 0,4HB(\theta_r)^{\frac{2}{3}}]^{\frac{1}{3}}\} \Delta Q$	$0,15R_{max_3} / Q^{\frac{2}{3}} \times [t^2 / (\pi D^2 b_1^2 HB)]^{\frac{1}{3}} \Delta Q$	$\{0,4(4 + R_{max_3}) / [(2 + \nu_3) \times Q^{(2+\nu_3)/(3+\nu_3)}] \times [100 / (Ac' \sigma_T b_{\Sigma})]^{1/(3+\nu_3)} + 0,9(R_{в.3}/Q)^{1/3} \times (W_3 \theta / A)^{2/3}\} \Delta Q$	$(0,1C_M / \sin \alpha) \Delta q$
ε_3'' – из – за неоднородности шероховатости базы заготовок	$[Q^{\frac{1}{3}} / (22,4HB(\theta_r)^{\frac{2}{3}})^{\frac{1}{3}}] \times \Delta R_{max_3}$	$0,46 [Qt^2 / (\pi D^2 b_1 HB)^{\frac{1}{3}}] \times \Delta R_{max_3}$	$[Q / (Ac' \sigma_T b_{\Sigma})]^{1/(3+\nu_3)} \Delta R_{max_3}$	$\{1,1q^{1/[10(\nu_0+\nu)]} \times K_1 a_1 / [\sin \alpha (1 + W_3 + Rz_0 + Rz_3)^{1-s_1}] \} \Delta Rz_3$
ε_3''' – из – за неоднородности волнистости базы заготовок	0	0	$4,3 \cdot 10^{-2} (\theta Q / A)^{\frac{2}{3}} \times [(W_3 / R_{в.3})^{\frac{2}{3}} \Delta R_{в.3} + 2(R_{в.3}/W_3)^{1/3} \Delta W]_{\beta}$	$\{0,87q^{0,2} Ka / [\sin \alpha d^{0,2} \times (1 + W_3)^{1-a}] \} \Delta W_3$
$\varepsilon_{3.и}$ – из – за износа опорной поверхности установочного элемента	$125 \left\{ \left[(\theta Q / r^2)^{\frac{2}{3}} + R_{max_3} / r^{\frac{11}{9}} \right] \times \left[Q^{\frac{1}{3}} / 10,4HB\theta^{\frac{2}{3}} \right] \times (r_u - r) \right\}$	$0,46 R_{max_3} \times [1 / b_1^{\frac{2}{3}} - 1 / (b_1 + 2u)^{\frac{2}{3}}]$	0	$0,1 / \sin \alpha [0,4C_M q / (1 + K_u)^2 + 3K(1 + W_3)^a / (1 + K_u)^{0,4} \times (q/d)^{0,2}] (K_{\delta} - 1)$

Пояснения к таблице 3.1

1. $\varepsilon_3 = \cos\beta(\varepsilon_{3.o.} + \varepsilon_{3.u.})$ - суммарная погрешность закрепления, где β - угол между направлением выдерживаемого размера и направлением наибольшего

перемещения. При этом $\varepsilon_{3.o.} = \sqrt{(\varepsilon_{3i}^I)^2 + (\varepsilon_3^{II})^2 + (\varepsilon_3^{III})^2}$.

2. Q – сила, действующая по нормали на опору, Н.

3. q - суммарная линейная нагрузка, действующая по нормали к рабочим поверхностям призмы, Н/см.

4. Параметры качества поверхности заготовок – по таблице

5. Параметры шероховатости базирующей поверхности призмы при расчете перемещения γ : $Rz_0 = 1,1$ мкм, $\nu_0 = 1,4$ – для призм, бывших в эксплуатации.

6. K, a, K_1 и a_1 – коэффициенты

7. Величины с индексом Δ определяют непостоянство соответствующих параметров.

8. Индексы «з» и «о» означают, что рассматриваемые параметры относятся к заготовке и к опоре соответственно.

9. E_0, E_3, μ_0, μ_3 - соответственно модули упругости, ГПа, и коэффициенты

Пуассона материала опоры и заготовки.

10. Упругая постоянная материалов заготовки и опоры (1/ГПа)

$$\theta = \frac{1 - \mu_0^2}{E_0} + \frac{1 - \mu_3^2}{E_3}.$$

11. HB – твердость материала заготовки по Бринеллю.

12. c' – безразмерный коэффициент стеснения, характеризующий степень упрочнения поверхностных слоев обработанных баз заготовки

13. d – диаметр цилиндрической базы заготовки, мм.

14. T_d – допуск на диаметр d, мм

15. σ_0 - предел текучести материала заготовки, МПа.

16. A – номинальная площадь опоры, мм²

17. $r_{и} = r^2 / (r - 8u)$ – радиус изношенной сферической опоры, мм, где r – радиус неизношенной сферической опоры, мм (ГОСТ 13441 – 68*)

18. u – линейный износ опоры (призмы), мм.

19. 2α - угол призмы

20. Rmax – наибольшая высота неровностей профиля, мкм.

21. Rz – высота неровностей профиля по десяти точкам, мкм

22. Ra - среднеарифметическое отклонение профиля, мкм

23. Для практических расчетов принимают $R_{max} \approx 1,25Rz \approx 6Ra$

24. ν, b - безразмерные параметры опорной кривой

25. W, R_в – соответственно высота и длина волны поверхности

26. b_{Σ} - безразмерный приведенный параметр кривой опорной поверхности, характеризующий условия контакта базы заготовки с опорой:

$$b_{\Sigma} = \frac{0,24(0,4 - 0,1\nu_3) b_3 (4 + R_{\max_3})^{2+\nu_3}}{R_{\max_3}^{\nu_3}}$$

27. K_i - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние износа призмы:

$$K_u = \sqrt{R_u} / (R_u - 0,5d)$$

Где R_H -радиус изношенной поверхности призмы, мм; если обрабатываемая поверхность заготовки расположена с одной стороны от призмы, то

$$R_H = 0,22 \left[\sqrt{2,28du} + (0,5T_d + 0,57u) \operatorname{ctg} \alpha \right]^2 / u;$$

Если с двух сторон, то

$$R_H = 0,125 \left[2\sqrt{du} + (0,5T_d + u) \operatorname{ctg} \alpha \right]^2 / u$$

28. C_M, C_B, C_{III} - безразмерные расчетные коэффициенты

29. При проектном расчете опор, не бывших в эксплуатации, принимают $\gamma_n = \gamma$; $K_n = 0$ и $K = 1$.

30. D, t, b_i - параметры опор с насеченной головкой, мм

Параметры качества цилиндрических баз заготовок Таблица 3.2

Материал заготовки	Метод обработки базы	Rz_3	ΔRz_3	W_3	ΔW_3	v_3
		МКМ				
сталь	точение	30	20	10	10	1,94
		15	10	8	8	1,89
		7,5	5	5	6	1,8
		3,8	2,5	3	2	1,51
	Шлифование цилиндрических наружных поверхностей	7,5	5	5	5	2,18
		3,8	2,5	3	2	1,94
		1,7	1,25	2	2	1,92
		1	0,65	1,5	1	1,9
чугун	точение	30	20	10	10	2,6
		15	10	8	8	2,2
		7,5	5	5	6	2,1
		3,8	2,5	3	2	1,8
	Шлифование цилиндрических наружных поверхностей	7,5	5	5	5	1,99
		3,8	2,5	3	2	1,95
		1,7	1,25	2	2	1,83
бронза	точение	30	20	10	10	2,2
		15	10	8	8	1,95
		7,5	5	5	6	1,9
		3,8	2,5	3	2	1,4
Алюминиевые сплавы		30	20	10	10	1,8
		15	10	8	8	1,65
		7,5	5	5	6	1,6
		3,8	2,5	3	2	1,6

Примечание. Значения ΔW_3 приведены для случая обработки баз заготовок на нескольких станках одной модели. При обработке баз на одном и том же станке $\Delta W_3 \approx 0,3W_3$

Метод обработки баз	R _{max3}	Δ R _{max3}	W ₃	R _{в.э.}	ν ₃	b ₃	с'
	МКМ						
Строгание	45	30	12	95/20	2,2	1,75/0,75	5,24
	22,5	15	3,5/4	40/30	2,1/2	1,9/0,92	
	11,2	7,5	2	85/60	2/1,95	2/1,2	
	5,7	3,3	1/1,4	100/80	1,95/1,9	2,1/1,65	
Фрезерование торцовыми фрезами	22,5	15	7/6,2	250/200	2,2/2	0,4/0,42	5,24
	11,2	7,5	5/4,7	600/700	1,65/1,95	0,55/0,7	5
	5,7	3,3	3/2,3	700/800	1,4/1,8	0,6/0,75	5
Фрезерование цилиндрическими фрезам	45	30	4/30	5/10	2,8	1,2/1,4	5,7
	22,5	15	15/12	40/25	2,55/2,6	1,5/1,6	
	11,2	7,5	9/10	40/30	2,35/2,4	1,6/1,7	
	5,7	3,3	7/5	45/60	2,25/2,15	1,65/2,1	
Шлифование плоских поверхностей	11,2	7,5	12/9	45/42	1,95/2	0,9/1	5,48
	5,7	3,3	7,5/5	50/115	1,85/1,97	0,95/1,25	5,24
	3,7	1,8	3,75/1,7	30/225	1,8/1,95	1,6/1,9	5,24
	1,4	1	1,2/1,3	350/340	1,65/1,19	2,3/2,7	5

Примечания. 1. В числителе - только для стальных, а в знаменателе-только для чугуновых заготовок, остальное - и для стальных, и для чугуновых заготовок.
 2. Δ W₃ = (0,15... 0,2)W₃ - при обработке на одном и том же станке; Δ W₃ ≈ W₃ при обработке на нескольких станках одной модели.
 3. Δ R_{в.э.} ≈ (0,01...0,005)R_{в.э.} .если заготовки были обработаны на одном неизношенном станке; Δ R_{в.э.} ≈ R_{в.э.} если заготовки были обработаны на нескольких станках одной и той же модели

Данные для определения коэффициентов C_м, C_в, C_ш

Таблица 3.4

Материал заготовки	C _м	K	a	K ₁	a
Сталь	0,026	0,82	0,695	0,62	0,55
Чугун	0,033	1,145	0,536	0,67	0,582
Бронза	0,04	1,2	0,55	0,676	0,575
Алюминиевые сплавы	0,056	1,46	0,49	0,87	0,56

Примечания.
 1. C_в=K(1 + W₃)^a
 2. C_ш = K₁(1 + W₃+R_{Z0} + R_{Z3})^{a1}

Пример 1. Дано: заготовки из чугуна (E₃ = 140 ГПа, μ₃ = 0,25, HB = 170...190, R_{max} = 200...300 мкм) устанавливаются на сферические опоры (E₀ = 210 ГПа, μ_i = 0,3, r = 20 мм) Действующая по нормали на опору сила Q = 2000 ± 300 Н. Допустимый износ опоры u = 300 мкм = 0,3 мм. Определить погрешность закрепления до допустимого износа. Решение.

1. Исходя из условий: Q = 2000 Н; ΔQ= 600 Н; R_{max} = 250 мкм; Δ R_{max} =100 мкм; твердость HB = 180, согласно пп. 10 и 17 пояснений к табл. 3.1 вычисляем:

$$\theta = (1 - 0,3^2) / 210 + (1 - 0,25^2) / 140 = \frac{1,1}{10^2} \frac{1}{ГПа}$$

2. По таблице 3.1 находим погрешности закрепления:

$$\varepsilon_3^I = \{6,2[(1,1/10^2)/(20*2000)]^{1/3} + 250/(19,56*2000^{8/9}) * [1/(10,4*180(1,1/10^2 * 20)^{2/3})]^{1/3}\} 600 = 10 \text{ мкм.}$$

$$\varepsilon_3^{II} = \{2000^{1/3} [22,4*180(1,1/10^2*20)^{2/3}]^{1/3} * 100 = 57 \text{ мкм.}$$

$$\varepsilon_{3.и.} = 125 \{ (1,1/10^2 \cdot 2000 / 20^2)^{2/3} + 250 / 20^{11/9} \times [2000^{1/3} / (10,4 \cdot 180 (1,1/10^2)^{2/3})] (22,8 - 20) \} = 4,96 \text{ мкм.}$$

$$3. \varepsilon_3 = \sqrt{10^2 + 57^2} + 4,96 = 62,8 \text{ мкм.}$$

Пример 2. Дано: заготовки из чугуна ($R_{\max} = 200 \dots 300$ мкм, $HV = 170 \dots 190$) устанавливают на рифленые опоры 7034 - 0379 ГОСТ 13442 - 68* ($D = 20$ мм; $t = 2$ $b_1 = 0,5$ мм). Действующая по нормали на одну опору сила $Q = 2000 \pm 300$ Н. Допустимый износ опоры $u = 300$ мкм. Определить погрешность закрепления при эксплуатации до допустимого износа.

Решение.

1. Определим условия: $Q = 2000$ Н ; $\Delta Q = 600$ Н. $R_{\max} = 250$ мкм; $\Delta R_{\max} = 100$ мкм; $HV = 180$

2. По таблице 3.1 находим:

$$\varepsilon_3^I = 0,15 * 250 / 2000^{2/3} [2^2 / (\pi * 20^2 * 0,5^2 * 180)]^{1/3} * 600 = 6 \text{ мкм;}$$

$$\varepsilon_3^{II} = 0,46 [2000 * 2^2 / (\pi * 20^2 * 0,5^2 * 180)]^{1/3} * 100 = 24,2 \text{ мкм;}$$

$$\varepsilon_{3.и.} = 0,46 * 250 [2000 * 2^2 / (\pi * 20^2 * 180)]^{1/3} * [1/0,5^{2/3} - 1/(0,5 + 2*0,3)^{2/3}] = 24,7 \text{ мкм;}$$

$$3. \varepsilon_3 = \sqrt{(6^2 + 24,2^2)} + 24,7 = 49,65 \text{ мкм.}$$

4.

Пример 3. Дано: заготовки из стали 45, диаметром $50^{+0,2}$ мм, обработанные точением ($Rz_3 = 30$ мкм; $\Delta Rz_3 = 20$ мкм; $\nu_3 = 1,9$; $W_3 = 8$ мкм; $\Delta W_3 = 6$ мкм), устанавливают в призме с углом $2\alpha = 90^\circ$ для фрезерования шпоночного паза. Нормальная нагрузка на опоре $q = 2000$ Н/см; $\Delta q = 600$ Н/см. Максимально допустимый износ опорной поверхности призмы $u = 0,3$ мм. Сила резания приложена с одной стороны призмы. Определить погрешность закрепления при эксплуатации до допустимого износа.

Решение. 1. По таблице 3.4 $C_M = 0,026$; $K = 0,82$; $a = 0,695$; $K_I = 0,62$; $a_1 = 0,55$; $C_B = 0,82(1 + 8)^{0,695} = 3,8$; $C_{III} = 0,62(1 + 8 + 3,5 + 30)^{0,55} = 4,85$.

Вычисляем

$$R_{и.} = 0,22 [\sqrt{(2,28 * 50 * 0,3)} + (0,5 * 0,2 + 0,57 * 0,3) \text{ctg} 45^\circ] / 0,3 = 26,3 \text{ мм;}$$

$$K_{и.} = \sqrt{(26,3 / (26,3 - 0,5 * 50))} = 4,5.$$

2. По таблице 3.1 при $Rz_0 = 1,1$ мкм и $\nu_0 = 1,4$ находим:

$$\varepsilon_3^I = 0,1 * 0,026 / \sin 45^\circ * 600 = 2,2 \text{ мкм;}$$

$$\varepsilon_3^{II} = \{1,1 * 2000^{1/[10(1,1+1,9)]} * 0,62 * 0,55 / [\sin 45^\circ (1+8+1,1+30)^{1-0,55}]\} * 20 = 2 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_3^{III} = \{0,87 * 2000^{0,2} * 0,82 * 0,695 / [\sin 45^\circ * 50^{0,2} (1+8)^{1-0,695}]\} * 6 = 5,9 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_{3u} = 0,1 / \sin 45^\circ [0,4 * 0,026 * 2000 / (1+4,5)^2 + 3 * 0,82 (1+8)^{0,695} / (1+4,5)^{0,4} * (2000/50)^{0,2}] (4,5-1) = 6,25 \text{ мкм}.$$

$$3. \quad \varepsilon_3 = \sqrt{(2,2^2 + 2^2 + 5,9^2)} + 6,25 = 12,85 \text{ мкм}.$$

Задача . Определить погрешность ε_2 вызываемую износом опор после обработки 15000 заготовок. Необходимые сведения о заготовке, приспособлении и условиях обработки приведены в таблицах 3.5, 3.6, 3.7

Исходные данные по заготовке

Таблица 3.5

Вариант	Материал	HRC ₃ (HB)	Форма базовой поверхности	N _Г	T _н , мм
1	Сталь незакаленная	(HB160)	Цилиндр	40000	0,2
2		(HB220)		100000	0,3
3	Чугун*	-	Плоскость	55000	0,28
4				70000	0,18
5	Сталь закаленная	HRC ₃		85000	0,16
6	Чугун*	-		20000	0,25
7	Сталь незакаленная	(HB 220)		5000	0,2
8	Чугун	-		25000	0,19

Исходные данные по приспособлению

Таблица 3.6

Вариант	Тип опоры	Материал	Твердость Опоры HV	F, мм	Q, Н	L, мм
1	Призма	Сталь 20	650	36,1	10000	20
2		Сталь 40X	730	28,5	8000	40
3	Пластина опорная	Сталь 20	500	640	9000	50
4	Штырь с плоской головкой	Сталь 45	700	28,3	2000	20
5		Сплав ВК8	800	28,3	2400	32
6	Штырь со сферической головкой	Сталь У10А	600	2,9	6000	25
7		Сталь 20	520	3,36	12000	30
8	Штырь с рифленой головкой	Сталь 40X	570	10	9800	45

Условия обработки

Таблица 3.7

Вариант	Метод обработки	ϖ , мм	T _м , мин
1	Фрезерование с охлаждением	0,1	1,95
2	Сверление без охлаждения	0,12	2
3	Фрезерование без охлаждения	0,12	3,2
4	Шлифование без охлаждения	0,06	4,7
5	Шлифование с охлаждением	0,06	2,1
6	Фрезерование без охлаждения	0,12	1,3
7	Фрезерование с охлаждением	0,1	0,8
8	Точение без охлаждения	0,08	1,2

4. Технология изготовления валов

4.1 Расчет припусков

Теоретическая часть

Припуск - слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности детали. Припуск на обработку поверхностей детали может быть назначен по справочным таблицам или на основе расчетно - аналитического метода. Расчетной величиной припуска является минимальный припуск на обработку, достаточный для устранения на выполняемом переходе погрешностей обработки и дефектов поверхностного слоя, полученных на предшествующем переходе, и для компенсации погрешностей, возникающих на выполненном переходе. Минимальный припуск:

а) при обработке наружных и внутренних поверхностей (двусторонний припуск)

$$2 Z_{\text{imin}} = 2 [(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2}] \quad (4.1)$$

б) при обработке поверхностей вращения в центрах

$$2Z_{\text{imin}} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1}); \quad (4.2)$$

в) при последовательной обработке противоположащих поверхностей (односторонний припуск)

$$Z_{\text{imin}} = (Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i \quad (4.3)$$

г) при параллельной обработке противоположащих поверхностей (двусторонний припуск)

$$2Z_{\text{imin}} = 2[(Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i] \quad (4.4)$$

где Rz_{i-1} - высота неровностей профиля по десяти точкам на предшествующем переходе; h_{i-1} - глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе (обезуглероженный или отбеленный слой); $\Delta_{\Sigma i-1}$ - суммарное отклонение расположения поверхности (отклонение от параллельности, перпендикулярности, соосности) на предшествующем переходе; ε_i - погрешность установки заготовки на выполняемом переходе. Отклонение расположения Δ_{Σ} необходимо учитывать у заготовок (под первый технологический переход), после черновой и получистовой обработки лезвийным инструментом (под последующий технологический переход) и после термической обработки. В связи с закономерным уменьшением величины припуска при обработке поверхности за несколько переходов на стадиях чистовой и отделочной обработки его пренебрегают.

На основе расчета промежуточных припусков определяют предельные размеры заготовки по всем технологическим переходам. Промежуточные расчетные размеры устанавливают в порядке, обратном ходу технологического процесса обработки этой поверхности, т. е. от размера готовой детали к размеру заготовки, путем последовательного прибавления (для наружных поверхностей) к исходному размеру готовой детали промежуточных припусков или путем последовательного вычитания (для внутренних поверхностей) от

исходного размера готовой детали промежуточных припусков. Наименьшие (наибольшие) предельные размеры по всем технологическим переходам определяют, округляя их увеличением (уменьшением) расчетных размеров до того знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода. Наименьшие (наибольшие) предельные размеры вычисляют путем прибавления (вычитания) допуска к округленному наименьшему (наибольшему) предельному размеру.

Предельные значения припусков Z_{\max} определяют как разность наибольших (наименьших) предельных размеров и Z_{\min} как разность наибольших (наименьших) предельных размеров предшествующего и выполняемого (выполняемого и предшествующего) переходов.

Общие припуски $Z_{0\max}$ и $Z_{0\min}$ находят как сумму промежуточных припусков на обработку:

$$Z_{0\max} = \sum Z_{i\max} \quad (4.5)$$

$$Z_{0\min} = \sum Z_{i\min} \quad (4.6)$$

Правильность расчетов определяют по уравнениям:

$$Z_{i\max} - Z_{i\min} = T_{i-1} - T_i \quad (4.7)$$

$$2Z_{i\max} - 2Z_{i\min} = T_{D_{i-1}} - T_{D_i} \quad (4.8)$$

$$Z_{0\max} - Z_{0\min} = T_{\text{заг}} - T_{\text{дет}} \quad (4.9)$$

$$2Z_{0\max} - 2Z_{0\min} = T_{D_{\text{заг}}} - T_{D_{\text{дет}}} \quad (4.10)$$

где T_{i-1} , $T_{D_{i-1}}$ - допуски размеров на предшествующем переходе; T_i , T_{D_i} - допуски размеров на выполняемом переходе;

$T_{\text{заг}}$, $T_{0\text{заг}}$ - допуски на заготовку; $T_{\text{дет}}$, $T_{0\text{дет}}$ - допуски на деталь.

Пример. Трехступенчатый вал изготавливается из стали 45 методом штамповки класса точности 5Т по ГОСТ 7505 - 89 (рис 1). Масса заготовки 2 кг. Токарной операции предшествовала операция фрезерно - центровая, в результате которой были обработаны торцы и выполнены центровые отверстия. Базирование заготовки при фрезерно - центровой операции осуществляется по поверхностям D_1 и D_3 ($D_1 = D_3 = 25$ мм). Шейка с наибольшим диаметром D_2 ступени имеет размер $55h6 (-0,02)$ мм. Рассчитать промежуточные припуски для обработки шейки D_2 аналитическим методом. Рассчитать промежуточные

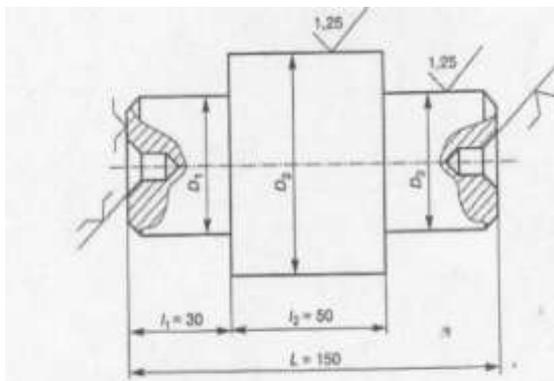


Рис.1 Эскиз вала (к задаче 1.)

размеры для выполнения каждого перехода.

Решение.

Соответственно заданным условиям устанавливаем маршрут обработки ступени D_2 :

- а) черновое обтачивание;
- б) чистовое обтачивание;
- в) предварительное шлифование;
- г) окончательное шлифование.

Вся указанная обработка выполняется с установкой в центрах. Заносим маршрут обработки в графу 1 табл. 4.1.

Расчет отклонений расположения поверхностей штампованной заготовки при обработке в центрах производят по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma_x}^2 + \Delta_{\Sigma_y}^2} = \sqrt{24^2 + 500^2} \cong 500 \text{ мкм.}$$

где $\Delta_{\Sigma_{\epsilon}}$ - общее отклонение оси от прямолинейности; Δ_{ϵ} - смещение оси в результате погрешности центрования. Общее отклонение оси от прямолинейности $\Delta_{\Sigma_{\epsilon}} = 2 \Delta_{\epsilon} l_{\epsilon} = 2 \cdot 0,15 \cdot 80 = 24 \text{ мкм.}$

Здесь l_K - размер от сечения, для которого определяется кривизна, до ближайшего наружного торца - равен для рассматриваемого случая $l_K = l_x + l_2 = 80 \text{ мм}$; Δ_{ϵ_K} - удельная кривизна в микрометрах на 1 мм длины; $\Delta_{\epsilon} = 0,15 \text{ мкм/мм}$; средний диаметр, который необходимо знать для выбора величины Δ_{ϵ} , определяется как

$$D_{cp} = \frac{D_1 l_1 + D_2 l_2 + \dots + D_n l_n}{L} = \frac{25 \cdot 30 + 55 \cdot 50 + 25 \cdot 70}{150} = 35 \text{ мм.}$$

Смещение оси заготовки в результате погрешности центрования

$$\Delta y = 0,25 \sqrt{T^2 + 1} = 0,25 \sqrt{1,8^2 + 1} = 0,5 \text{ мм}$$

где $T = 1,8 \text{ мм}$ - допуск на диаметральный размер базы заготовки, использованной при центровании.

Величину остаточных пространственных отклонений чернового обтачивания определяют по уравнению:

$$\Delta r = K_y \Delta_{\Sigma} = 0,06 \cdot 500 = 30 \text{ мкм.}$$

где K_y - коэффициент уточнения, равный 0,06

Величину остаточных пространственных отклонений чистового обтачивания определяют по уравнению

$$\Delta r = K_y \Delta_{\Sigma} = 0,04 \cdot 30 = 1,2 \text{ мкм.}$$

Здесь коэффициент уточнения K_y принимается равным 0,04.

Расчетные величины отклонений расположения поверхностей заносим в таблицу 4.1. Рассчитываем минимальные припуски на диаметральные размеры для каждого перехода:

- а) черновое обтачивание $2Zi_{\min} = 2(160 + 200 + 500) = 1720 \text{ мкм.}$
- б) чистовое обтачивание $2Zi_{\min} = 2(50 + 50 + 30) = 260 \text{ мкм.}$

в) предварительное шлифование $2Z_{i\min} = 2(25 + 25 + 1,2) = 102$ мкм.

г) чистовое шлифование $2Z_{i\min} = 2(10 + 20) = 60$ мкм.

Расчетные значения припусков заносятся в таблицу.

Расчет наименьших размеров по технологическим переходам начинаем с наименьшего (наибольшего) размера детали по конструкторскому чертежу и производим по зависимости $d_{i+1} = d_i + Z_{i\min}$ в такой последовательности:

а) предварительное шлифование $54,980 + 0,060 = 55,040$ мм

б) чистовое обтачивание $55,040 + 0,102 = 55,142$ мм

в) черновое обтачивание $55,142 + 0,260 = 55,402$ мм

г) заготовка $55,402 + 1,720 = 57,122$ мм

Наименьшие расчетные размеры и наименьшие предельные размеры заносятся в таблицу. Наибольшие предельные размеры по переходам рассчитываем по зависимости $d_{i\max} = d_{i\min} + T_{dj}$ в такой последовательности:

а) окончательное шлифование $54,980 + 0,020 = 55$ мм

б) предварительное шлифование $55,040 + 0,60 = 55,100$ мм

в) чистовое обтачивание $55,15 + 0,120 = 55,270$ мм

г) черновое обтачивание $55,40 + 0,400 = 55,800$ мм

д) заготовка $57,0 + 2,0 = 59$ мм

Результаты заносим в таблицу.

Фактические минимальные и максимальные припуски по переходам рассчитываем в такой последовательности:

Максимальные припуски:

$$55,100 - 55,0 = 0,100 \text{ мм}$$

$$55,270 - 55,100 = 0,170 \text{ мм}$$

$$55,80 - 55,270 = 0,530 \text{ мм}$$

$$59,0 - 55,801 = 3,2 \text{ мм.}$$

Минимальные припуски:

$$55,040 - 54,980 = 0,06 \text{ мм}$$

$$55,150 - 55,040 = 0,11 \text{ мм}$$

$$55,40 - 55,15 = 0,25 \text{ мм}$$

$$57,00 - 55,40 = 1,6 \text{ мм.}$$

Результаты заносим в таблицу.

Определяем общие припуски: общий наибольший припуск:

$$Z_{0\max} = \sum Z_{\max} = 0,1 + 0,17 + 0,53 + 3,2 = 4 \text{ мм.}$$

Общий наименьший припуск

$$Z_{0\min} = \sum Z_{\min} = 0,06 + 0,11 + 0,25 + 1,6 = 2,02 \text{ мм}$$

Проверяем правильность расчетов:

$$Z_{0\max} - Z_{0\min} = 4 - 2,02 = T_{\text{заг}} - T_{\text{дет}} = 2,0 - 0,02 = 1,98 \text{ мм.}$$

Результаты расчета припусков на обработку и предельных размеров по технологическим переходам

Таблица 4.1

Маршрут обработки	Элементы припуска, мкм.				Расчетный		Допуск на промежуточные размеры, мм	Принятые размеры заготовки по переходам		Предельный припуск, мкм	
	Rz	h	Δ_{Σ}	ε_i	Припуск $2Z_i$, мкм	Минимальный размер, мм		max	min	$2Z_{max}$	$2Z_{min}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Штамповка	160	200	500	--	-	57,122	12000	59,0	57,0	--	--
Точение:											
черновое	50	50	30	0	1720	55,402	400	55,8	55,4	3,2	1,6
чистовое	25	25	1,2	0	260	55,142	120	55,27	55,15	0,53	0,25
Шлифование:											
предварит.	10	20	0	0	102	55,040	60	55,10	55,04	0,17	0,11
окончательное				-	60	54,98	20	55,0	54,98	0,1	0,06

Задача. Четырехступенчатый вал изготавливается из штампованной заготовки класса точности 5Т по ГОСТ 7505 - 89, выполняемой на молотах. Условия выполнения операции и маршрут обработки элементарных поверхностей для вариантов такой же, как в примере. Рассчитать припуски и промежуточные размеры по переходам. Данные к задаче приведены в таблице 4.2

Таблица 4.2

Вариант	Диаметры шеек заготовки, мм			L, мм	Длина ступеней заготовки, мм			Масса заготовки, G, кг
	D ₁ , D ₄	D ₂	D ₃		l ₁	l ₂	l ₃	
	1	30	50		40n6	220	45	
2	45	65	55g6	260	55	65	95	4,7
3	20	40	30h6	180	40	50	60	1,0
4	50	75	60f7	350	70	120	80	8,2
5	25	45	35k6	200	40	50	70	1,5
6	60	80	70m6	300	80	120	50	9,1
7	40	60	50d8	280	50	70	90	4,1
8	70	90	80u7	350	75	125	90	13,8
9	35	55	45j6	240	50	60	90	2,9
10	55	75	65 s6	300	65	85	85	7,5
11	50	60	50f7	260	40	65	60	3,8
12	20	35	30h6	200	50	60	60	1,6

5. Расчет технологической себестоимости

Теоретическая часть

Технологической себестоимостью детали называется та часть ее полной себестоимости, элементы которой существенно изменяются для различных вариантов технологического процесса. К таким изменяющимся элементам относятся: $C_{заг}$ - стоимость исходной заготовки; Z_0 и $Z_{в.р.}$ - заработная плата основного рабочего и вспомогательного рабочего. A_0 - амортизационные отчисления от оборудования;

$A_{т.о.}$ - амортизационные отчисления от технологического оснащения; P_0 - затраты на ремонт и обслуживание оборудования; I - затраты на инструмент; L_0 - затраты на силовую энергию;

$\Pi_{л}$ - затраты на амортизацию и содержание производственных площадей;

$\Pi_{пр}$ - затраты на подготовку и эксплуатацию управляющих программ (для станков ЧПУ).

Сумма остальных элементов представляют собой технологическую себестоимость обработки. Учитывая, что сравнению обычно подвергаются отдельные операции, для оценки вариантов целесообразно сравнивать технологическую себестоимость операции

$$C_{оп} = Z_0 + Z_{в.р.} + A_0 + A_{т.о.} + P_0 + I + L_0 + \Pi_{л} + \Pi_{пр}. \quad (5.1)$$

Для каждой сравниваемой операции элементы, входящие в структуру $C_{оп}$, могут быть определены прямым калькулированием и нормативным методом с использованием нормативов по статьям себестоимости, отнесенным к одной минуте или одному часу работы оборудования.

Метод прямого калькулирования является более трудоемким, но и более точным методом расчета себестоимости. Сравнение вариантов на основе минимума технологической себестоимости производится, если сравниваемые варианты не требуют для своего выполнения существенных капитальных вложений. В противном случае оценку вариантов следует вести на основе минимума приведенных затрат:

$$W_i = C_i + E_n K_i, \quad (5.2)$$

C_i - технологическая себестоимость изготовления детали (или выполнения операции); E_n - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_n = 0,12$); K_i - удельные капитальные вложения, отнесенные к единице продукции.

Методика расчета технологической себестоимости основана на нормативной базе конца 1980 - х годов. С целью приведения затрат по элементам себестоимости к современному уровню в учебных технологических расчетах рекомендуется умножать изменяющийся элемент затрат на соответствующий масштабнo - ценовой коэффициент $K_{цi}$, средние значения которого, полученные на основе экспертных оценок по состоянию на 01.01.2003 г., приведены в таблице 5.1

Масштабно - ценовые коэффициенты

Таблица 5.1

Индекс i	Элемент себестоимости	Изменяемый элемент затрат	$K_{цi}$
1	Заработная плата	Нол. и Нел,	$K_{ц1} = 8$
2	Амортизационные отчисления	Φ и $\Phi_{т.о.}$	$K_{ц2} = 8$ (станки с ЧПУ)
3	Затраты на ремонт и обслуживание оборудования	$N_{м}$ и $N_{э}$	$K_{ц3} = 10$
4	Затраты на режущий инструмент	$\Phi_{и}$	$K_{ц4} = 10$
5	Затраты на электроэнергию	$\Psi_{э}$	$K_{ц5} = 40$
6	Затраты на производственную площадь	$N_{п}$	$K_{ц6} = 8$
7	Затраты на управляющие программы	χ	$K_{ц7} = 8$
8	Средние затраты на содержание и эксплуатацию оборудования	$N_{о}$	$K_{ц8} = 10$

Заработная плата станочника с учетом всех видов доплат и начислений

$$Z_o = \frac{1}{60} K_{ц1} N_{о.ч.} t_{ш.к.} K_M \quad (5.3)$$

где $N_{о.ч.}$ - норматив часовой заработной платы станочника соответствующего разряда, руб/ч.

$t_{ш.к.}$ - штучно - калькуляционное время на операцию, мин;

K_M - коэффициент, учитывающий оплату основного рабочего при многостаночном обслуживании, который определяют в зависимости от числа обслуживаемых станков по следующим данным:

Число обслуживаемых станков	1	2	3	4	5	6	7	8
K_M	1	0,65	0,48	0,39	0,35	0,32	0,3	0,29

Заработная плата наладчика с учетом всех видов доплат и начислений

$$Z_{в.р.} = \frac{K_{ц1} N_{н.г.} t_{ш.к.} m}{60 k_{к.о.} F_d} \quad (5.4)$$

где $N_{н.г.}$ - норматив годовой заработной платы наладчика соответствующего разряда, руб/год

m - число смен работы станка (принимается обычно $m = 2$); $k_{к.о.}$ - число станков, обслуживаемых наладчиком в смену;

F_d - действительный годовой фонд времени работы для станков с ручным управлением $F_d = 4015$ ч, для станков с ЧПУ - 3890 ч.)

Амортизационные отчисления от стоимости оборудования

$$A_o = \frac{K_{ц2} \Phi N_a t_{ш.к.}}{100 \cdot 60 F_d} \quad (5.5)$$

Φ - стоимость оборудования, руб.;

N_a - общая норма амортизационных отчислений, %

С учетом затрат на трансформирование и монтаж станка стоимость оборудования

$$\Phi = 1,122Ц \quad (5.6)$$

где $Ц$ - оптовая цена оборудования.

Амортизационные отчисления от стоимости технологического оснащения, приходящиеся на одну деталь при расчетном сроке службы оснастки 2 года, определяются как

$$A_{т.о.} = \frac{K_{ц2} \Phi_{т.о.}}{2 N_r} \quad (5.7)$$

где $\Phi_{т.о.}$ - стоимость технологического оснащения, руб., N_r - годовая программа выпуска деталей. Затраты на ремонт и обслуживание оборудования

$$P_o = \frac{K_{ц2} (N_M K_M + N_E K_E) t_{ш.к.}}{60 F_d K_T} \quad (5.8)$$

где N_M, N_E - нормативы годовых затрат на ремонт соответственно механической и электрической частей оборудования, руб / год,

K_M, K_E - категория сложности ремонта соответственно механической и электрической частей оборудования

K_T - коэффициент, зависящий от класса точности оборудования (для оборудования нормальной точности $K_T = 1,0$)

Затраты на инструмент, отнесенные к одной детали,

$$И = \frac{1,4K_{ц4} \Phi_{и} t_{ш.к}}{T_{сл.и.}}, \quad (5.9)$$

где 1,4 - коэффициент, учитывающий затраты на переточку инструмента; $\Phi_{и}$ - цена единицы инструмента, руб. $\eta_{м}$ - коэффициент машинного времени, определяемый как отношение $t_{маш}/t_{ш.к}$

$T_{сл.и.}$ - срок службы инструмента до полного износа, мин.

Затраты на силовую электроэнергию

$$L_{о} = \frac{K_{ц5} \Pi_{э} N_{э.з.о.} t_{ш.к}}{60}, \quad (5.10)$$

где $\Pi_{э}$ - цена электроэнергии (принимается равной 0,012 руб. за 1кВт*ч)

$N_{э}$ - установленная мощность электродвигателей станка, кВт;

$\eta_{э.о.}$ - общий коэффициент загрузки электродвигателей

Затраты на содержание и амортизацию производственных площадей

$$\Pi_{л} = \frac{K_{ц6} N_{п} \Pi_{у} K_{с.у.} t_{ш.к}}{60 F_{д}}, \quad (5.11)$$

где $N_{п}$ - норматив издержек, приходящихся на 1 м² производственной площади, руб / м² $\Pi_{у}$ - удельная площадь, приходящаяся на станок и равная габаритной площади станка, умноженной на коэффициент, учитывающий добавочную площадь.

$K_{с.у.}$ - коэффициент, учитывающий добавочную площадь для систем управления станков с ЧПУ (принимается равным 1,5 - 2,0).

Затраты на подготовку и эксплуатацию управляющих программ

$$\Pi_{пр} = \frac{K_{ц7} \chi K_{в}}{N_{г} T_{д}}, \quad (5.12)$$

где χ - стоимость программы, руб.,

$K_{в}$ - коэффициент, учитывающий потребность в восстановлении

программоносителя; $T_{д}$ - срок выпуска данной детали, год Принимая $K_{в} = 1,1$ и

$T_{д} = 3$ года, получим

$$\Pi_{пр} = \frac{0,37 K_{ц7} \chi}{N_{г}} \quad (5.13)$$

Нормативным методом технологическая себестоимость может быть рассчитана по методике или с использованием таблиц, содержащих усредненные величины элементов структуры себестоимости для станков различных моделей.

При определении технологической себестоимости нормативным методом заработную плату станочника и наладчика рассчитывают по уравнениям, которые были указаны выше, а расходы, связанные с содержанием и эксплуатацией оборудования, - по удельным затратам на 1 машиночас работы оборудования:

$$C_{о.п.} = Z_{о} + Z_{в.р.} + \frac{K_{ц8} N_{о} K_{м.ч.} t_{ш.к}}{60} \text{ руб/ч.} \quad (5.14)$$

где H_0 - средние затраты (руб/ч) на содержание и эксплуатацию оборудования, имеющего коэффициент машиночаса $K_{м.ч.} = 1,0$

Эти затраты при двухсменном режиме работы можно принять равными 0,312; 0,356; 0,405 и 0,432 руб/ч соответственно для условий мелко, - средне, - крупносерийного и массового производства.

При расчете приведенных затрат капитальные вложения в оборудование, отнесенные к одной детали, определяются по уравнению:

$$K_0 = \frac{K_{цз} \Phi t_{ш.к.}}{60 F_d} \quad (5.15)$$

Нормативы заработной платы с начислениями (руб).

Таблица 5.2

Категория рабочих	Вид оплаты	Тарифный разряд					
		1	2	3	4	5	6
Станочники	Часовая (руб./ч)	1,34	1,46	1,61	1,78	2,00	2,29
Наладчики	Годовая (Руб./ч)	2213	2399	2660	2939	3311	3794

* По расценкам 1996 года (нормативной базе)

Нормы амортизационных отчислений H_a (% от балансовой стоимости оборудования)

Таблица 5.3

Станки универсальные и специализированные массой, т	Производство	
	Массовое и крупносерийное	Серийное, мелкосерийное и единичное
До 10	14,1	11,6
Свыше 10	10,3	7,5

Нормативы годовых затрат H_m и H_s (руб) на ремонт и обслуживание металлорежущих станков

Таблица 5.4

Масса станка	Ремонтируемая или обслуживаемая часть станка	
	механическая	электрическая
До 10	30,8	7,3
Свыше 10	37,1	7,9

Коэффициенты загрузки электродвигателей $\eta_{з.о}$

Таблица 5.5

Станки	Производство		
	Единичное и мелкосерийное	Серийное	Массовое и крупносерийное
Токарные	0,26	0,39	0,5
Сверильные	0,23	0,31	0,4
Расточные	0,18	0,26	0,36
Токарно - револьверные и протяжные	0,27	0,36	0,5
Шлифовальные	0,26	0,39	0,5
Зубообрабатывающие	0,46	0,63	0,75
Фрезерные	0,31	0,45	0,55
Полуавтоматы и автоматы	0,68	0,9	0,95

Коэффициент, учитывающий добавочную площадь для станков

Таблица 5.6

Габаритная площадь станка, м ²	Коэффициент
Свыше 20	1,5
10...20	2,0
6..10	2,5
4..6	3,0
2..4	3,5

Пример. В существующих на участке условиях производства возможны два варианта обработки наружных поверхностей шпинделя: 1 - на универсальном токарно - винторезном станке; 2 - на токарном станке с ЧПУ. При исходных данных (таблица 5.7) определить более экономичный вариант для двух случаев: 1) оба станка имеются на участке; 2) необходимо приобретение станков. Режим работы - двухсменный, годовая программа выпуска шпинделей - 120 шт.

Таблица 5.7

Вариант	1	2
Модель станка	16К20	16К20Ф3
Штучно - калькуляционное время $t_{м.к.}$, мин	120	58,4
Разряд станочника	5	3
Разряд наладчика	-	5
Количество станков, шт., обслуживаемых в смену:		
станочником	1	2
наладчиком	-	7
действительный годовой фонд времени работы станка F_d , ч	4015	3890
Оптовая цена станка C , руб.	5450	24400
Масса станка, кг	2835	4000
Размеры станка в плане, мм	2505x1190	3360x1710
Площадь в плане, m^2	3,0	5,75
Установленная мощность электродвигателей, N_3 , кВт	11,0	10,0
Категория ремонтной сложности:		
механической части K_m	11,0	14
электрической части K_3	8,5	26

Решение.

1. При наличии на участке сравниваемых станков выбор варианта производим по технологической себестоимости обработки. Расчет элементов технологической себестоимости удобно вести в форме таблицы (таблица 5.8)

Таблица 5.8

Элемент	Модель станка	
	16К20	16К20Ф3
Заработная плата станочника	$\frac{8 \cdot 2 \cdot 120 \cdot 1}{60} = 32$	$\frac{8 \cdot 1,61 \cdot 58,4 \cdot 0,65}{60} = 8,16$
Заработная плата наладчика	--	$\frac{8 \cdot 3311 \cdot 58,4 \cdot 2}{60 \cdot 7 \cdot 3890} = 1,88$
Отчисления на амортизацию оборудования	$\frac{15 \cdot 1,122 \cdot 5450 \cdot 11,6 \cdot 120}{100 \cdot 60 \cdot 4015} = 5,3$	$\frac{8 \cdot 1,122 \cdot 24400 \cdot 11,6 \cdot 58,4}{100 \cdot 60 \cdot 3890} = 6,3$
Затраты на ремонт и обслуживание оборудования	$\frac{10(30,8 \cdot 11 + 7,3 \cdot 8,5) \cdot 120}{60 \cdot 4015} = 4,78$	$\frac{10(30,8 \cdot 14 + 7,3 \cdot 26) \cdot 58,4}{60 \cdot 3890} = 1,55$
Затраты на электроэнергию	$\frac{40 \cdot 0,012 \cdot 11 \cdot 0,26 \cdot 120}{60} = 2,74$	$\frac{40 \cdot 0,012 \cdot 10 \cdot 0,21 \cdot 58,4}{60 \cdot 3890} = 0,98$
Затраты на амортизацию и содержание здания	$\frac{8 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 3,5 \cdot 120}{60 \cdot 4015} = 0,42$	$\frac{8 \cdot 10 \cdot 5,75 \cdot 3 \cdot 58,4}{60 \cdot 3890} = 0,35$
Затраты на управляющие программы	-	$\frac{8 \cdot 0,37 \cdot 18,6}{120} = 0,45$

Технологическая себестоимость, сумма всех затрат	45,24	19,67
Примечание. Затраты на технологическое оснащение и инструмент одинаковы для обоих вариантов, поэтому их из расчета исключаем.		

2. Расчет себестоимости ведем нормативным методом. Для станка 16К20 коэффициент машиночаса $K_{мл} = 4,5$. При двухсменном режиме работы в условиях мелкосерийного производства $H_0 = 0,312$ руб./ч. Тогда

$$C_{on1} = 32 + \frac{10 \cdot 0,312 \cdot 1 \cdot 120}{60} = 38,24 \text{ руб.}$$

$$C_{on2} = 8,16 + 1,88 + \frac{10 \cdot 0,312 \cdot 4,5 \cdot 58,4}{60} = 23,71 \text{ руб.}$$

3. В случае необходимости приобретения станков в связи со значительной разницей по капитальным вложениям сравниваемые варианты оцениваем по приведенным затратам:

$$K_{o1} = \frac{15 \cdot 1,122 \cdot 5450 \cdot 120}{60 \cdot 4015} = 45,69 \text{ долл.}$$

$$K_{o2} = \frac{8 \cdot 1,122 \cdot 24400 \cdot 58,4}{60 \cdot 3890} = 54,8 \text{ долл.}$$

$$W_1 = 45,24 + 0,12 \cdot 45,69 = 50,72 \text{ долл.}$$

$$W_2 = 19,67 + 0,12 \cdot 54,8 = 26,25 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов показывают экономическую целесообразность обработки шпинделя на станке с ЧПУ при обоих условиях, поставленных в задаче.

Задача. Токарная обработка наружных поверхностей деталей производится на различных станках. Определить более экономичный вариант при двухсменном режиме работы. Исходные данные представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9

Вариант задания	1		2		3	
	1	2	1	2	1	2
Вариант обработки						
Модель станка	16Б16А	16Б16Ф3	1Г340	1К282	1Н719	1Б290П-6К
Штучно- калькуляционное время, мин	14,0	8,0	8,4	2,2	3,6	0,9
Разряд станочника	5	3	3	2	3	2
Разряд наладчика						
Число станков, шт, обслуживаемых в смену:		5	4	5	4	5
станочником	1	2	1	2	2	3
наладчиком	-	6	8	3	5	5
Действительный годовой фонд времени работы станка, ч	4015	3890	4015	4015	4015	4015
Годовая программа выпуска деталей, шт	1000	1000	5000	5000	30000	30000

6. Технологическое обеспечение качества изделий

6.1 Обеспечение качества поверхности деталей машин

Теоретическая часть

Наружный слой детали, имеющий макро - и микроотклонения от идеальной геометрической формы и измененные физико - химические свойства по сравнению со свойствами основного материала, называют поверхностным слоем. Он формируется при изготовлении и эксплуатации и по глубине может составлять от десятых долей микрометра до нескольких миллиметров. Поверхностный слой характеризуется геометрическими характеристиками и физико-химическими свойствами. Под геометрическими характеристиками понимают макроотклонения, волнистость, шероховатость и субшероховатость.

Параметры шероховатости поверхности для различных условий обработки можно определять по эмпирическим зависимостям, достоверность которых ограничивается областью факторного пространства, исследованного в процессе эксперимента. Так, при чистовой обработке среднеуглеродистых сталей точением резцами марки Т15К6 среднее арифметическое отклонение профиля Ra можно определить по следующей формуле:

$$Ra = 0,85 \frac{t^{0,31} S^{0,58} \varphi^{0,4} \varphi_1^{0,4}}{V^{0,06} r^{0,66} HB^{0,05}}, \text{ мкм} \quad (6.1)$$

где t - глубина резания, мм; S - подача, мм/об; φ, φ_1 - главный и вспомогательный углы в плане, град.; V - скорость резания, м/мин; r - радиус при вершине резца, мм; HB - твердость по Бринеллю. При алмазном точении резцами из композита 01 закаленных сталей

$$Ra = 0,16 \frac{Ra_{np}^{0,037} S^{0,59} (90 + \gamma)^{0,66}}{V^{0,19} \rho_{\text{скр}}^{0,29} r^{0,09}}, \text{ мкм}, \quad (6.2)$$

где Ra_{np} - предварительная шероховатость, мкм; γ - передний угол резца, град.; $\rho_{\text{скр}}$ - радиус скругления главной режущей кромки, мм. Приведенные зависимости позволяют прогнозировать ожидаемую шероховатость поверхности и определять элементы режима обработки и геометрические параметры инструментов по заданным значениям шероховатости.

Пример 1. Определить ожидаемую шероховатость поверхности при точении среднеуглеродистой стали твердостью $HB = 180$ резцом из Т15К6 с геометрическими параметрами: $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_1 = 30^\circ$, $r = 0,8$ мм и режимами резания: $t = 1,2$ мм, $S = 0,12$ мм/об, $V = 80$ м/мин.

Решение. Подставляя исходные данные в формулу, получим:

$$Ra = 0,85 \frac{1,2^{0,31} \cdot 0,12^{0,58} \cdot 60^{0,4} \cdot 30^{0,4}}{80^{0,06} \cdot 0,8^{0,66} \cdot 180^{0,05}} \approx 3,65 \text{ мкм.}$$

Задача 1

Определить ожидаемую шероховатость поверхности при точении среднеуглеродистой стали резцом Т15К6.

Исходные данные к задаче 1.

Таблица 6.1

вариант	t, мм	S, мм/об	V, м/мин	φ , град	φ_1 , град	г, мм	НВ
1	0,5	0,12	100	60	25	1,5	180
2	0,5	0,12	120	60	25	1,5	210
3	0,5	0,12	120	60	35	1,5	210
4	0,5	0,8	120	60	35	1,5	210
5	1,5	0,8	120	60	35	1,5	210
6	1,5	0,8	120	50	35	2,0	210
7	1,5	0,8	150	50	35	2,0	160
8	1,5	0,8	150	50	30	2,0	160
9	1,5	0,18	150	50	30	2,0	160
10	0,5	0,18	150	50	30	2,	160

Пример 2.

Определить требуемую подачу при чистовом точении среднеуглеродистой стали резцами Т15К6 при условии обеспечения шероховатости поверхности $Ra = 3$ мкм. Условия обработки: $t = 1,1$ мм, $V = 100$ м/мин, $\varphi = 60$, $\varphi_1 = 30^\circ$, $г = 1$ мм, $НВ = 200$.

Решение. Из формулы определим S:

$$S = \left(\frac{Ra \cdot V^{0,06} r^{0,66} HB^{0,05}}{0,85t^{0,31} \varphi^{0,4} \varphi_1^{0,4}} \right)^{1,72} \quad (6.3)$$

Подставляя исходные данные, получим $S \approx 0,13$ мм/ об.

Задача 2. Определить требуемую подачу при чистовом точении среднеуглеродистой стали резцами Т15К6.

Исходные данные к задаче 2.

Таблица 6.2

Вариант	Ra	t, мм	V, м/мин	φ , град	φ_1 , град	г, мм	НВ
1	1,5	1,5	180	60	35	1,0	180
2	1,5	1,5	140	60	35	1,5	180
3	1,5	1,5	140	75	30	1,5	180
4	1,5	0,5	140	75	30	1,5	180
5	2,0	0,5	140	45	30	1,5	180
6	2,0	0,5	140	60	30	1,5	210
7	2,0	0,5	140	60	30	2,0	210
8	2,0	0,5	140	50	30	2,0	210
9	2,0	0,5	120	50	25	2,0	210
10	2,0	0,5	120	60	25	2,0	210

Список использованной литературы:

1. Маталин А.А. Технология машиностроения. Учебник для машиностроительных вузов - М.: Машиностроение, 1985.
2. Аверченков В.И., Горленко О.А., Ильицкий В.Б., Польский Е.А., Тотай А.В., Чистов В.Ф. Технология машиностроения. (Сборник задач и упражнений.) Москва. Инфра-М, 2005
3. Машиностроительные материалы: Краткий справочник / В.М. Раскатов, В.С. Чуенков и др.; Под ред. В.М. Раскатова - 3-е изд. - М. Машиностроение, 1980.
4. Поливанов П.М., Поливанова Е.П. Таблицы подсчета массы деталей и материалов. Справочник - 10-е изд. М.: Машиностроение. 1987 г.
5. Экономическое обоснование выбора варианта способа получения заготовки. Методические указания. Ростов-на-Дону. ДГТУ. 2003.

Содержание

Введение.....	3
1. Расчеты при выполнении отдельных сборочных операций.....	4
2. Технологичность конструкции детали.....	7
3. Расчеты погрешности.....	10
4. Расчеты припусков.....	16
5. Расчет технологической себестоимости.....	20
6. Технологическое обеспечение качества изделий	27
Список литературы.....	29

Формат 60x84 1/12
Объем 31 стр. 2,6 печатный лист
Тираж 20 экз.,
Отпечатано
в редакционно-издательском отделе
КГУТиИ им. Ш Есенова
г.Актау, 32 мкр