

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Технология машиностроения»

РАСЧЕТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ

Пособие
для студентов специальности
1-36 01 01 «Технология машиностроения»

В 3-х частях

Часть 1

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области машиностроительного оборудования и технологий*

Минск
БНТУ
2023

УДК 621.7/9:658.5
ББК 34.5я7
Р69

С о с т а в и т е л и:

В. К. Шелег, С. Э. Крайко, Е. В. Пилипчук, М. А. Кравчук

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра «Материаловедение и проектирование технических систем»
Белорусского государственного технологического университета
(зав. каф., канд. техн. наук, доцент *Д. В. Куис*);
начальник отделения технологий машиностроения
и металлургии – заведующий лабораторией наноструктурных
и сверхтвердых материалов Объединенного института машиностроения
НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор *В. И. Жорник*

Р69 **Расчеты** приспособлений на точность : пособие для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» : в 3 ч. / сост. : В. К. Шелег [и др.]. – Минск : БНТУ, 2023. – Ч. 1. – 2023. – 47 с. ISBN 978-985-583-822-8 (Ч. 1).

В пособии рассматриваются вопросы обеспечения заданной точности механической обработки с использованием приспособлений при решении задач определения погрешности базирования, погрешности закрепления, погрешности, вызываемой износом установочных элементов; определения межремонтного периода приспособлений; определения исполнительных размеров установочных и направляющих элементов, обеспечивающих заданную точность.

Пособие предназначено для студентов дневной и заочной форм получения высшего образования специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-36 01 03 «Технологическое оборудование», 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств», а также может быть использовано студентами других машиностроительных специальностей.

УДК 621.7/9:658.5
ББК 34.5я7

ISBN 978-985-583-822-8 (Ч. 1)
ISBN 978-985-583-823-5

© Белорусский национальный
технический университет, 2023

ВВЕДЕНИЕ

Качество деталей определяется совершенством технологической системы «станок – приспособление – инструмент – деталь». К решению задач, связанных с технологической системой станочных приспособлений и оснастки, относятся расчеты по конструированию приспособлений и расчетам их точности.

Точность изготовления деталей характеризуется точностью размеров, геометрической формы, параметрами шероховатости и точностью расположения обрабатываемой поверхности по координирующему размеру (линейному или отклонению от соосности, параллельности и др.). Точность расположения обрабатываемой поверхности, оказывая влияние на качество сборки и эксплуатации данной детали, зависит от точности приспособлений. Расположение поверхности детали зависит не только от работы станка, но и от положения детали относительно станка и режущего инструмента.

В зависимости от назначения приспособления, условий его работы и характера выполняемой операции оценку точности можно проводить по показателям, которые делят на статические и динамические.

К *статическим показателям* относят погрешности, возникающие в момент установки и закрепления заготовки до начала обработки. Поэтому такие показатели точности определяются выбранной схемой, способом базирования заготовки, методом закрепления, силой зажима, жесткостью конструкции, точностью изготовления основных элементов и др.

К *динамическим показателям* относят погрешности, возникающие в приспособлении при резании. Поэтому они определяются силой резания, колебаниями системы и др. Также при изучении погрешностей необходимо учесть упругие деформации, изнашивание приспособлений и их нагревание, точность базирования, погрешности настройки и т. д.

Большинство факторов, влияющих на точность размеров, часто оказываются малосущественными для обеспечения

точности координирующего размера, и наоборот, факторы, наиболее существенные для обеспечения точности относительного расположения поверхностей, как правило, для точности размера являются второстепенными.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под *точностью приспособления* понимают способность придавать заготовке определенное положение и сохранять его при обработке. Под *погрешностью положения* подразумевают суммарную погрешность положения заготовки. Есть особенность при расчете точности приспособлений, в отличие от расчета погрешности установки. Если последняя рассматривается как часть допуска, то приспособление в большинстве случаев влияет не на точность размеров, а на относительное расположение поверхностей, т. е. на часть допуска координирующего размера.

В общем случае рассмотрение точности приспособления как части допуска справедливо, однако для каждой схемы составляющие суммы погрешностей, связанных с приспособлениями, могут меняться.

Погрешность установки – характеристика точности процесса. Ее рассматривают как фактор, определяющий положение заготовки, исходя из схемы базирования и закрепления.

Погрешность приспособления – характеристика конструкции приспособления. Это суммарный фактор, определяющий положение заготовки, исходя из схемы приспособления и его погрешностей при условии надежного обеспечения координирующих размеров обработки. Если погрешность установки рассматривается до начала обработки, то погрешность приспособления следует рассматривать в динамике, на протяжении процесса обработки, поскольку такие динамические характеристики приспособления, как масса, демпфирующие свойства, условия трения и другие, могут оказывать влияние на динамические явления в системе «станок – приспособление – инструмент – заготовка», и, главным образом, на изменение положения заготовки.

Цель расчета приспособления на точность заключается в определении требуемой точности его изготовления по выбранному координирующему размеру (параметру) и задании допусков размеров деталей приспособления.

При установке детали в приспособление ее технологические базы соприкасаются с установочными элементами, чем обеспечивается определенное положение детали относительно корпуса приспособления. Однако каждая деталь имеет действительные размеры, отличающиеся от размеров деталей данной партии. Поэтому при обработке партии заготовок, имеющих погрешности формы и расположения поверхностей, расчеты на точность ограничиваются упрощенными схемами расчета ее составляющих.

При расчете приспособления на точность для принятого метода обработки и схемы установки заготовки ожидаемая (расчетная) точность обработки ε не должна превышать допуска выполняемого размера:

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq T - K_T \sqrt{(k_{T1}\varepsilon_{\text{б}})^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{\text{и}}^2 + \varepsilon_{\text{пи}}^2 + (k_{T2}\omega)^2},$$

где T – допуск выполняемого размера;

K_T, k_{T1}, k_{T2} – коэффициенты;

$\varepsilon_{\text{б}}$ – погрешность базирования;

ε_3 – погрешность закрепления;

ε_y – погрешность установки приспособления на станке;

$\varepsilon_{\text{и}}$ – погрешность, определяемая прогрессирующим износом установочных элементов;

$\varepsilon_{\text{пи}}$ – погрешность от смещения или перекаса инструмента;

ω – средняя точность обработки на металлообрабатывающих станках.

Для обеспечения заданной точности механической обработки с использованием приспособлений на предварительно настроенных станках (способ автоматического получения размеров) исключают разметку заготовок и последующую выверку их положения на станке, после рассчитывают погрешность установки:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\text{б}}^2 + \varepsilon_{3,0}^2} + \varepsilon_{3,и} + \varepsilon_{\text{и}} + \varepsilon_{\text{yc}} + \varepsilon_{\text{с}},$$

где $\varepsilon_{3,0}$ – погрешность закрепления основная;

$\varepsilon_{3,и}$ – погрешность закрепления, связанная с изменением формы поверхности контакта установочного элемента в результате его износа;

ε_{yc} – погрешность изготовления и сборки опор установочного приспособления;

ε_c – погрешность установки и фиксации приспособления на станке.

В совокупности погрешности $\varepsilon_{и}$, ε_{yc} , ε_c представляют собой погрешность положения заготовки в приспособлении $\varepsilon_{пр}$.

Точность выполнения заданных размеров H может быть определена следующим образом:

$$T_H = \varepsilon_y + \omega,$$

где T_H – допуск выполняемого размера H ;

ω – средняя точность обработки на металлообрабатывающих станках.

Для принятого метода обработки и схемы установки заготовки ожидаемая (расчетная) точность обработки $T_H^{\text{расч}}$ не должна превышать допуска выполняемого размера:

$$T_H^{\text{расч}} \leq T_H.$$

В связи с расчетом точности обработки инженеру приходится решать следующие задачи [4]:

– определение погрешности базирования, в зависимости от принятой схемы установки заготовки в приспособлении, или выбор схемы установки, обеспечивающей минимальную погрешность базирования (Практическая работа № 1);

– определение погрешности закрепления, в зависимости от непостоянства сил зажима, неоднородности шероховатости

и волнистости поверхностей заготовок, износа установочных элементов приспособлений (Практическая работа № 2);

– определение погрешности, вызываемой износом установочных элементов, и определение межремонтного периода приспособлений (Практическая работа № 3);

– определение исполнительных размеров установочных и направляющих элементов, обеспечивающих заданную точность обработки и возможность установки заготовок (Практическая работа № 4).

Практическая работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИНЯТОЙ СХЕМЫ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ В ПРИСПОСОБЛЕНИИ

Цель работы: практическое приобретение навыков расчета суммарной погрешности приспособления при установке заготовки на призму в станочном приспособлении при изготовлении уступа фрезерованием на вертикально-фрезерном станке.

Работа рассчитана на два академических часа.

Общие положения

Погрешность базирования определяют как предельный допуск рассеяния расстояний между измерительной и технологической базами в направлении выдерживаемого размера. Приблизительно ε_6 равна разности между наибольшим и наименьшим значениями указанного расстояния. Погрешность базирования определяют геометрическим расчетом или анализом размерных цепей, что дает простое решение.

В общем случае погрешность базирования определяют, исходя из пространственной схемы расположения детали. Однако такой расчет сложен, поэтому ограничиваются рассмотрением смещений в одной плоскости. При расчетах учитывают только отклонения размеров заготовок. Если при этом установочная база совпадает с измерительной базой, то ε_6 равна нулю. Для других схем погрешность базирования может быть определена по справочным материалам.

Методические указания

Призмой называется установочный элемент с рабочей поверхностью в виде паза, образованного двумя плоскостями, наклоненными друг к другу под углом.

Призма определяет положение оси заготовки перпендикулярной основанию ее, вследствие совмещения с осью углового паза. Для использования этого свойства призмы необходимо при ее изготовлении обеспечивать строгую симметрию рабочих плоскостей призмы относительно оси углового паза, т. е. достаточно выдержать точно половину угла призмы $\alpha / 2$. Призма определяет также положение продольной оси заготовки. В связи с этим возникает необходимость точной фиксации положения призмы на корпусе приспособления. Поэтому, кроме крепежных винтов, положение призмы фиксируется с помощью двух контрольных штифтов.

Расчетная суммарная погрешность приспособления при установке на призму $\varepsilon_{\text{пр}}$ упрощенно определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq \delta - (K_1 \varepsilon_3 + \varepsilon_3 + K_2 \omega),$$

где δ – допуск на обработку детали с использованием данного приспособления;

K_1 – коэффициент, учитывающий обработку на настроенном станке на конкретный размер, равный 0,8–0,85;

ε_3 – погрешность базирования заготовки в приспособлении;

ε_3 – погрешность закрепления в приспособлении;

K_2 – коэффициент, учитывающий случайные погрешности обработки, равный 0,6–0,8;

ω – экономическая точность обработки.

При установке цилиндрической детали в призме существуют три варианта простановки изготовленного размера (рис. 1.1).

Погрешность базирования при установке по наружной цилиндрической поверхности определяется, в зависимости от выдерживаемого размера.

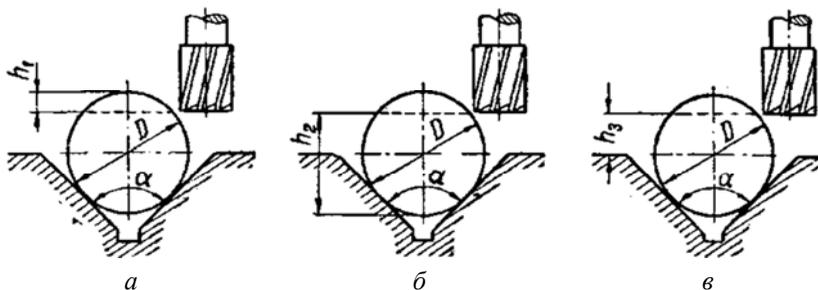


Рис. 1.1. Схемы расчетного размера при установке детали на призму

Для размера h_1

$$\varepsilon_{\delta} = 0,5T_D \left(\frac{1}{\sin \alpha} + 1 \right).$$

Для размера h_2

$$\varepsilon_{\delta} = 0,5T_D \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right).$$

Для размера h_3

$$\varepsilon_{\delta} = 0,5T_D \left(\frac{1}{\sin \alpha} \right).$$

Погрешность закрепления

$$\varepsilon_3 = \left[\left(K_{Rz} Rz + \frac{K_{HB}}{HB} \right) + 0,086 + \frac{8,4}{D} \right] \left(\frac{Q}{19,61} \right)^{0,7},$$

где K_{Rz} – коэффициент шероховатости поверхности детали;

R_z – шероховатость поверхности детали, мкм;

$K_{\text{НВ}}$ – коэффициент твердости поверхности;

НВ – твердость поверхности по Бринеллю;

D – диаметр заготовки, мм;

Q – сила, закрепляющая заготовку, Н.

Если неравенство $\varepsilon_{\text{пр}} \leq \delta$ выдерживается, то на приспособлении при заданных условиях возможно произвести механическую обработку размера с заданной точностью, в соответствии с требованиями чертежа.

Варианты заданий

Задача 1. Определить погрешность призматического установочного приспособления (рис. 1.1, а) при выдерживании размера h_1 . Угол призмы $\alpha = 90^\circ$.

Таблица 1.1

Варианты заданий для задачи 1

Параметры	Варианты		
	1	2	3
D , мм	105 _{-0,087}	160 _{-0,1}	270 _{-0,13}
h_1 , мм	10 _{-0,22}	15 _{-0,27}	20 _{-0,33}
R_z , мкм	50	100	200
НВ	156	207	241
ω , мкм	87	100	115
Q , Н	2043,7	3757,5	5632,7

Задача 2. Определить погрешность призматического установочного приспособления (рис. 1.1, б) при выдерживании размера h_2 . Угол призмы $\alpha = 60^\circ$.

Таблица 1.2

Варианты заданий для задачи 2

Параметры	Варианты		
	1	2	3
D , мм	$105_{-0,087}$	$160_{-0,1}$	$270_{-0,13}$
h_2 , мм	$95_{-0,22}$	$145_{-0,25}$	$250_{-0,29}$
R_z , мкм	50	100	200
HВ	156	207	241
ω , мкм	87	100	115
Q , Н	2043,7	3757,5	5632,7

Задача 3. Определить погрешность призматического установочного приспособления (рис. 1.1, в) при выдерживании размера h_3 . Угол призмы $\alpha = 120^\circ$.

Таблица 1.3

Варианты заданий для задачи 3

Параметры	Варианты		
	1	2	3
D , мм	$105_{-0,087}$	$160_{-0,1}$	$270_{-0,13}$
h_3 , мм	$42,5_{-0,25}$	$65_{-0,30}$	$115_{-0,35}$
R_z , мкм	50	100	200
HВ	156	207	241
ω , мкм	87	100	115
Q , Н	2043,7	3757,5	5632,7

Практическая работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СМЕЩЕНИЯ СТЫКА «ЗАГОТОВКА – ОПОРА» В ПРИСПОСОБЛЕНИИ

Цель работы: практическое приобретение навыков расчета погрешности закрепления, в зависимости от непостоянства сил зажима, неоднородности шероховатости и волнистости поверхностей заготовки, износа установочных элементов приспособления.

Работа рассчитана на четыре академических часа.

Методические указания

Погрешность закрепления ε_3 возникает при закреплении заготовок в связи с колебанием контактных деформаций стыка «заготовка – опора» приспособления.

Погрешность закрепления – разность между наибольшей и наименьшей проекциями смещения измерительной базы на направление обрабатываемого размера при приложении к заготовке силы зажима.

Смещение из-за контактных деформаций стыка «заготовка – опора» приспособления вычисляют по зависимостям, приведенным ниже.

Расчет погрешности закрепления

Для определения погрешности закрепления ε_3 или $\varepsilon_{3,0}$ и $\varepsilon_{3,и}$ используются формулы, приведенные в табл. 2.1–2.4.

Таблица 2.1

Формулы для расчета погрешности закрепления
опоры со сферической головкой

Погрешность закрепления	Опоры со сферической головкой (ГОСТ 13441)
ε_3^I – из-за непостоянства силы закрепления	$\left\{ \begin{array}{l} 6,2 \left[\theta^2 / (rQ) \right]^{1/3} + R_{\max_3} / \\ / (19,56Q^{8/9}) \left[1 / (10,4\text{НВ}(\theta_r)^{2/3}) \right]^{1/3} \end{array} \right\} Q$
$\varepsilon_3^{\text{II}}$ – из-за неоднородности шероховатости базы заготовок	$\left[Q^{1/3} / (22,4\text{НВ}(\theta_r)^{2/3}) \right]^{1/3} \Delta R_{\max_3}$
$\varepsilon_3^{\text{III}}$ – из-за неоднородности волнистости базы заготовок	0 (волнистость на необработанных базах заготовок отсутствует)
$\varepsilon_{3,\text{и}}$ – из-за износа опорной поверхности установочного элемента	$125 \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\theta Q}{r^2} \right)^{\frac{2}{3}} + \frac{R_{\max_3}}{\frac{11}{r^9}} \times \\ \times \left[Q^{\frac{1}{3}} / (10,4\text{НВ}\theta^{\frac{2}{3}}) \right] \end{array} \right\} (r_{\text{и}} - r)$

Таблица 2.2

Формулы для расчета погрешности закрепления
опоры с насеченной головкой

Погрешность закрепления	Опоры с насеченной головкой (ГОСТ 13442)
ε_3^I – из-за непостоянства силы закрепления	$0,15R_{\max_3} / Q^{2/3} \left[t^2 / (\pi D^2 b_1^2 \text{НВ}) \right]^{1/3} \Delta Q$

Погрешность закрепления	Опоры с насеченной головкой (ГОСТ 13442)
$\varepsilon_3^{\text{II}}$ – из-за неоднородности шероховатости базы заготовок	$0,46 \left[Q t^2 / (\pi D^2 b_1^2 \text{HB}) \right]^{1/3} \Delta R_{\text{max}_3}$
$\varepsilon_3^{\text{III}}$ – из-за неоднородности волнистости базы заготовок	0 (волнистость на необработанных базах заготовок отсутствует)
$\varepsilon_{3,\text{и}}$ – из-за износа опорной поверхности установочного элемента	$0,46 R_{\text{max}_3} \left[Q t^2 / (\pi D^2 \text{HB}) \right]^{1/3} \times$ $\times \left[1 / b_1^{2/3} - 1 / (b_1 + 2u)^{2/3} \right]$

Таблица 2.3

Формулы расчета погрешности закрепления для опоры с плоской головкой или опорной пластины

Погрешность закрепления	Опоры с плоской головкой и опорные пластины (ГОСТ 13440 и ГОСТ 4743)
ε_3^{I} – из-за непостоянства силы закрепления	$0,4 (4 + R_{\text{max}_3}) / \left[(2 + \nu_3) Q^{(2+\nu_3)/(3+\nu_3)} \right] \times$ $\times \left[100 / (Ac' \sigma_T b_{\Sigma}) \right]^{1/(3+\nu_3)} + 0,9 (R_{\text{в}_3} / Q)^{1/3} \times$ $\times (W_3 \theta / A)^{2/3} \Delta Q$
$\varepsilon_3^{\text{II}}$ – из-за неоднородности шероховатости базы заготовок	$\left[Q / (Ac' \sigma_T b_{\Sigma}) \right]^{1/(3+\nu_3)} \Delta R_{\text{max}_3}$

Погрешность закрепления	Опоры с плоской головкой и опорные пластины (ГОСТ 13440 и ГОСТ 4743)
$\varepsilon_3^{\text{III}}$ – из-за неоднородности волнистости базы заготовок	$4,3 \cdot 10^{-2} (\theta Q / A)^{2/3} \times$ $\times \left[(W_3 / R_{\text{в.3}})^{2/3} \Delta R_{\text{в.3}} + 2(R_{\text{в.3}} / W_3)^{1/3} \Delta W_3 \right]$
$\varepsilon_{3,\text{и}}$ – из-за износа опорной поверхности установочного элемента	0

Таблица 2.4

Формулы для расчета погрешности закрепления на призмах

Погрешность закрепления	Призмы
ε_3^{I} – из-за непостоянства силы закрепления	$(0,1 C_{\text{м}} / \sin \alpha) \Delta q$
$\varepsilon_3^{\text{II}}$ – из-за неоднородности шероховатости базы заготовок	$\left\{ 1,1 q^{1[10(v_0+v_3)]} \times \right.$ $\left. \times K_1 a_1 / \left[\sin \alpha (1 + W_3 + Rz_0 + Rz_3)^{1-a_1} \right] \right\} \Delta Rz_3$
$\varepsilon_3^{\text{III}}$ – из-за неоднородности волнистости базы заготовок	$\left\{ 0,87 q^{0,2} K a / \left[\sin \alpha d^{0,2} (1 + W_3)^{1-a} \right] \right\} \Delta W_3$
$\varepsilon_{3,\text{и}}$ – из-за износа опорной поверхности установочного элемента	$0,1 / \sin \alpha \left[\frac{0,4 C_{\text{м}} q}{(1 + K_{\text{и}})^2} + \frac{3K (1 + W_3)^a}{(1 + K_{\text{и}})^{0,4}} \times \right. \left. \times \left(\frac{q}{d} \right)^{0,2} \right] (K_{\text{и}} - 1)$

Пояснения к табл. 2.1–2.4:

1. $\varepsilon_3 = \cos \beta (\varepsilon_{3,0} + \varepsilon_{3,и})$ – суммарная погрешность закрепления, где β – угол между направлением выдерживаемого размера и направлением наибольшего перемещения. При этом

$$\varepsilon_{3,0} = \sqrt{(\varepsilon_3^I)^2 + (\varepsilon_3^{II})^2 + (\varepsilon_3^{III})^2}.$$

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 табл. 2.5 и 2.6.

Таблица 2.5

Параметры качества цилиндрических баз заготовок

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

Окончание табл. 2.5

Материал заготовки	Метод обработки базы	Rz_3	ΔRz_3	W_3	ΔW_3	v_3
		мкм				
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	Точение	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 $\Delta W_3 \approx 0,3W_3$.

Таблица 2.6

Параметры качества плоских баз стальных
и чугунных заготовок

Метод обработки баз	$R_{\max 3}$	$\Delta R_{\max 3}$	W_3	$R_{в.3}$	v_3	b_3	c'
	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 фрезами	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	

Окончание табл. 2.6

Метод обработки баз	$R_{\max 3}$	$\Delta R_{\max 3}$	W_3	$R_{в.3}$	v_3	b_3	c'
	МКМ						
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

Примечание:

1. В числителе – только для стальных, а в знаменателе – только для чугуновых заготовок, остальные – и для стальных, и для чугунных заготовок.

2. $\Delta W_3 = (0,15 - 0,2)W_3$ – при обработке на одном и том же станке; $\Delta W_3 \approx W_3$ при обработке на нескольких станках одной модели.

3. $\Delta R_{в.3} \approx (0,01 - 0,05)R_{в.3}$, если заготовки были обработаны на одном неизношенном станке; $\Delta R_{в.3} \approx R_{в.3}$, если заготовки были обработаны на нескольких станках одной и той же модели, причем эти станки изношенные.

5. Параметры шероховатости базирующей поверхности призм при расчете перемещения γ : $Rz_0 = 3,5$ мкм, $v_0 = 2$ – для новых призм; $Rz_0 = 1,1$ мкм, $v_0 = 1,4$ – для призм, бывших в эксплуатации.

6. K , a , K_1 и a_1 – коэффициенты (определяются по табл. 2.7).

Таблица 2.7

Данные для определения коэффициентов C_M , C_B , $C_{\text{ш}}$

Материал заготовки	C_M	K	a	K_1	a_1
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. $C_B = K(1 + W_3)^a$.

2. $C_{\text{ш}} = K_1(1 + W_3 + Rz_0 + Rz_3)^{a_1}$.

7. Величины с индексом Δ определяют непостоянство соответствующих параметров.

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

9. E_o , E_3 , μ_o , μ_3 – соответственно, модули упругости опоры и заготовки, ГПа, и коэффициенты Пуассона материала опоры и заготовки.

10. Упругая постоянная материалов заготовки и опоры, ГПа⁻¹,

$$\theta = \frac{1 - \mu_o^2}{E_o} + \frac{1 - \mu_3^2}{E_3}.$$

11. НВ – твердость материала заготовки по Бринеллю.

12. c' – безразмерный коэффициент стеснения, характеризующий степень упрочнения поверхностных слоев обработанных баз заготовки (см. табл. 2.6).

13. d – диаметр цилиндрической базы заготовки, мм.

14. T_d – допуск на диаметр d , мм.

15. σ_T – 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).

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

19. 2α – угол призмы.

20. R_{\max} – наибольшая высота неровностей профиля, мкм (см. табл. 2.6).

21. Rz – высота неровностей профиля по десяти точкам, мкм (см. табл. 2.5).

22. Ra – среднеарифметическое отклонение профиля, мкм.

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

24. v , b – безразмерные параметры опорной кривой (см. табл. 2.5 и 2.6).

25. W, R_B – соответственно высота и длина волны поверхности, мкм (указанные параметры характерны для волнистости поверхности, см. табл. 2.5 и 2.6).

26. b_3 – безразмерный приведенный параметр кривой опорной поверхности, характеризующий условия контакта базы заготовки с опорой:

$$b_{\Sigma} = \frac{0,24(0,4 - 0,1v_3)b_3(4 + R_{\max 3})^{2+v_3}}{R_{\max 3}^{v_3}}.$$

27. $K_{\text{и}}$ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние износа призм:

$$K_{\text{и}} = \sqrt{R_{\text{и}} / (R_{\text{и}} - 0,5d)},$$

где $R_{\text{и}}$ – радиус изношенной поверхности призмы, мм;

Если обрабатываемая поверхность заготовки расположена с одной стороны от призмы, то

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

если с двух сторон, то

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

28. $C_{\text{м}}, C_{\text{в}}, C_{\text{ш}}$ – безразмерные расчетные коэффициенты (см. табл. 2.7).

29. При проектном расчете опор, не бывших в эксплуатации, принимают $r_{\text{и}} = r, u = 0$ и $K_{\text{и}} = 1$.

30. D, t, b_1 – параметры опор с насеченной головкой, мм (ГОСТ 13442).

Пример 1. Исходные данные: заготовки из чугуна ($E_3 = 140$ ГПа, $\mu_3 = 0,25$, HB = 170–190, $R_{\max} = 200$ –300 мкм) устанавливаются на сферические опоры ($E_3 = 210$ ГПа, $\mu_0 = 0,3$, $r = 20$ мм).

Действующая по нормали на одну опору сила $Q = 2000 \pm \pm 300$ Н. Допустимый износ опоры $u = 300$ мкм = 0,3 мм. Определить погрешность закрепления до допустимого износа.

Решение:

1. Исходя из условий: $Q = 2000$ Н; $\Delta Q = 600$ Н; $R_{\max_3} = 250$ мкм; $\Delta R_{\max_3} = 100$ мкм; твердость HB = 180. Согласно пп. 10 и 17 пояснений к табл. 2.1, вычисляем:

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

$$r_{\text{и}} = \frac{20^2}{(20 - 8 \cdot 0,3)} = 22,8 \text{ мм.}$$

2. По табл. 2.1 находим погрешности закрепления:

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

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

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

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

Пример 2. Исходные данные: заготовки из чугуна ($R_{\max} = 200\text{--}300$ мкм, HB = 170–190) устанавливают на рифленые опоры 7034-0379 ГОСТ 13442 ($D = 20$ мм; $t = 2$ мм; $b_1 = 0,5$ 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; $R_{\max_3} = 250$ мкм; $\Delta R_{\max_3} = 100$ мкм; HB = 180.

2. По табл. 2.2 находим:

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

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

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

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

Пример 3. Исходные данные: заготовки из стали 45, диаметром $50^{+0,2}$ мм, обработанные точением ($Rz_3 = 30$ мкм; $\Delta Rz_3 = 20$ мкм; $v_3 = 1,9$; $W_3 = 8$ 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 табл. 2.7 $C_M = 0,026$; $K = 0,82$; $a = 0,695$; $K_1 = 0,62$; $a_1 = 0,55$; $C_B = 0,82(1 + 8)^{0,695} = 3,8$; $C_{ш} = 0,62(1 + 8 + 3,5 + 30)^{0,55} = 4,85$.

Вычисляем:

$$R_{\text{н}} = \frac{0,22 \left[\sqrt{2,28 \cdot 50 \cdot 0,3} + (0,5 \cdot 0,2 + 0,57 \cdot 0,3) \operatorname{ctg} 45^\circ \right]^2}{0,3} = 26,3 \text{ мм};$$

$$K_{\text{н}} = \sqrt{26,3 / (26,3 - 0,5 \cdot 50)} = 4,5.$$

2. По табл. 2.4, при $Rz_0 = 1,1$ мкм и $v_0 = 1,4$, находим

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

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

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

$$\varepsilon_{3,\text{н}} = 0,1 / \sin 45^\circ \left[0,4 \cdot 0,026 \cdot \frac{200}{(1 + 4,5)^2} + 3 \times \frac{0,82(1 + 8)^{0,695}}{(1 + 4,5)^{0,4}} \cdot \left(\frac{2000}{50} \right)^{0,2} \right] (4,5 - 1) = 6,25 \text{ мкм};$$

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

Линейный износ установочных элементов

Линейный износ установочных элементов приспособления (опор) *и* определяет погрешность $\varepsilon_{и}$:

– для опор $\varepsilon_{и} = u$;

– для призм $\varepsilon_{и} = \frac{u}{\sin \frac{\alpha}{2}}$, где α – угол призмы.

Величина *u* вычисляется по уравнению

$$u = \frac{NK_y (1 + 0,003L) 0,79t_m}{m - m_1\Pi_1 - m_2 \frac{0,1Q}{FHV}},$$

где N – число устанавливаемых заготовок;

K_y – коэффициент, учитывающий условия обработки;

L – длина пути скольжения заготовки по опорам при досылке ее до упора, мм (определяется, исходя из условий эксплуатации приспособления);

t_m – машинное время обработки заготовки в приспособлении, мин;

m, m_1, m_2 – коэффициенты;

Π_1 – критерий износостойкости;

Q – нагрузка на опору, Н;

F – площадь касания опоры с базовой поверхностью заготовки, мм² [24];

HV – твердость материала опоры по Виккерсу (HV \approx \approx 11,6HRC).

Допустимая величина износа

Допустимая величина износа $[u]$ определяется допустимой величиной погрешности $[\varepsilon_{\text{и}}]$:

– для опор $[u] = [\varepsilon_{\text{и}}]$;

– для призм $[\varepsilon_{\text{и}}] = \frac{[u]}{\sin \frac{\alpha}{2}}$.

Величина $[\varepsilon_{\text{и}}]$ при условии, что погрешности ε_{yc} и ε_{c} можно компенсировать настройкой станка, рассчитывается следующим образом:

$$[\varepsilon_{\text{и}}] = T_{\text{H}} - \omega - \sqrt{\varepsilon_{\text{б}}^2 + \varepsilon_{\text{3,0}}^2} - \varepsilon_{\text{3,и}}.$$

Практическая работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖРЕМОНТНОГО ПЕРИОДА РАБОТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Цель работы: практическое приобретение навыков расчета межремонтного периода работы приспособлений.

Работа рассчитана на два академических часа.

Методические указания

Точность приспособлений является важнейшим фактором, обеспечивающим точность изготовления деталей. Новое приспособление имеет вполне определенный запас точности, однако в процессе эксплуатации изнашиваются его установочные и направляющие элементы. Необходим ремонт приспособления, поэтому важно уметь определять его межремонтный период.

Межремонтный период Π_k , определяющий необходимость замены или восстановления установочных элементов приспособления, рассчитывается по уравнению

$$\Pi_k = \frac{12k[N]}{N_r}, \text{ месяцев,}$$

где k – коэффициент запаса, учитывающий нестабильность износа установочных элементов ($k = 0,8-0,85$);

$[N]$ – допустимое число устанавливаемых заготовок до предельного износа установочных элементов, выражаемое из уравнения Практической работы № 2 п. 2.2;

N_r – годовая программа выпуска деталей.

Пример. Определить межремонтный период приспособления, если погрешность базирования $\varepsilon_b = 0,08$ мм, погрешности закрепления $\varepsilon_{3,0} = \varepsilon_{3,и} = 0$, погрешности ε_{yc} и ε_c компенсируются

настройкой станка. Необходимые сведения о заготовке, приспособлении и условиях обработки приведены в табл. 3.1–3.3.

Таблица 3.1

Исходные данные по заготовке

Вариант	Материал	HRC (HB)	Форма базовой поверхности	N_r , шт	T_n , мм
1	Сталь незакаленная	(HB 160)	Цилиндр	40 000	0,20
2		(HB 200)		100 000	0,30
3	Чугун*	–	Плоскость	55 000	0,28
4				70 000	0,18
5	Сталь закаленная	HRC 50		85 000	0,16
6	Чугун*	–		20 000	0,25
7	Сталь незакаленная	(HB 220)		5 000	0,20
8	Чугун*	–		25 000	0,19

Примечание: Для заготовок из чугуна твердость материала в расчетах не учитывается.

Таблица 3.2

Условия обработки

Вариант	Метод обработки	ω , мм	t_m , мин
1	Фрезерование с охлаждением	0,1	1,95
2	Сверление без охлаждения	0,12	2,0
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	0,10	0,8
8	Точение без охлаждения	0,08	1,2

Таблица 3.3

Исходные данные по приспособлению

Вариант	Тип опоры	Материал	Твердость опоры HV	F , мм	Q , Н	L , мм
1	Призма	Сталь 20	650	36,1	10 000	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	12 000	30
8	Штырь с рифленной головкой	Сталь 40X	570	10	9800	45

Решение для варианта 1

Определяем допустимое значение $[\varepsilon_{и}]$ по уравнению в Практической работе № 2 п. 2.3:

$$[\varepsilon_{и}] = T_H - \omega - \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_{3,0}^2} - \varepsilon_{3,и} =$$

$$0,2 - 0,1 - \sqrt{0,08^2 + 0^2} - 0 = 0,02 = 20 \text{ мкм.}$$

Допустимое число устанавливаемых заготовок $[N]$ до предельного износа установочных элементов приспособления выражаем из уравнения в Практической работе № 2 п. 2.2:

$$[N] = \frac{[\varepsilon_{и}] \left(m - m_1 \Pi_1 - m_2 \frac{0,1Q}{F \cdot HV} \right)}{K_y (1 + 0,003L) 0,79t_m}$$

Зная, что $m = 1818$, $m_1 = 1014$, $m_2 = 1309$, критерий износостойкости $\Pi_1 = 1,03$, поправочный коэффициент, учитывающий условия обработки, $K_y = 0,94$. Тогда

$$[N] = \frac{20 \left(1818 - 1014 \cdot 1,03 - 1309 \frac{0,1 \cdot 10\,000}{36,1 \cdot 650} \right)}{0,94(1 + 0,003 \cdot 20) \cdot 0,79 \cdot 1,95} = 9353 \text{ шт.}$$

Межремонтный период, определяющий необходимость замены или восстановления установочных элементов приспособления, находим из уравнения

$$\Pi_k = \frac{12k_1[N]}{N_{\Gamma}} = \frac{12 \cdot 0,85 \cdot 9353}{40\,000} = 2,4 \text{ месяца.}$$

Практическая работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ УСТАНОВОЧНЫХ И НАПРАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАДАННУЮ ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Цель работы: практическое приобретение навыков определения исполнительных размеров установочных и направляющих элементов, обеспечивающих заданную точность обработки и возможность установки заготовок.

Работа рассчитана на шесть академических часов.

Общие положения

Мелкосерийное и единичное производство при освоении новых видов продукции непрерывно требует расширения номенклатуры изготавливаемых деталей и конструкций машин. Для снижения затрат на технологическую подготовку производства в области изготовления технологической оснастки ставится задача создания приспособлений многократного применения.

Для таких приспособлений, состоящих из унифицированных базовых конструкций и сменных наладок, важны расчеты точности исполнительных размеров установочных и направляющих элементов, обеспечивающих заданную точность обработки.

Методические указания

Расчет точности размеров унифицированного переналаживаемого приспособления (УНП) можно произвести в следующем порядке:

1. Определить погрешность базирования по наиболее точной детали, входящей в наладку базового приспособления.
2. Определить погрешность установки и закрепления детали в приспособлении.

3. Определить погрешность обработки детали.
 4. Определить погрешность установки приспособления на станке.
 5. Определить суммарную погрешность приспособления.
- Примеры расчета точности унифицированных переналаживаемых приспособлений приведены ниже.

Унифицированный переналаживаемый кондуктор

Конструкция кондуктора и эскиз обрабатываемой детали приведены на рис. 4.1.

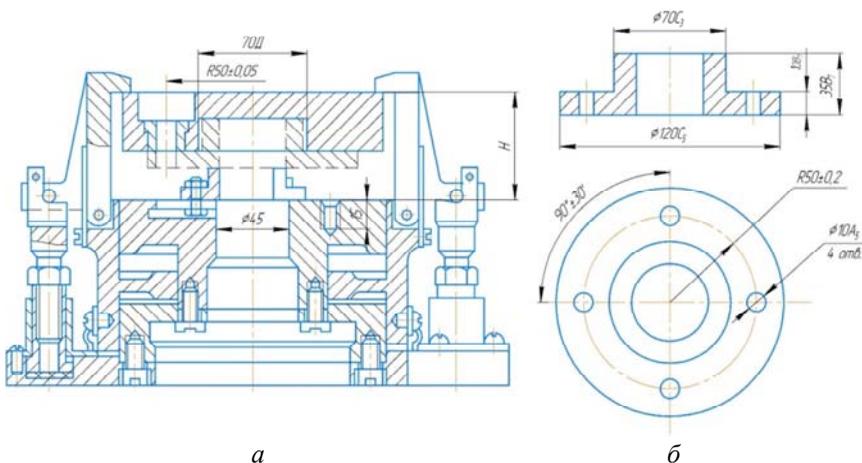


Рис. 4.1. Унифицированный переналаживаемый кондуктор для сверления отверстий, расположенных в осевом направлении, во фланцах, дисках и втулках (а) и обрабатываемая деталь (б)

Для расчета точности исполнительных размеров кондуктора определим допуски на линейные и угловые размеры.

При расчете допусков на линейные размеры найдем погрешности, определяющие точность приспособления:

1. Погрешности базирования детали

$$\Delta_{\text{баз}} = \delta d = 0,060 \text{ мм},$$

где 0,060 мм – допуск $\varnothing 70h8$.

2. Погрешность закрепления и установки детали. При установке детали в зажимном приспособлении с пневматическим зажимом, при чисто обработанной поверхности, для $\varnothing 120h10$

$$\Delta_{кр} + \Delta_{уст.д} = 0,060 \text{ мм.}$$

3. Погрешность обработки детали. Для отверстия $\varnothing 10h10$ находим, что $\Delta_{эк} = 0,2$ мм. Принимая $k_2 = 0,5$, получаем

$$\Delta_{обр} = k_2 \Delta_{эк} = 0,5 \cdot 0,2 = 0,10 \text{ мм.}$$

4. Суммарную погрешность приспособления. Подставив в формулу полученные численные значения слагаемых, находим для $R = 50 \pm 0,2$ мм

$$\begin{aligned} \Delta_{пр} &= \delta - (k_1 \Delta_{баз} + \Delta_{кр} + \Delta_{уст.д} + k_2 \Delta_{эк}) = \\ &= 0,400 - (0,8 \cdot 0,060 + 0,060 + 0,100) = 0,20 \text{ мм,} \end{aligned}$$

где δ – допуск на $R50$ мм.

Далее определим допуск $\delta_{сб}$ размера $R = 50 \pm 0,2$ мм для собранного приспособления:

1) $\delta_3 = 0,030$ мм (зазор между посадочным отверстием кондукторной плиты $\varnothing 70g6$ и деталью);

2) по формуле

$$\Delta_{п} = \frac{z_H (H + d)}{2,4H} = \frac{(0,036 + 0,016)(12 + 10)}{2,4 \cdot 12} = 0,04 \text{ мм,}$$

где $0,036$ – нижнее отклонение диаметра сверла, по ГОСТ 885-64;

$0,016$ – верхнее отклонение отверстия втулки по, ГОСТ 1022;

H – высота втулки по чертежу кондуктора;

d – диаметр сверла по чертежу обрабатываемой детали;

$$3) \Delta_{\text{уст.пр}} = 0.$$

Подставляя найденные значения в итоговую формулу, имеем

$$\begin{aligned} \delta_{\text{сб}} &= \Delta_{\text{пр}} - (\Delta_z + \Delta_{\text{п}} + \Delta_{\text{уст.пр}}) = \\ &= 0,20 - (0,030 + 0,04 + 0) = 0,13 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Таким образом, допуск на размер $R = 50 \pm 0,2$ мм на кондукторной плите $\delta_{\text{сб}} = 0,15$ мм, т. е. $R = 50 \pm 0,05$ мм.

При расчете допусков на угловые размеры также находим погрешности, определяющие точность приспособления:

1. Определяем погрешность базирования детали. Выписываем все данные и результаты расчетов в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты расчетов погрешности базирования

Угол β , град	δd	$\sin \beta$	$\cos \beta$	$2R$	$\arcsin \frac{\delta d \sin \beta}{2R}$	z	$\arctg \frac{z}{2R}$	$\Delta_{\text{баз}}$	$k_1 \Delta_{\text{баз}}$
90	0,06	1	-	100	2'6"	0,026	1'	6'12"	4'57"
180	0,06	-	1	100	2'6"	0,026	1'	6'12"	4'57"

2. Погрешность закрепления и установки детали в кондукторе

$$\Delta_{\text{кр}} + \Delta_{\text{уст.д}} = 0,$$

так как она не влияет на угловые размеры.

3. Погрешность обработки детали. По таблицам допусков и посадок [3, 5, 8], для отверстия $\varnothing 10h10$ находим $\Delta_{\text{эк}} = 0,200$. Принимая $k_2 = 0,5$, получаем

$$\Delta_{\text{обр}} = k_2 \Delta_{\text{эк}} = 0,5 \cdot 0,200 = 0,100 \text{ мм.}$$

Переводя ее в угловую погрешность, получаем

$$\frac{k_2 \Delta_{\text{эк}}}{R} = 0,002,$$

$$\arcsin 0,002 = 6^\circ 30''.$$

4. Суммарная погрешность приспособления. Подставив в неравенство полученные численные значения слагаемых, находим

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{пр}} &= \delta - (k_1 \Delta_{\text{баз}} + \Delta_{\text{кр}} + \Delta_{\text{уст.д}} + k_2 \Delta_{\text{эк}}) = \\ &= 0,60^\circ - (4^\circ 57'' + 6^\circ 30'' + 0) = 48^\circ 33''. \end{aligned}$$

Далее определим допуск для углов в 90° и 180° для собранного приспособления:

1) $\delta_3 = 0,03$, или в угловом исчислении

$$\arcsin \frac{\delta_3}{R} = \arcsin \frac{0,03}{50} = 2^\circ 04'';$$

2) $\Delta_{\text{п}} = 0,04$, или в угловом исчислении $2^\circ 46''$;

3) $\Delta_{\text{уст.пр}} = 0$.

Подставляя найденные значения в формулу, имеем для угла 90°

$$\begin{aligned} \delta_{\text{сб}} &= \Delta_{\text{пр}} - (\Delta_3 + \Delta_{\text{п}} + \Delta_{\text{уст.пр}}) = \\ &= 48^\circ 33'' - (2^\circ 46'' + 2^\circ 04'' + 0) = 43^\circ 43''. \end{aligned}$$

Таким образом, допуск на угол 90° в кондукторной плите назначаем равным 40° , т. е. $90^\circ \pm 20'$.

В рассмотренном примере полностью представлена методика расчета допусков как на линейные, так и на угловые координаты унифицированных сверлильных приспособлений. При большем числе координат отверстий порядок расчета не изменится.

Планишайба с цилиндрическими наладками

Схема установки детали на станке и эскиз обрабатываемой детали представлены на рис. 4.2.

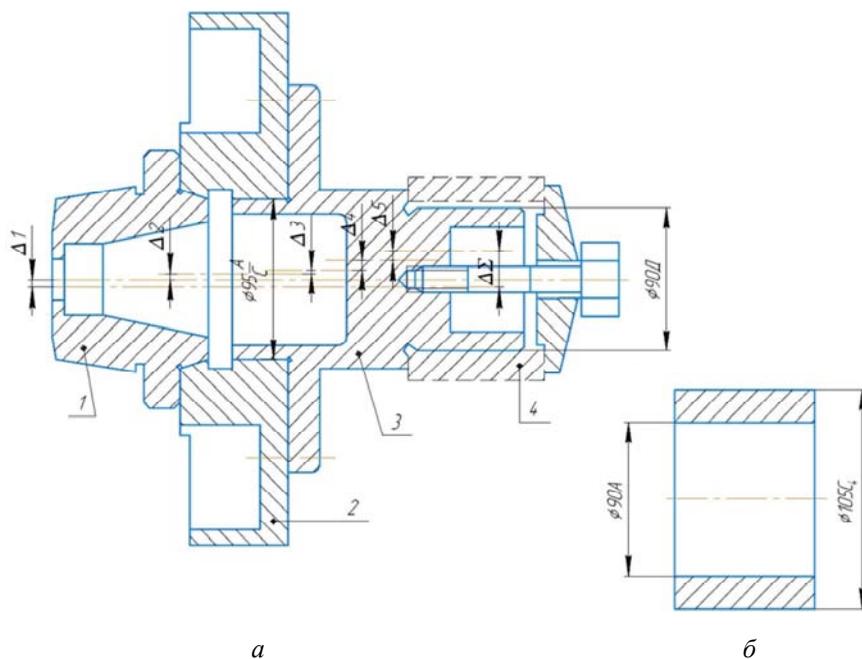


Рис. 4.2. Схема установки детали на планшайбе с цилиндрическими наладками (а) и обрабатываемая деталь (б):

- 1 – посадочный конец шпинделя;
- 2 – базовая часть унифицированного приспособления (УБ);
- 3 – сменная наладка; 4 – обрабатываемая деталь

Рассчитываемая погрешность – радиальное биение наружной поверхности детали ($\phi 105h11$) относительно внутренней

($\varnothing 90H7$) – представляет собой суммарную погрешность Δ_{Σ} , в которую входят следующие составляющие:

Δ_1 – радиальное биение посадочной поверхности шпинделя относительно оси вращения, т. е. геометрическая погрешность станка;

Δ_2 – радиальное биение посадочной поверхности базового приспособления относительно оси шпинделя;

Δ_3 – радиальное биение посадочной поверхности наладки относительно оси посадочной поверхности базового приспособления, зависящее от зазора в сопряжении $95H7/h6$;

Δ_4 – радиальное биение посадочной поверхности наладки относительно посадочной поверхности базового приспособления, т. е. погрешность изготовления наладки;

Δ_5 – радиальное биение внутренней поверхности детали относительно посадочной поверхности наладки, зависящее от зазора в сопряжении, т. е. сумма погрешности базирования $\Delta_{\text{баз}}$ ($\varnothing 90H7$), погрешности изготовления сменной наладки δ ($\varnothing 90g6$) и гарантированного зазора $\Delta_3 = D_{\text{дет}}^{\min} - D_{\text{с.н}}^{\max}$.

Остальными погрешностями пренебрегаем, так как $\Delta_{\text{и}} = 0$ (износ), $\Delta_{\text{п}} = 0$ (нет направляющих элементов), $\Delta_{\text{кр}} + \Delta_{\text{уст.д}} = 0$ (зажимное усилие направлено вдоль оси детали).

Тогда суммарная погрешность

$$\begin{aligned}\Delta_{\Sigma} &= \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 = \\ &= 0,02 + 0,01 + 0,058 + 0,01 + 0,073 = 0,171 \text{ мм},\end{aligned}$$

где $\Delta_1 = 0,02$ мм (по ГОСТ);

$\Delta_2 = 0,01$ мм (по рис. 4.2, позиция 2);

$\Delta_3 = 0,035 + 0,023 = 0,058$ мм (по рис. 4.2);

$\Delta_4 = 0,01$ мм (по рис. 4.2, позиция 3);

$$\Delta_5 = 0,035 + 0,023 + 0,015 = 0,073 \text{ мм (по рис. 4.2).}$$

Примененный метод суммирования погрешностей дает возможность определить максимальную величину радиального биения, вероятность появления которой бесконечно мала. Более достоверный результат можно получить, считая Δ_1 , Δ_2 , Δ_4 и $(\Delta_3 + \Delta_5)$ независимыми случайными величинами. Тогда погрешность

$$\Delta_{\Sigma}^2 = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_4^2 + (\Delta_3 + \Delta_5)^2},$$

где Δ_3^2 и Δ_5^2 определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \Delta_3^2 &= \Delta_3 + \sqrt{(\delta 95H9)^2 + (\delta 95h6)^2} = \\ &= 0 + \sqrt{0,035^2 + 0,023^2} = 0,042 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_5^2 &= \Delta_3 + \sqrt{(\delta 90H7)^2 + (\delta 90g6)^2} = \\ &= 0,015 + \sqrt{0,035^2 + 0,023^2} = 0,057 \text{ мм}. \end{aligned}$$

После подстановки численных значений, имеем

$$\Delta_{\Sigma}^2 = 0,02 + 0,01 + 0,01 + 0,099 = 0,102 \text{ мм}.$$

Оправка с полкой

Схема установки обрабатываемой детали на оправке с полкой представлена на рис. 4.3 (установочные и зажимные элементы не показаны).

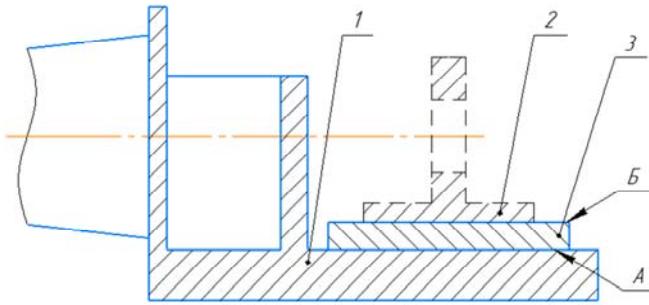


Рис. 4.3. Схема установки детали на оправке с полкой:
 1 – базовое приспособление (УБ); 2 – обрабатываемая деталь;
 3 – сменная наладка (СН)

Суммарная погрешность Δ_{Σ} (непараллельность оси обрабатываемого отверстия плоскости основания детали) состоит из следующих составляющих:

Δ_1 – непараллельность плоскости *A* (УБ) оси посадочной поверхности (УБ) под шпиндель;

Δ_2 – непараллельность плоскости *Б* (СН) плоскости *A* (СН).

Остальными погрешностями пренебрегаем, так как $\Delta_{\text{баз}} = 0$ (конструкторская и установочная базы совпадают), $\Delta_{\text{уст.д}} + \Delta_{\text{кр}} = 0,05$ (размеры детали 30×50 мм – обработка базовой поверхности шлифованием), $\Delta_3 = \Delta_{\Pi} = \Delta_{\text{и}} = \Delta_{\text{уст.пр}} = 0$, $\Delta_{\text{уст.пр}} = 0$ (погрешность установки приспособления отсчитывается по оси отверстия).

Тогда суммарная погрешность на длине 100 мм

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_{\text{уст.д}} + \Delta_{\text{кр}} = 0,01 + 0,01 + 0,1 = 0,12 \text{ мм,}$$

где $\Delta_1 = 0,01$ (по чертежу УБ);

$\Delta_2 = 0,01$ (по чертежу СН);

$\Delta_{\text{уст.д}} + \Delta_{\text{кр}} = 0,1$.

При сложении по правилам теории вероятностей

$$\Delta_{\Sigma}^2 = 0,1 \text{ мм.}$$

Тиски гидравлические с наладкой

Схема установки детали на станке и обрабатываемая деталь представлены на рис. 4.4 (подвижная губка и гидроцилиндр не показаны).

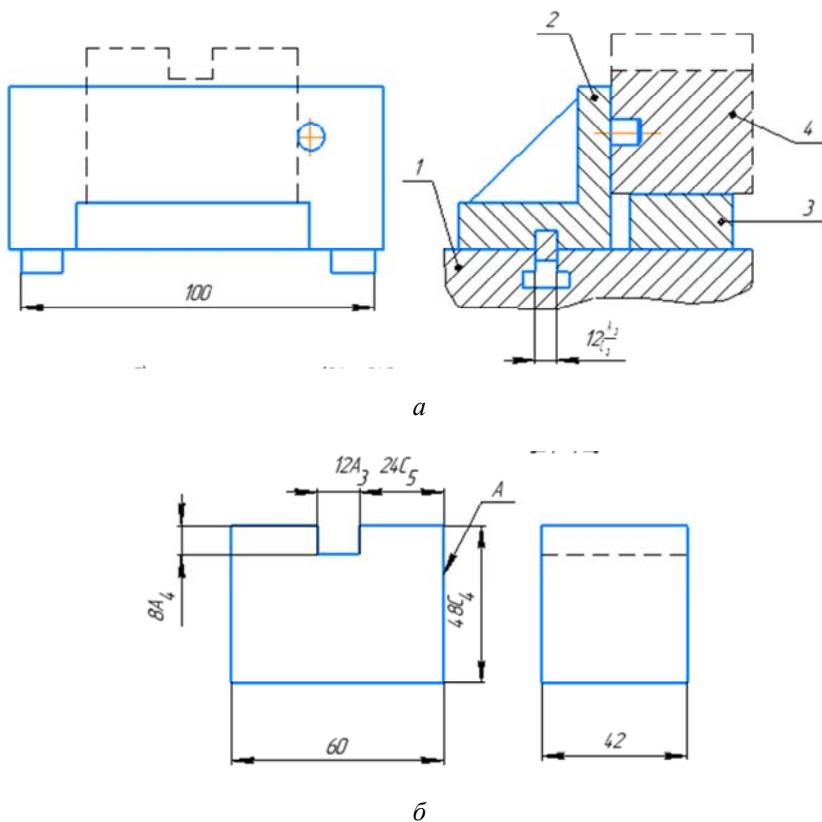


Рис. 4.4. Схема установки детали в гидравлических тисках с наладкой (а) и обрабатываемая модель (б):
1 – гидростол; 2 – неподвижная губка; 3 – сменная наладка;
4 – обрабатываемая деталь

Для определения точности размеров и взаимного расположения поверхностей тисков и допустимых погрешностей размеров и взаимного расположения поверхностей сменной наладки примем прямой порядок расчета. Обработка производится набором фрез.

Точность размеров $12H8$ и $8H11$ обеспечивается точностью размеров инструмента, точность размера $24h10$ – точностью настройки системы станка. Погрешности наладки влияют на размер $48h11$ и на непараллельность плоскостей, связанных между собой (между размерами $48h11$ и $24h10$).

Определение расчетной суммарной погрешности приспособления произведем по формуле

$$\Delta_{\text{пр}} = \delta - (k_1 \Delta_{\text{баз}} + \Delta_{\text{кр}} + \Delta_{\text{уст.д}} + k_2 \Delta_{\text{эк}}).$$

Определим слагаемые правой части формулы:

1) для размера $48h11$

$$\delta = 0,170 \text{ мм (по табл. ГОСТа для размера } 48h11);$$

$$\Delta_{\text{баз}} = 0;$$

$$\Delta_{\text{кр}} + \Delta_{\text{уст.д}} = 0;$$

$$\Delta_{\text{обр}} = k_2 \Delta_{\text{эк}} = 0,5 \cdot 0,170 = 0,085 \text{ мм.}$$

Подставив в формулу численные значения, получаем

$$\Delta_{\text{пр}} = 0,170 - (0,5 \cdot 0,170) = 0,085 \text{ мм;}$$

2) для параллельности поверхностей, связанных размером $48h11$:

$$\delta \approx \frac{1}{2} \delta(48h11) = 0,085 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{баз}} = 0;$$

$$\Delta_{\text{кр}} + \Delta_{\text{уст.д}} = 0;$$

$$\Delta_{\text{обр}} = k_2 \Delta_{\text{эк}} = 0,5 \cdot 0,025 = 0,0125 \text{ мм},$$

где $\Delta_{\text{эк}} = 0,025$ мм, по ГОСТ 10356 (точность для диагонали основания детали – 70 мм).

Подставляя в формулу полученные значения, получаем

$$\Delta_{\text{пр}} = 0,085 - 0,0125 = 0,072 \text{ мм}.$$

3) для параллельности поверхностей, связанных размером 24h10:

$$\delta = \frac{1}{2} \delta(24h10) = 0,140 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{баз}} = 0,025 \text{ мм},$$

по ГОСТ 10356-63 (точность, достигаемая при фрезеровании, погрешность предшествующей операции);

$$\Delta_{\text{кр}} + \Delta_{\text{уст.д}} = 0,020 \text{ мм}$$

для свободно устанавливаемой детали;

$$\Delta_{\text{обр}} = k_2 \Delta_{\text{эк}} = 0,5 \cdot 0,025 = 0,0125 \text{ мм}$$

точность для размера 60 мм.

$$\Delta_{\text{пр}} = 0,140 - 0,025 - 0,020 - 0,5 \cdot 0,025 = 0,082 \text{ мм}.$$

2. Определение допусков размеров собранного приспособления произведем по формуле

$$\delta_{сб} = \Delta_{пр} - (\Delta_3 + \Delta_{п} + \Delta_{уст.пр}).$$

Определим слагаемые правой части формулы:

1) для размера 48h11:

$$\Delta_3 = \Delta_{п} = \Delta_{и} = \Delta_{уст.пр} = 0,$$

$$\Delta_{сб} = \Delta_{пр} = 0,145 \text{ мм},$$

в суммарную погрешность изготовления приспособления в этом случае входит одна составляющая: погрешность размера сменной наладки по высоте. Значит, допуск на высоту сменной наладки не должен превышать 0,145 мм, что соответствует 9 качеству для размеров до 120 мм и 11 качеству для размеров до 30 мм;

2) для параллельности поверхностей, связанных размером 48h11:

$$\Delta_3 = \Delta_{п} = \Delta_{и} = \Delta_{уст.пр} = 0,$$

$$\Delta_{сб} = \Delta_{пр} = 0,072 \text{ мм},$$

т. е. непараллельность базирующей поверхности сменной наладки ее основанию не должна превышать 0,072 мм, что соответствует 7 качеству для размеров до 60 мм и 11 качеству для размеров до 20 мм;

3) для параллельности поверхностей, связанных размером 24h10:

$$\Delta_3 = \Delta_{п} = \Delta_{и} = 0,$$

$$\Delta_{\text{уст.пр}} = \frac{s_{\text{max}} \left(\frac{H9}{h8} \right) 42}{100} = \frac{0,070 \cdot 42}{100} = 0,029 \text{ мм},$$

где s_{max} – максимальный зазор между установочной шпонкой и пазом стола станка $\left(\frac{H9}{h8} \right)$;

$$\delta_{\text{сб}} = 0,082 - 0,029 = 0,053 \text{ мм},$$

т. е. непараллельность базирующей поверхности неподвижной губки к установочной поверхности (поверхности шпонки) не должна превышать 0,053 мм. На чертеже приспособления допуск на параллельность равен 0,02 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микитянский, В. В. Точность приспособлений в машиностроении / В. В. Микитянский. – М. : Машиностроение, 1984. – 128 с. : ил.
2. Дмитриев, В. А. Расчет приспособления на точность : учебное пособие / В. А. Дмитриев, С. А. Немыткин. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2009. – 90 с. : ил.
3. Антонюк, В. Е. Конструктору станочных приспособлений : справочное пособие / В. Е. Антонюк. – Минск : Беларусь, 1991. – 400 с. : ил.
4. Сакович, А. А. Методические указания к практическим работам по дисциплине «Проектирование приспособлений» для студентов специальностей 12.01 – «Технология машиностроения», 12.02 – «Металлорежущие станки и инструменты» : в 3 ч. / А. А. Сакович, А. И. Медведев, В. А. Шкред. – БПИ, 1989. – Ч. 1 : Расчеты точности, усилий зажима и экономичности приспособлей. – 39 с. : ил.
5. Станочные приспособления : справочное пособие : в 2 т. / ред. совет : Б. Н. Вардашкин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1984. – Т. 1 / под ред. Б. Н. Вардашкина, А. А. Шатилова. – 1984. – 592 с. : ил.
6. Шубников, К. В. Унифицированные переналаживаемые станочные приспособления / К. В. Шубников. – Л. : «Машиностроение», 1973. – 208 с.
7. Ермолаев, В. В. Технологическая оснастка. Лабораторно-практические работы и курсовое проектирование : учебное пособие для учреждений среднего профессионального образования / В. В. Ермолаев. – М. : Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с.
8. Зубарев, Ю. М. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении : учебное пособие / Ю. М. Зубарев. – СПб. : Издательство «Лань», 2015. – 320 с. : ил.
9. Блюменштейн, В. Ю. Проектирование технологической оснастки: учебное пособие для вузов / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Клепцов. – 4-е изд. – СПб. : Лань, 2021. – 220 с. : ил.
10. Клепиков, В. В. Станочные приспособления : учебное пособие / В. В. Клепиков [и др.]. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2021. – 319 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Основные положения.....	5
Практическая работа № 1. Определение погрешности базирования, в зависимости от принятой схемы установки заготовки в приспособлении	9
Практическая работа № 2. Определение погрешности закрепления, в зависимости от смещения стыка «заготовка – опора» в приспособлении	14
Практическая работа № 3. Определение межремонтного периода работы приспособлений	28
Практическая работа № 4. Определение исполнительных размеров установочных и направляющих элементов, обеспечивающих заданную точность обработки	32
Литература	46

Учебное издание

РАСЧЕТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ

Пособие
для студентов специальности
1-36 01 01 «Технология машиностроения»

В 3-х частях

Часть 1

Составители:

ШЕЛЕГ Валерий Константинович
КРАЙКО Сергей Эдуардович
КРАВЧУК Марина Анатольевна и др.

Редактор *Е. И. Бенищевич*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 02.02.2023. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 1,22. Тираж 100. Заказ 591.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.