

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

## Расчет операционных размеров по нормативам при проектировании технологических процессов механической обработки

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве методического указания*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2007

УДК 629.7.063  
ББК 39.55

Составитель: К. П. Крашенинников

Рецензент : канд. техн. наук, доцент В.Н. Волков.

**Расчет операционных размеров по нормативам при проектировании технологических процессов механической обработки:** метод. указание / сост. К.П. Крашенинников – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 20 с. : ил.

Изложена методика определения количества операций по обработке поверхностей заготовок с целью получения поверхностей деталей с установленными рабочим чертежом параметрами. В основе методики лежит понятие об уточнении поверхностей по операциям.

Приведен целесообразный порядок расчёта операционных размеров для каждой из операций, в которых обрабатывается рассматриваемая поверхность.

Для выполнения технологических расчетов методические указания снабжены необходимой нормативно-справочной документацией, содержащейся в Приложении.

Методические указания предназначены студентам заочной формы обучения, выполняющим контрольную работу по дисциплине «Технология машиностроения».

УДК 629.7.063  
ББК 39.55

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2007

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Общие сведения.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Определение количества операций обработки поверхностей заготовки.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Назначение операционных припусков и расчет операционных размеров.....</b>	<b>6</b>
<b>3. Пример расчета операционных размеров для обработки вала.....</b>	<b>9</b>
3.1. Условие задачи.....	9
3.2. Решение задачи.....	9
<b>Список литературы.....</b>	<b>12</b>
<b>Приложение.....</b>	<b>12</b>

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Целью данных методических указаний является ознакомление студентов с методикой расчета операционных размеров нормативным способом для овладения навыками такого расчета в процессе выполнения контрольной работы.

Задачей технологического процесса механической обработки заготовок является получение деталей с параметрами, заданными в рабочих чертежах. К таким параметрам относятся форма, размеры и качество поверхностей – шероховатость и физико-механическое состояние. Все эти параметры ограничены соответствующими допусками – допустимыми величинами колебания параметров. Допуски назначаются конструктором детали, исходя из условий качественного выполнения деталью своего функционального назначения. Большинство из названных параметров детали достигается механической обработкой исходной заготовки путем постепенного приближения к их заданным значениям, т.е. обработкой поверхностей заготовок в нескольких операциях. Чем точнее и качественнее поверхность детали, тем при определенной точности заготовки в большем количестве операций она будет обрабатываться: сперва выполняют черновую, затем чистовую, после которой следует окончательная обработка. Ясно, что размеры поверхности на всех этих стадиях (операциях) будут различаться. Определение конкретных величин этих размеров, называемых операционными, является одной из задач при проектировании технологического процесса механической обработки. Ниже изложена методика расчета операционных размеров нормативным способом.

## 1. Определение количества операций обработки поверхностей заготовки

Объективным критерием при определении количества операций, в которых надлежит обработать ту или иную поверхность заготовки, чтобы получить заданную поверхность детали, служит коэффициент уточнения (уточнение)  $\varepsilon$ , определяемый следующим образом: при известных допусках на размеры заготовки  $T_3$  и детали  $T_d$  для какой-либо из конкретной поверхности

$$\varepsilon_{\text{общ.р}} = \frac{T_3}{T_d}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{\text{общ.р}}$  – общее расчетное уточнение, вносимое всеми операциями, в которых данная поверхность обрабатывается.

Величина фактического уточнения  $\varepsilon_{\text{общ.ф}}$  определяется произведением уточнений отдельных операций:

$$\varepsilon_{\text{общ.ф}} = \varepsilon_{\text{черн}} \cdot \varepsilon_{\text{чист}} \cdot \varepsilon_{\text{ок}}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{\text{чер}}$ ,  $\varepsilon_{\text{чист}}$ ,  $\varepsilon_{\text{ок}}$  – уточнения, вносимые соответственно черновой, чистовой и окончательной операциями, в которых следует обработать рассматриваемую поверхность.

Установлено, что  $\varepsilon_{\text{черн}} \approx 5 \dots 6$ ;  $\varepsilon_{\text{чист}} \approx 2,5 \dots 3$ ;  $\varepsilon_{\text{ок}} \approx 1,5 \dots 2$ .

Рассмотрим использование критерия  $\varepsilon_{\text{общ}}$  на примере. Пусть требуется получить поверхность вала, допуск на размер которого 0,06 мм. Заготовкой служит штамповка, допуск на соответствующий размер её поверхности равен 1,2 мм. Используя формулу (1), получаем

$$\varepsilon_{\text{общ.р}} = \frac{1,2}{0,06} = 20.$$

Такую величину  $\varepsilon_{\text{общ.р}}$ , в соответствии с формулой (2), можно гарантированно получить из произведения

$$\varepsilon_{\text{общ.ф}} = 5,5 \cdot 2,5 \cdot 1,5 = 21,$$

при этом  $\varepsilon_{\text{общ.ф}} > \varepsilon_{\text{общ.р}}$  и, следовательно, поверхность заготовки должна быть обработана черновым и чистовым точением, а в качестве окончательной операции – шлифованием (или иными равноценными методами).

Изложенное показывает, что при малых значениях  $\varepsilon_{\text{общ}}$  количество операций уменьшается (например, одна черновая или черновая и чистовая), а при больших – увеличивается (например, кроме черновой требуется выполнить две чистовых или окончательных обработки). Следует иметь в виду, что количество операций увеличивается и за счет таких как термообработка, отделочно-упрочняющие операции, которые коэффициентом  $\varepsilon$  не учитываются.

Отметим, что иногда можно сократить расчетное число операций за счет увеличения количества проходов. Так, чистовую операцию можно выполнить за два прохода – предварительный и окончательный, каждый из которых внесет свое уточнение.

## 2. Назначение операционных припусков и расчет операционных размеров

После того, как определено количество ступеней обработки заготовки для получения детали, необходимо рассчитать размеры обрабатываемой поверхности в каждой из операций, вплоть до размера её в заготовке. По мере определения операционных размеров, на каждый из них следует назначить допуск. Его величина должна соответствовать экономической точности обработки: точность (величина допуска) черновых операций соответствует 12...14 квалитетам,

чистовых – 10...11 квалитетам, окончательных 6...9 квалитетам (см. табл. 1 Приложения к методическим указаниям). Точность окончательных размеров обычно регламентируется допуском на размер рабочего чертежа детали. Допуски на размеры штамповок и грубого проката задаются в зависимости от класса точности заготовки. Эти допуски представляют сумму двух отклонений размера заготовки – верхнего и нижнего (см. табл. 1 и 2 Приложения).

Изменение размера обрабатываемой поверхности от заготовки до окончательного происходит за счет удаления с поверхности некоторого слоя материала. Этот слой называют припуском. В процессе нескольких операций (черновой, чистовой и т.д.) с заготовки удаляется суммарный припуск  $z_{\Sigma}$ . Его величины складываются из величин операционных припусков  $z_i$ , удаляемых в каждой операции механической обработки:

$$Z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{i=n} z_i, \quad (3)$$

где  $n$  – количество операций, в которых обрабатывается рассматриваемая поверхность.

Таким образом, размер обрабатываемой поверхности в каждой предшествующей операции отличается от её размера в последующей операции на величину  $z_i$ . Сами же величины  $z_i$  зависят от места операции в технологическом процессе: для грубых, черновых операций характерны большие значения  $z_i$ , а по мере приближения к окончательным операциям они уменьшаются.

Поскольку известным размером является только окончательный размер поверхности, то прочие операционные размеры получаются на его основе путем наращивания, прибавления (для валов) или вычитания (для отверстий) определенных величин операционных припусков.

Образование операционного размера предшествующей обработки рассмотрим на примере обработки плоскости  $M$  прямоугольного параллелепипеда (рис. 1). Отметим, что в этом случае, а также

при обработке валов за номинальные размеры принимается их максимальная величина.

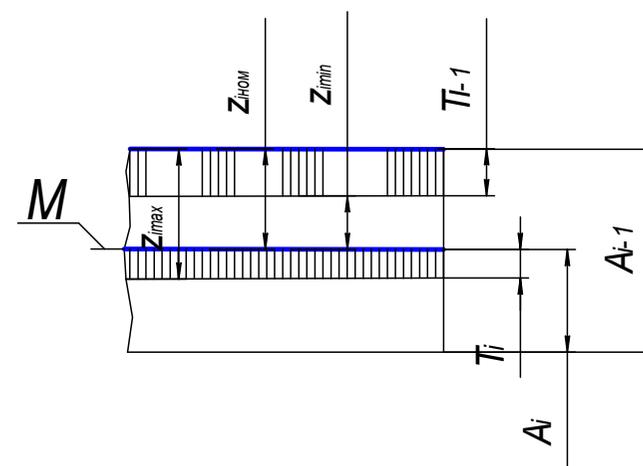


Рис. 1. Схема расчета операционного размера предшествующей обработки

Полагаем, что размер  $A_i$  с допуском  $T_i$  выполняемой в  $i$  операции известен: например, это может быть окончательный размер детали. Как видно из схемы на рис. 1, чтобы рассчитать размер  $A_{i-1}$  предшествующей операции, к номинальной величине  $A_i$  следует прибавить номинальное значение припуска  $Z_i$ , который будет удален в  $i$ -ой операции, т.е.

$$A_{i-1} = A_i + z_{i_{ном}}. \quad (4)$$

Таким образом, для определения размера  $A_{i-1}$  требуется знать величину  $z_{i_{ном}}$ . Однако в нормативно-справочной литературе приведены только значения  $z_{i_{min}}$  (см. табл. 4...8 Приложения), т.к. эта величина должна быть гарантирована во всяком случае. Но значения  $z_{i_{ном}}$  и  $z_{i_{min}}$  разнятся между собой лишь на величину допуска  $T_{i-1}$  на размер  $A_{i-1}$  предшествующей обработки (см. рис. 1). Назначив, в соответствии с изложенными выше рекомендациями, допуск  $T_{i-1}$ , рассчитаем  $z_{i_{ном}}$ :

$$z_{iном} = z_{iмин} + T_{i-1}, \quad (5)$$

а затем и размер  $A_{i-1}$  по формуле (4).

Такой расчет с целью определения операционных размеров выполняется для всех операций механической обработки.

Размер заготовки рассчитывается в таком же порядке, но учитывая, что допуск на размер заготовки задается в виде двух отклонений – верхнего (НО) и нижнего (НО), номинал размера рассчитывают так

$$A_{i-1ум} = A_i + НО,$$

записывается же этот размер в таком виде  $A_{i-1ум} = A_{i-1ум-НО}^{+BO}$ .

Линейные размеры при обработке торцевых поверхностей, например, для валов, рассчитываются так же, как и в приведенном примере (см. рис. 1).

При расчете операционных размеров в случае обработки отверстия следует учитывать, что за номинальные значения этих размеров принимают минимальные ( $A_{iмин}$ ;  $A_{i-1 мин}$ ), допуск представляют в виде верхнего отклонения, а номинальные припуски не прибавляют, а вычитают.

### 3. Пример расчета операционных размеров для обработки вала

#### 3.1. Условие задачи

**Требуется:** изготовить вал  $\varnothing 25_{-0,033}$  мм;  $l=90_{-0,87}$  мм; материал – сталь, твердость  $HRC_3=50...55$ .

**Дано:** заготовка – черный прокат; термообработка - закалка с отпуском.

#### 3.2. Решение задачи

Определение количества операций для обработки цилиндрической поверхности заготовки выполняется с использованием зави-

симостей (1) и (2). Для расчета необходимо определить допуск на размер заготовки. По табл. 2 Приложения 2 для 4-го класса точности заготовки необходим допуск на размер диаметра ( $\varnothing > 25$  мм) прутка:

$T_{заг} = BO + HO = 0,4 + 0,25 = 0,65$  мм. Следовательно, расчетное уточнение  $\varepsilon_{общр} = \frac{T_z}{T_o} = \frac{0,65}{0,033} \approx 20$ .

Гарантировано обеспечить такое уточнение возможно, если использовать трехкратную механическую обработку поверхности вала: черновую, чистовую и окончательную:

$$\varepsilon_{общф} = \varepsilon_{черн} \cdot \varepsilon_{чист} \cdot \varepsilon_{ок} = 5 \cdot 3 \cdot 1,5 = 22,5.$$

Так как  $\varepsilon_{общф} > \varepsilon_{общр}$ , то требуемое уточнение в предлагаемых операциях достигается с гарантией.

В технологический процесс изготовления вала необходимо ввести и операцию термической обработки для достижения заданной твердости поверхности детали. Место термообработки – после чистового точения перед окончательной обработкой – шлифованием.

Расчет операционных размеров и его последовательность для наглядности представим в виде таблицы (табл. 1). Расчеты выполняются по формулам (5) и (4), и данные для расчетов выбираются из нормативных материалов, приведенных в Приложении к методическим указаниям.

Таблица 1

Цилиндрическая поверхность вала

№ оп.	Наименование операции	Операционный размер	Допуск (отклон. операц. размера)	Припуск		Нормативный источник (№ Приложения)
				$Z_{мин}$	$Z_{ном}$	
1	2	3	4	5	6	7
25	Шлифование	25	-0,033	0,2	0,3	Приложение 6

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
20	Термическая обработка	–	–	–	–	
15	Чистовое точение	25,3	-0,084	0,8	1,1	Приложение 4
10	Черновое точение	26,4	-0,21	1,3	1,6	Приложение 3
5	Заготовка	28	+0,4 -0,25			

Следует обратить внимание на необходимость округления расчетных размеров до установленных стандартам окончаний, величины которых приведены в табл. 12 Приложения, причем размеры валов следует округлять в большую сторону, а размеры отверстий – в меньшую.

Как видно из табл. 1, расчетные размеры зачеркиваются, а вместо них записывается округленная величина. Вместе с тем на величину округления пересчитывается и номинальный припуск.

Для обработки торцевых поверхностей заготовок расчет линейных операционных размеров выполняется так же по формулам (5) и (4). Эти размеры рассчитываются поочередно, от одного торца до другого с наращиванием соответствующего припуска. Исходные данные следует выбирать по нормативам (см. табл. 9...11 Приложения), а допуски на размер заготовки – табл. 3 Приложения.

## Список литература

1. Иващенко, И.А. Проектирование технологического процесса производства двигателей летательных аппаратов: учеб. пособие для студентов авиационных специальностей вузов / И.А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.

2. Иващенко, И.А. Расчеты размерно-точных параметров механической обработки заготовок: учебн. пособие / И.А. Иващенко, И.М. Трухман. - Самара: Сам. гос. аэрокосм. ун-т. 1993. - 99 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

**Значения допусков (в мкм) \*) по квалитетам точности  
(по стандарту СТ СЭВ 145-75)**

Интервал размеров, мм	Квалитеты точности							
	7	8	9	10	11	12	13	14
18...30	21	33	52	84	130	210	330	520
30...50	25	39	62	100	160	250	390	620
50...80	30	46	74	120	190	300	460	740
80...120	35	54	87	140	220	550	540	870

\*) Примечание. Для расчета операционных припусков и размеров размерность табличных допусков следует перевести в мм.

Таблица 2

**Допуски (мм) на размеры цилиндрических поверхностей  
заготовок из сталей (по ОСТ 1.41187-78)**

Размер поверхности, мм	Класс точности заготовки					
	4		5		6	
	ВО	НО	ВО	НО	ВО	НО
св. 16 до 25	0,3	0,15	0,4	0,2	0,5	0,3
св. 25 до 40	0,4	0,25	0,6	0,4	0,7	0,5
св. 40 до 60	0,55	0,3	0,7	0,5	0,9	0,6
св. 60 до 100	0,7	0,4	0,9	0,6	1,1	0,7
св. 100 до 160	0,85	0,55	1,1	0,7	1,3	0,9

Таблица 3

**Допуски (мм) линейных размеров заготовок из сталей  
(по ОСТ 1.41187-78)**

Площадь проекции заготовки на плоскость разъема штампов, см <sup>2</sup>	Класс точности заготовки					
	4		5		6	
	ВО	НО	ВО	НО	ВО	НО
св. 16 до 25	0,3	0,15	0,5	0,3	0,7	0,4
св. 25 до 40	0,35	0,2	0,6	0,3	0,9	0,5
св. 40 до 80	0,45	0,3	0,7	0,5	0,9	0,6
св. 80 до 160	0,55	0,25	0,9	0,4	1,4	0,7
св. 160 до 320	0,7	0,35	1,1	0,5	1,8	0,9

Таблица 4

**Минимальные припуски на наружное шлифование  
цилиндрических поверхностей после чистового точения**

Диаметр поверхности после чистового точения, мм	Для термически необработанных заготовок		Для термически обработанных заготовок	
	Припуск z <sub>min</sub> (мм) при длине заготовки			
	до 100	св. 100 до 260	до 100	св. 100 до 260
до 18	0,15	0,18	0,18	0,22
св. 18 до 50	0,18	0,22	0,2	0,28
св. 50 до 120	0,2	0,25	0,25	0,35
св. 120	0,25	0,3	0,3	0,4

Таблица 5

**Минимальные припуски на шлифование отверстий  
после чистового растачивания**

Диаметр поверхности после чистового точения, мм	Для термически необ- работанных и терми- чески обработанных жестких (толстостен- ных) заготовок	Для термически обра- ботанных нежестких (тонкостенных) заго- товок
	Припуск $z_{\min}$ (мм) на диаметр отверстия	
до 50	0,2	0,25
св. 50 до 120	0,25	0,35
св. 120 до 260	0,35	0,5

Таблица 6

**Минимальные припуски на чистовое точение наружных  
цилиндрических поверхностей после черного**

Диаметр поверхно- сти после черново- го точения, мм	Чистовое обтачивание после черного		Чистовое обтачивание после черного и тер- мической обработки	
	Припуск $z_{\min}$ (мм) на диаметр при длине заготовки			
	до 120	св. 120 до 260	до. 120	св. 120 до 260
до 50	0,5	0,6	0,8	1,0
св. 50 до 120	0,6	0,7	0,85	1,1
св. 120 до 500	0,7	0,8	0,9	1,2

Таблица 7

**Минимальные припуски на чистовое растачивание отверстий  
после сверления или черного растачивания**

Диаметр отверстия, мм	Чистовое растачивание или зенкерование	Развертывание (вместо шлифования)
	Припуск $z_{\min}$ (мм) на диаметр	
до 10	–	0,12
св. 10 до 30	0,5	0,16
св. 30 до 50	0,6	0,2
св. 50 до 120	0,9	–
св. 120 до 500	1,2	–

Таблица 8

**Минимальные припуски на черновое точение цилиндрических  
наружных поверхностей и черновое растачивание отверстий  
штампованных заготовок из черного проката**

Диаметр заго- товки, мм	Черновое обтачивание и растачивание штампован- ных заготовок		Черновое обтачивание заготовок из черного проката	
	Припуск $z_{\min}$ (мм) на диаметр при длине заготовки			
	до 120	св 120 до 260	до 120	св 120 до 260
до 50	1,7	2,0	1,3	1,5
св 50 до 120	2,0	2,2	1,5	1,8
св. 120 до 260	2,2	2,4	1,8	2,2

Таблица 9

**Минимальные припуски на шлифование торцов заготовок**

Габаритные размеры (диаметр заготовки), мм	Шлифование термически необработанных заготовок	Шлифование термически обработанных заготовок
	Припуск $z_{\min}$ (мм) на сторону	
до 30	0,1	0,15
св 50 до 120	0,15	0,2
св. 120 до 260	0,2	0,3

Таблица 10

**Минимальные припуски на чистовое точение или чистовое фрезерование торцов заготовок**

Габаритный размер (диаметр) заготовки, мм	Припуск $z_{\min}$ (мм) на сторону
до 30	0,3
св 30 до 120	0,4
св. 120 до 260	0,55

Таблица 11

**Минимальные припуски на черновое точение или черновое фрезерование торцов заготовок**

Габаритный размер (диаметр) заготовки, мм	Заготовки - штамповки и прутковые
	Припуск $z_{\min}$ (мм) на сторону
до 30	0,9
св 30 до 120	1,0
св. 120 до 260	1,2

Таблица 12

**Окончания технологических размеров**

Номинальный размер	Окончания размеров										
	валов										
до 50	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
св 50 до 120	0,0	0,1	0,2	(0,3)	0,4	0,5	(0,6)	-	0,8	0,9	
св 120 до 500	0,0	0,1	0,2	-	0,4	0,5	-	-	0,8	-	
	отверстий										
до 30	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	(0,7)	0,8	0,9	
св 30 до 80	0,0	0,1	0,2	(0,3)	0,4	0,5	(0,6)	-	0,8	0,9	
св 80 до 360	0,0	0,1	0,2	-	0,4	0,5	-	-	0,8	-	
	длины, глубины										
до 30	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	(0,7)	0,8	0,9	
св 30 до 120	0,0	-	-	0,3	-	0,5	-	-	0,8	-	
св 120 до 500	0,0	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	

Примечание. Размеры с окончаниями в скобках применять только на последних операциях.

Учебное издание

*Крашенинников Константин Петрович*

**РАСЧЕТ ОПЕРАЦИОННЫХ РАЗМЕРОВ ПО НОРМАТИВАМ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Методические указания

Редактор Ю.Н. Литвинова  
Компьютерная верстка О.А. Ананьев

Подписано в печать 17.11.07. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 1,25.

Тираж 100 экз. Заказ Арт. С Д2/10/2007

Самарский государственный  
аэрокосмический университет.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского государственного  
аэрокосмического университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.