

Министерство высшего и среднего специального
образования Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ПО ФОРМЕ, РАСПОЛОЖЕНИЮ
И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Утверждено
редакционным советом
института в качестве
методических указаний

Куйбышев 1983

УДК 621.753

Методические указания содержат материал по шероховатости обработанной поверхности и методам ее измерения, в них также отражены основные вопросы взаимозаменяемости по форме и расположению поверхностей деталей, приведен необходимый справочный материал.

Указания подготовлены для студентов всех факультетов, выполняющих цикл лабораторных работ, курсовые и дипломные проекты по данной теме.

Разработали: Ф.П.У р ы в с к и й, Б.Н.У л а н о в,
Т.П.Б у з и ц к а я

Рецензенты: М.К.К л е б а н о в, А.В.Т а р а с о в

І. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ПО ФОРМЕ И РАСПОЛОЖЕНИЮ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

І. П р и н я т а я т е р м и н о л о г и я

Точность изготовления детали по геометрическим параметрам в общем случае характеризуется погрешностями поверхностей и размеров.

К погрешностям поверхности относятся отклонения формы и расположения, волнистость и шероховатость.

Для нормирования и количественной оценки отклонений формы и расположения поверхностей и профилей стандартом СЭВ (ст.СЭВ30І-76) введены следующие термины и понятия.

Р е а л ь н а я п о в е р х н о с т ь - поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды.

Н о м и н а л ь н а я п о в е р х н о с т ь - поверхность, номинальная форма которой задана чертежом или другой технической документацией.

П р о ф и л ь - линия пересечения поверхности с плоскостью или заданной поверхностью.

Н о р м и р у е м ы й у ч а с т о к - участок поверхности (или линии), к которому относится допуск или отклонение формы или расположения элемента.

Если нормируемый участок не задан, то допуск или отклонение формы и расположения должны относиться ко всей длине или поверхности рассматриваемого элемента.

Б а з а - элемент детали (или сочетание элементов), определяющий одну из плоскостей или осей системы координат, по отношению к которой задается допуск расположения рассматриваемого элемента.

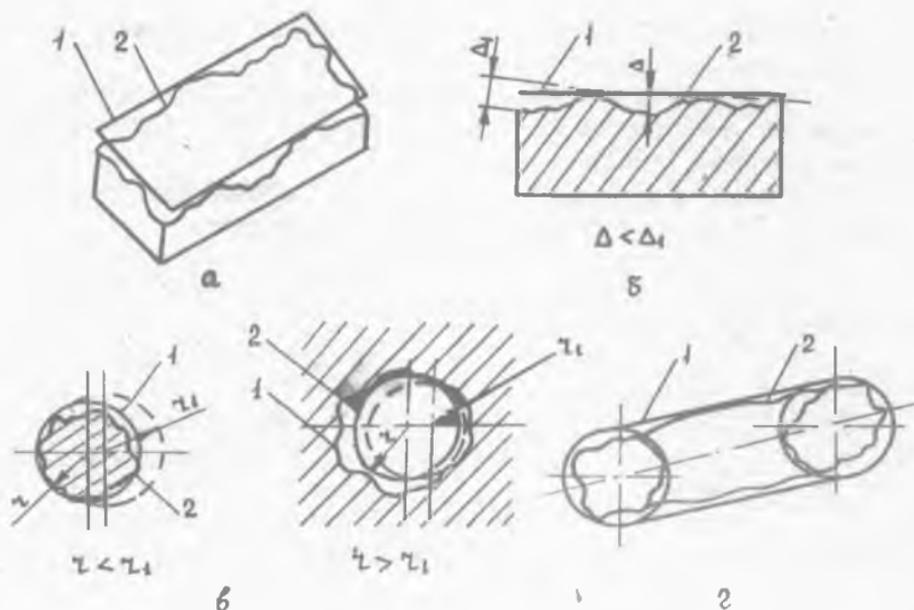
В основу нормирования и отсчета отклонений формы и расположения поверхностей положен принцип прилегающих поверхностей и профилей.

Различают следующие основные виды прилегающих поверхностей и профилей:

П р и л е г а ю щ а я п о в е р х н о с т ь - поверхность, имеющая форму номинальной поверхности, соприкасающаяся с реальной поверхностью и расположенная вне материала детали так, чтобы от-

клонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имело минимальное значение.

Прилегающая плоскость (прилегающая прямая) – плоскость (прямая), соприкасающаяся с реальной плоскостью (профилем) и расположенная так, чтобы расстояние от наиболее удаленной точки действительной поверхности (профиля) до прилегающей плоскости (прилегающей прямой) имело минимальное значение (рис. I, а, б).



Р и с. I. Прилегающие поверхности: а - плоскость; б - прямая; в - окружность; г - цилиндр; 1 - прилегающая поверхность; 2 - реальная поверхность

Прилегающая окружность – окружность минимального диаметра, описанная вокруг реального профиля наружной поверхности вращения, или максимального диаметра, вписанная в реальный профиль внутренней поверхности вращения (рис. I, в).

Прилегающий цилиндр – цилиндр минимального диаметра, описанный вокруг реальной наружной поверхности, или максимального диаметра, вписанный в реальную внутреннюю поверхность (рис. I, г).

В тексте и на рисунках приняты следующие условные обозначения:

Δ - отклонение формы или расположения;

f - допуск формы или расположения;

L - длина нормируемого участка.

Под отклонением формы понимается отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от формы номинальной поверхности или номинального профиля. Количественно отклонение формы оценивается наибольшим расстоянием Δ от точек реальной поверхности до прилегающей поверхности по нормали к прилегающей поверхности.

Кроме отклонений формы и расположения стандартом СЭВ введены понятия "допуск" и "поле допуска" формы и расположения поверхностей. Наибольшее допустимое значение отклонений формы или расположения называется допуском, а область в пространстве (или на плоскости), ограниченная предельными значениями отклонений, - полем допуска формы или расположения поверхностей.

При определении отклонения формы волнистость поверхности включается в отклонение формы. Но при необходимости волнистость может нормироваться и контролироваться самостоятельно. Шероховатость поверхности при измерении отклонения формы не учитывается, так как радиус измерительного наконечника во много раз больше необходимого для измерения шероховатости.

Для нормирования отклонений формы устанавливаются как дифференцированные (элементарные), так и комплексные (суммарные) показатели.

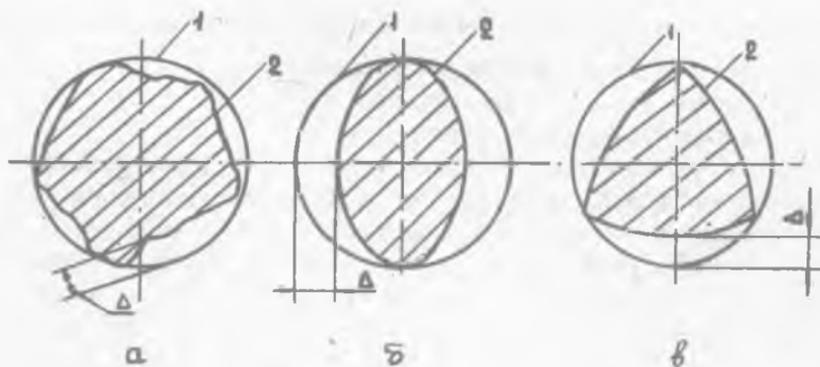
2. Отклонения формы

2.1. Отклонения формы цилиндрических поверхностей

Точность формы цилиндрических поверхностей определяется отклонением контура в поперечном сечении и отклонением образующей цилиндра в продольном сечении.

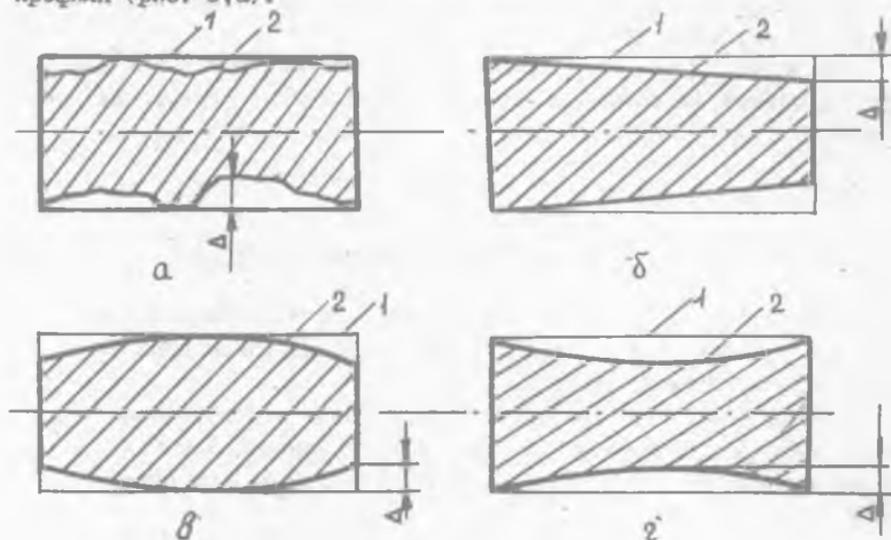
Комплексным показателем отклонения формы в поперечном сечении является отклонение от круглости, определяемое как наибольшее расстояние Δ от точек реального профиля до прилегающей окружности (рис. 2, а).

Частными видами отклонений от круглости являются овальность и огранка (рис. 2, б, в).



Р и с. 2. Отклонения профиля поперечного сечения: а - отклонение от круглости; б - овальность; в - огранка; 1 - прилегающая окружность; 2 - реальная поверхность

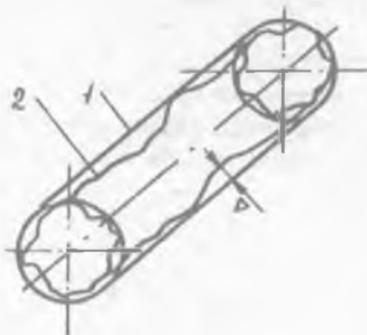
Комплексным показателем отклонения формы в продольном сечении является отклонение профиля продольного сечения, определяемого как наибольшее расстояние от точек реальной поверхности, лежащих в плоскости продольного сечения, до соответствующей стороны прилегающего профиля (рис. 3, а).



Р и с. 3. Отклонения профиля в продольном сечении: а - отклонение профиля продольного сечения; б - конусность; в - бочкообразность; г - седлообразность; 1 - прилегающая прямая; 2 - реальная поверхность

Частными видами отклонений профиля в продольном сечении являются конусообразность, бочкообразность и седлообразность (рис.3,б,в,г).

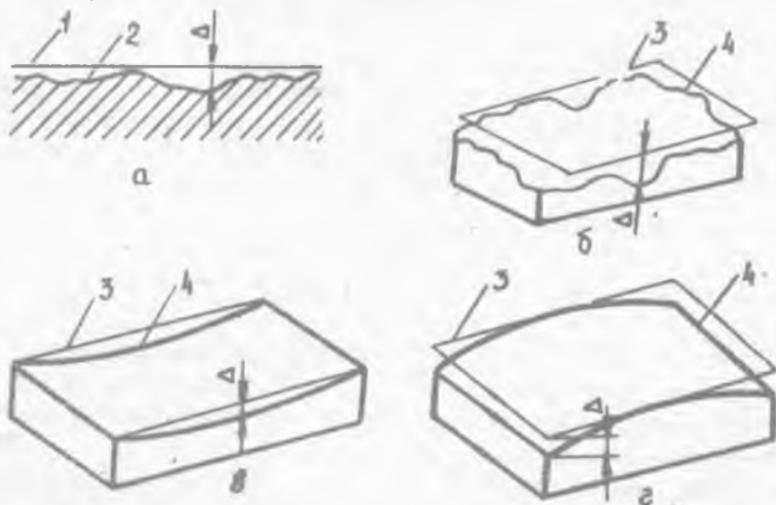
Наиболее полно отклонения формы цилиндрической поверхности от прямого круглого цилиндра определяются комплексным показателем - отклонением от цилиндричности (рис.4), включающим все виды отклонений в поперечном и продольном сечениях и определяющийся как наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра.



Р и с.4. Отклонение от цилиндричности: 1-прилегающий цилиндр; 2-реальная поверхность

2.2. Отклонения формы плоских поверхностей

Точность изготовления плоских поверхностей определяется комплексными показателями - отклонением от прямолинейности в плоскости (в сечении) и отклонением от плоскостности.



Р и с.5. Отклонения формы плоских поверхностей: а-отклонение от прямолинейности в плоскости; б -отклонение от плоскостности; в-вогнутость; г - выпуклость; 1-прилегающая плоскость; 2,4-реальная плоскость

Отклонение от прямолинейности в плоскости - наибольшее расстояние Δ от точек реального профиля до прилегающей прямой (рис. 5,а).

Отклонение от плоскостности - наибольшее расстояние Δ от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости (рис.5,б).

Частными видами отклонения от прямолинейности в плоскости и отклонения от плоскостности являются выпуклость и вогнутость (рис. 5,в,г).

3. Отклонения расположения поверхностей

При обработке деталей могут возникать отклонения расположения поверхностей.

Отклонением расположения называется отклонение от номинального расположения поверхности, ее оси или плоскости симметрии относительно баз или отклонение рассматриваемых поверхностей от номинального взаимного расположения.

При оценке расположения действительные поверхности заменяются прилегающими, что исключает влияние отклонения формы.

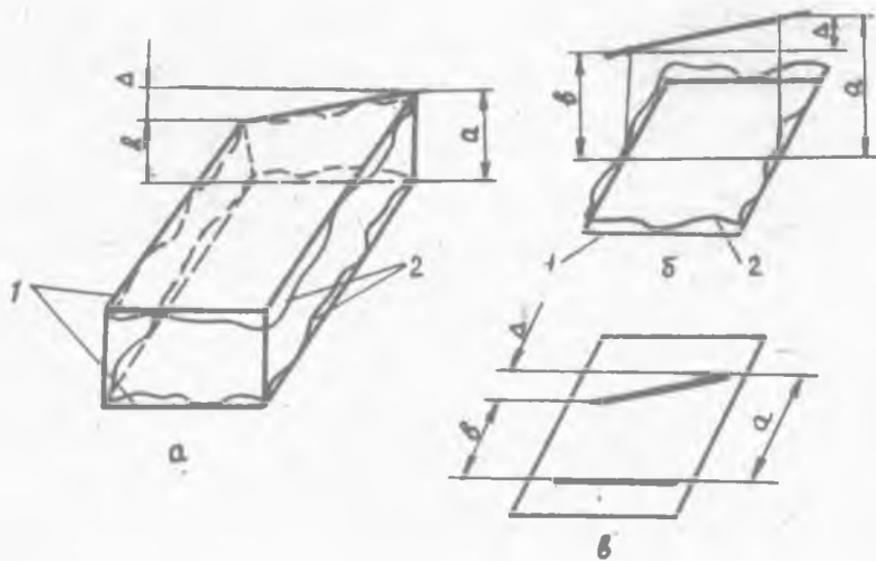
Допуски расположения поверхностей деталей могут быть зависимыми и независимыми.

Зависимым называется допуск расположения, величина которого изменяется при изменении действительных размеров сопрягаемых поверхностей. Зависимые допуски расположения назначают на детали, которые сопрягаются одновременно по двум или нескольким поверхностям. Контроль зависимых допусков наиболее часто осуществляется комплексными калибрами, являющимися прототипом сопрягаемой детали. Эти калибры всегда проходные, что гарантирует беспригоночную сборку изделия.

Независимым называется допуск расположения, величина которого определяется только заданным предельным отклонением расположения и не зависит от действительных отклонений размеров рассматриваемых поверхностей.

Основными видами отклонения расположения являются следующие:

Отклонение от параллельности - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний между плоскостями,



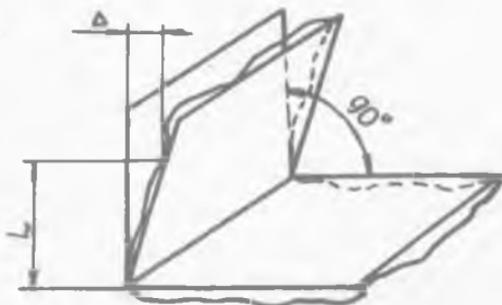
Р и с. 6. Отклонения от параллельности: а-плоскостей; б-оси и плоскости; в - осей в плоскости; 1-прилегающая плоскость; 2-реальная плоскость

между плоскостью и осью или между осями в общей плоскости (рис.6, а, б, в).

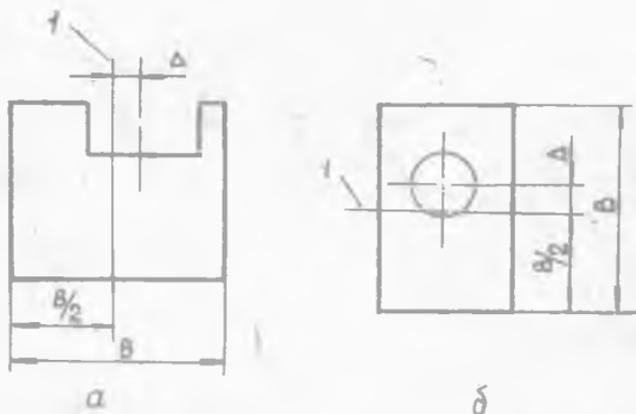
Отклонение от перпендикулярности плоскостей - отклонение угла между плоскостями от прямого угла (90°), выраженное в линейных величинах Δ на длине нормируемого участка (рис. 7).

Отклонение от симметричности - наибольшее расстояние между плоскостью симметрии и осью рассматриваемого элемента (рис. 8).

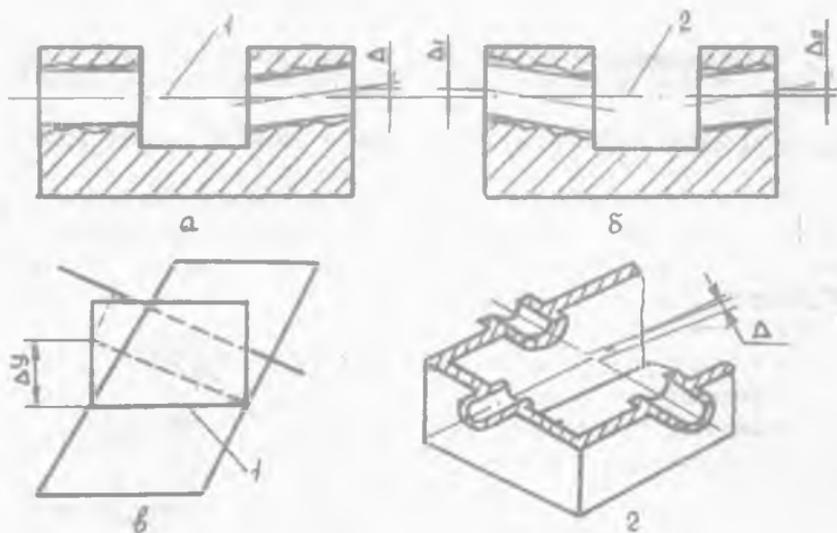
Отклонение от соосности - наибольшее расстояние между осью рассматриваемого отверстия и осью базового отверстия (рис. 9, а) или между



Р и с. 7. Отклонение от перпендикулярности плоскости



Р и с. 8. Отклонение от симметричности: а - паза; б - отверстия; I - плоскость симметрии базовой поверхности



Р и с. 9. Отклонение расположения осей: а - отклонение от соосности относительно оси базового отверстия; б - относительно общей оси; в - перенос осей; г - отклонение от пересечения осей; I - ось базовой поверхности; 2 - общая ось

общей осью и осями двух или нескольких отверстий (Δ_1 ; Δ_2 , рис. 9,б).

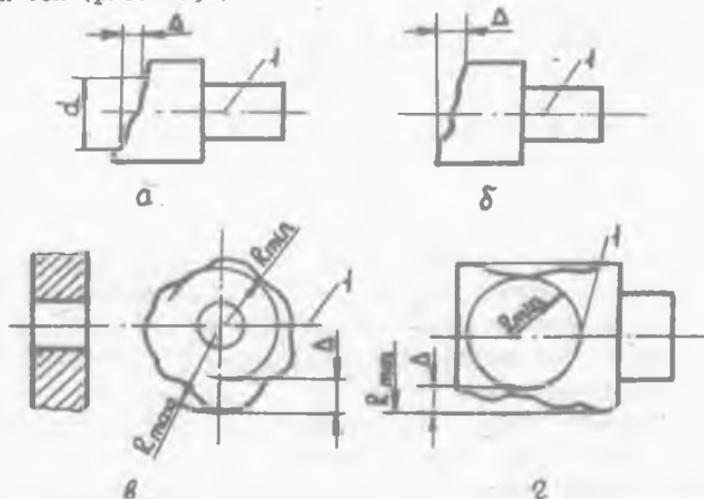
Переко́с осей - отклонение от параллельности Δ_y проекции осей (рис. 9,в) на плоскость, перпендикулярную к общей плоскости осей и проходящую через одну из осей (базовую).

Отклонение от пересечения осей - наименьшее расстояние между осями, номинально пересекающимися (рис. 9,г).

Торцовое биение - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой (рис. 10,а). Торцовое биение определяется в сечении торцевой поверхности цилиндром заданного диаметра, соосным с базовой осью, а если диаметр не задан, то в сечении наибольшего диаметра торцевой поверхности.

Полное торцовое биение - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от точек всей торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базой оси (рис. 10,б).

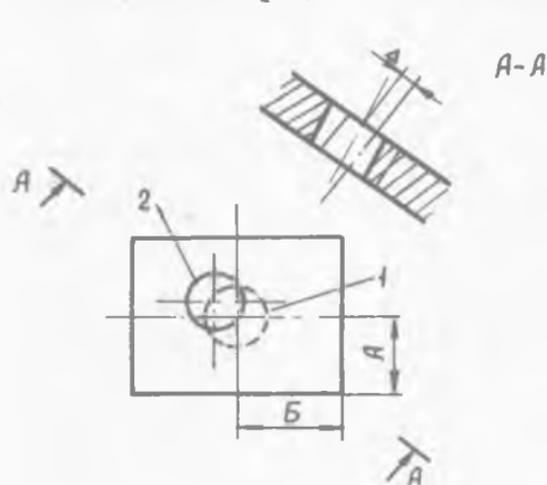
Радиальное биение - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси (рис. 10,в).



Р и с. 10. Отклонение расположения поверхностей: а - торцовое биение; б - полное торцовое биение; в - радиальное биение; г - полное радиальное биение; I - базовая ось

Полное радиальное биение - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от всех точек реальной поверхности в пределах нормируемого участка до базовой оси (рис. I0, г).

Позиционное отклонение - наибольшее расстояние Δ между реальным расположением элемента (его центра, оси - или плоскости симметрии) и его номинальным расположением (рис. II).



Отклонения формы и расположения поверхностей назначаются лишь тогда, когда по условиям эксплуатации или изготовления детали величина отклонения формы и расположения должна быть меньше допуска на размер. Если отклонения формы и расположения не оговорены, то это значит, что они ограничиваются полем допуска на размер соответствующей поверхности.

Р и с. II. Позиционное отклонение: I - номинальное расположение; 2 - реальное расположение

4. Обозначение отклонений формы и расположения поверхностей на чертеже

Вид отклонения и величину допуска формы и расположения поверхностей указывают на чертеже в виде условных обозначений или текстовых записей. Применение условных обозначений предпочтительно.

Для условных обозначений отклонений формы и расположения поверхностей установлены знаки (табл. I).

Соответствующий символ (знак) и величина допуска вписываются на чертеже в прямоугольную рамку, разделенную на две или три части. В первой части рамки (слева) указывает символ допуска, во второй - числовую величину допуска в миллиметрах, в третьей - буквенное обозначение базы или другой поверхности, если это необходимо.

Т а б л и ц а I

Допуск	Знак	Допуск	Знак
Формы		Параллельности	//
Цилиндричности		Перпендикулярности	
Плоскостности		Соосности	
Круглости		Симметричности	
Профиля продольного сечения цилиндрических поверхностей		Позиционный допуск оси, плоскости симметрии	
Прямолинейности		Пересечения осей	X
Полного радиального или торцового биения		Биения радиального, торцового или в заданном направлении	

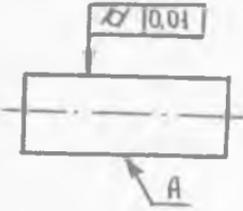
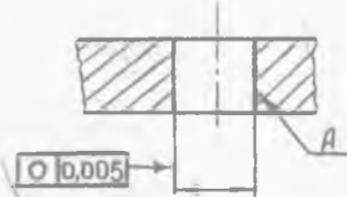
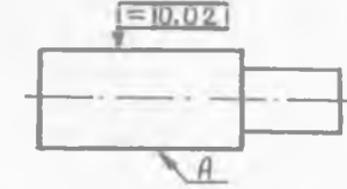
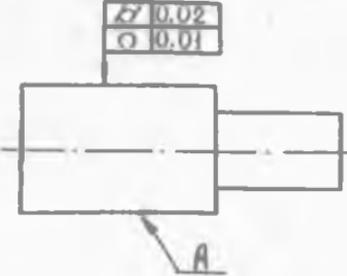
Рамку соединяют с контуром нормируемой поверхности линией со стрелкой. Направление линии должно соответствовать направлению измерения отклонений. Рамку с другой стороны соединяют с базой линией, оканчивающейся зачерненным треугольником, основание которого расположено на контуре базы или на ее выносной линии. Если базовый элемент соединять с рамкой неудобно, то базу обозначают прописной буквой. Эту букву помещают в квадратную рамку, соединенную с контуром базы линией с зачерненным треугольником. Если элемент, по отношению к которому задан допуск, не является базовым, то вместо зачерненного треугольника ставят стрелку.

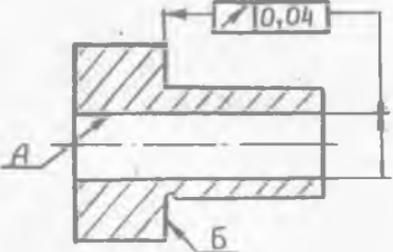
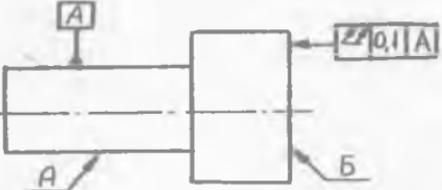
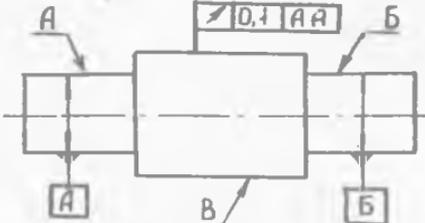
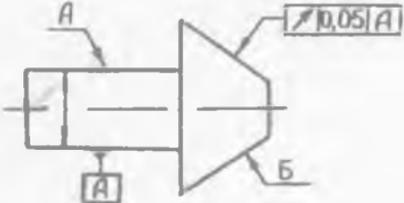
Если допуск формы или расположения относится не ко всей длине поверхности, а к ее части, то этот участок поверхности обозначают после величины допуска через разделительную наклонную линию. Зависимый допуск расположения обозначают буквой М в кружке и указывают после величины допуска или на чертеже дают надпись "Допуск зависимый". При отсутствии таких указаний допуск считается независимым.

Дифференцированные показатели отклонений формы указывают на чертеже в виде технических требований, например: "Огранка поверхности В не более 0,01 мм".

Примеры нанесения на чертежи допусков формы и расположения поверхностей приведены в табл. 2 (см. СЭВ 368-76).

Т а б л и ц а 2

Условные обозначения	Тексты в технических требованиях
	<p>Допуск цилиндричности поверхности А 0,01 мм</p>
	<p>Допуск круглости поверхности А 0,005 мм</p>
	<p>Допуск профиля продольного сечения поверхности А 0,02 мм</p>
	<p>Допуск цилиндричности поверхности А 0,002 мм, допуск круглости 0,01 мм</p>

Условные обозначения	Тексты в технических условиях
	<p>Допуск торцевого биения поверхности Б относительно оси отверстия А 0,04 мм</p>
	<p>Допуск полного торцевого биения поверхности Б относительно поверхности А 0,1 мм</p>
	<p>Допуск радиального биения поверхности Б относительно общей оси поверхностей А и Б 0,1 мм</p>
	<p>Допуск биения поверхности Б относительно поверхности А в направлении, перпендикулярном к образующей конуса, 0,05 мм</p>

Допуски формы поверхностей и точность их взаимного расположения приведены в табл. 2,4,6 приложения. Примеры назначения допусков на форму и взаимное расположение поверхностей даны в табл.1,3,5 приложения.

2. ПОЛОЖЕНИЯ СТАНДАРТОВ НА НОРМИРОВАНИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННУЮ ОЦЕНКУ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

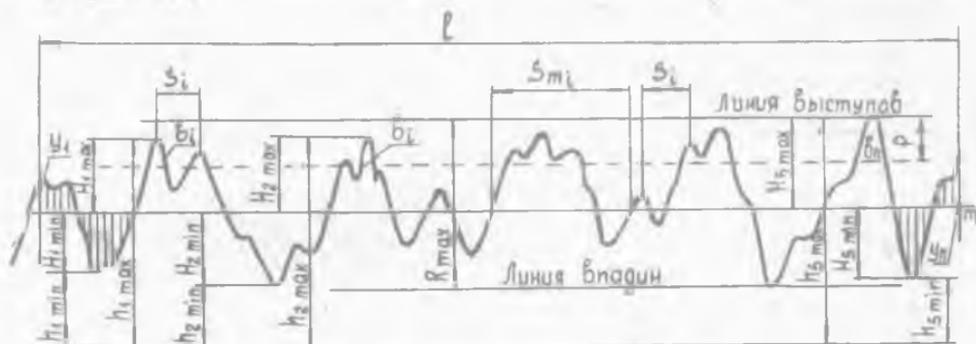
1. П о н я т и я и о п р е д е л е н и я

Под шероховатостью поверхности понимается совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности и рассматриваемых в пределах базовой длины l .

Номенклатура параметров и характеристики шероховатости поверхности регламентируются ГОСТ 2789-73. Количественно шероховатость поверхности оценивается следующими параметрами (одним или несколькими):

- R_a - среднее арифметическое отклонение профиля;
- R_z - высота неровностей профиля по десяти точкам;
- R_{\max} - наибольшая высота неровностей профиля;
- S_m - средний шаг неровностей;
- S - средний шаг неровностей по вершинам;
- t_p - относительная опорная длина профиля, где p - числовое значение уровня сечения профиля.

Приведенные параметры пояснены на схеме микропрофиля поверхности (рис. 12).



Р и с. 12. Шероховатость поверхности

Базовая линия - линия, от которой производится отсчет ординат профиля.

Базовая длина l - длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость, и для количественного определения ее параметров. Числовые значения базовой длины выбираются из ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25 мм.

Средняя линия профиля m - базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально.

Линия выступов - линия, эквидистантная средней линии и проходящая через наивысшую точку профиля в пределах базовой длины.

Линия впадин - линия, эквидистантная средней линии и проходящая через низшую точку профиля в пределах базовой длины.

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a - среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где l - базовая длина; $|y_i|$ - абсолютное значение отклонения профиля от средней линии.

Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z - сумма средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов $|H_{i \text{ мин}}|$ и пяти наибольших максимумов профиля $|H_{i \text{ макс}}|$, находящихся в пределах базовой длины, от средней линии,

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |H_{i \text{ макс}}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i \text{ мин}}| \right).$$

Для средней линии, имеющей форму отрезка прямой,

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 h_{i \text{ макс}} - \sum_{i=1}^5 h_{i \text{ мин}} \right).$$

Наибольшая высота неровностей профиля $R_{\text{макс}}$ - расстояние между линией выступов и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

Средний шаг неровностей профиля S_m - среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины,

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi},$$

где S_{mi} - шаг неровностей; n - число шагов в пределах базовой длины.

Средний шаг неровностей профиля по вершинам S - среднее арифметическое значение шага неровностей по вершинам в пределах базовой длины,

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

где S_i - шаг неровностей по вершинам в пределах базовой длины.

Числовые значения параметров R_a , R_z , R_{max} , S_m и S приведены в табл. 3.

Относительная опорная длина профиля t_p - отношение опорной длины профиля l_p к базовой длине (в процентах),

$$t_p = \frac{l_p}{l} 100\%,$$

где l_p - сумма длин отрезков b_i в пределах базовой длины, отсекаемых на заданном уровне в материале выступов профиля линией, эквидистантной средней линии, т.е.

$$l_p = \sum_{i=1}^n b_i,$$

где n - число отсекаемых отрезков b_i .

Опорная длина профиля l_p определяется на так называемом уровне сечения профиля P , т.е. на заданном расстоянии между линией выступов и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов.

Значение уровня сечения профиля задается от линии выступов в процентах к наибольшей высоте неровностей профиля R_{max} , т.е.

$$P = \frac{R}{R_{max}} 100\%,$$

где R и R_{max} - в мкм, P - в %.

Числовые значения t_p и P выбираются из ряда по табл. 4.

Т а б л и ц а 3

R_1 и R_2 : МКОМ	100	80	63	50	40	32	25	20	16,0	12,5
	10,0	8,0	6,3	5,0	4,0	3,2	2,5	2,0	1,60	1,25
	1,00	0,80	0,63	0,50	0,40	0,32	0,25	0,20	0,160	0,125
	0,100	0,080	0,063	0,050	0,040	0,032	0,025	0,020	0,016	0,012
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,010	0,008
R_2 и R_{MOC} : МКОМ	1000	800	630	500	400	320	250	200	1600	1250
	100	80	63	50	40	32	25	20	160	125
	10,0	8,0	6,3	5,0	4,0	3,2	2,5	2,0	1,60	1,25
	1,00	0,80	0,63	0,50	0,40	0,32	0,25	0,20	0,160	0,125
0,100	0,080	0,063	0,050	0,040	0,032	0,025	-	-	-	
S_m и S_s : МКОМ	10,0	8,0	6,3	5,0	4,0	3,2	2,5	2,0	1,60	12,5
	1,00	0,80	0,63	0,50	0,40	0,32	0,25	0,20	0,160	1,25
	0,100	0,080	0,063	0,050	0,040	0,032	0,025	0,020	0,016	0,0125
	0,010	0,008	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	-	-	-

$t_p, \%$	10;	15;	20;	25;	30;	40;	50;	60;	70;	80;	90	
$\rho, \%$	5;	10;	15;	20;	25;	30;	40;	50;	60;	70;	80;	90

При необходимости должны дополнительно устанавливаться требования к направлению неровностей поверхности, к виду или последовательности видов обработки.

Типы и условные обозначения на чертежах направлений неровностей поверхности приводятся в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Направление неровностей	Схематическое изображение неровностей	Обозначение
Параллельное		
Перпендикулярное		
Перекрещивающееся		
Произвольное		
Кругообразное		
Радиальное		

Числовые значения параметров шероховатости и базовых длин приведены в табл. 6. Для использования технической документации, выпущенной до введения в действие ГОСТ 2789-73, приведены и классы шероховатости поверхности.

Требуемые числовые значения параметров шероховатости получают при различных методах обработки поверхностей, причем каждый метод обработки позволяет изготавливать детали по определенному экономически целесообразному качеству точности. Зависимость параметров шероховатости от методов точности от метода обработки показана в табл. 7.

Т а б л и ц а 6

Классы шероховатости	Разряды	Параметры	Шероховатость	Базовая длина, мм
		R_a	R_z	
1 2 3	- - -	- - -	от 320 до 160 вкл. от 160 до 80 вкл. от 60 до 40 вкл.	8,0
4 5	- -	- -	от 40 до 20 вкл. от 20 до 10 вкл.	2,5
6	a	от 2,5 до 2,0 вкл.	-	0,8
	b	от 2,0 до 1,6 вкл.	-	
	b	от 1,6 до 1,25 вкл.	-	
7	a	от 1,25 до 1,0 вкл.	-	
	b	от 1,00 до 0,80 вкл.	-	
	b	от 0,80 до 0,63 вкл.	-	
8	a	от 0,63 до 0,50 вкл.	-	
	b	от 0,50 до 0,40 вкл.	-	
	b	от 0,40 до 0,32 вкл.	-	
9	a	от 0,32 до 0,25 вкл.	-	
	b	от 0,25 до 0,20 вкл.	-	
	b	от 0,20 до 0,16 вкл.	-	
10	a	от 0,160 до 0,125 вкл.	-	0,25
	b	от 0,125 до 0,100 вкл.	-	
	b	от 0,100 до 0,080 вкл.	-	
11	a	от 0,080 до 0,063 вкл.	-	
	b	от 0,063 до 0,050 вкл.	-	
	b	от 0,050 до 0,040 вкл.	-	
12	a	от 0,040 до 0,032 вкл.	-	
	b	от 0,032 до 0,025 вкл.	-	
	b	от 0,025 до 0,020 вкл.	-	
13	a		от 0,100 до 0,080 вкл.	
	b		от 0,080 до 0,063 вкл.	
	b		от 0,063 до 0,050 вкл.	
14	a		от 0,05 до 0,04 вкл.	
	b		от 0,04 до 0,032 вкл.	
	b		от 0,032 до 0,025 вкл.	

Таблица 7

Процесс обработки	R _a , мкм		10	5	2.5	1.25	0.63	0.32	0.16	0.08	0.04	0.02	0.01	Качество точности (эконом.)
	R _z , мкм		40	20	10	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	
Сверление	до Ø 15 свыше Ø 15													II-IV
Зенкерование	чистовое													8-IV
Фрезерование	цилиндрич.	черновое чистовое тонкое												12-IV II-IV 8
	торцевое	черновое чистовое тонкое												12-IV II-IV 8
Обтачивание	получистовое чистовое тонкое													12-IV 7-13 7
Растачивание	получистовое чистовое тонкое													12-IV 7-13 7
Развертывание	получистовое чистовое тонкое													8 7-8 7
Протягивание	чистовое отделочное													7-8 7
Шлифование	круглое	чистовое тонкое												10-11 7-8
	плоское	чистовое тонкое												7-8 7
Полирование	обычное тонкое													7 6
Хонингование	среднее тонкое													7 6
Притирание	механич.	чистовое												7
	ручное	чистовое отделочное зеркальное												7 6 6
		чистовое тонкое двукратное												6 и точнее

2. Обозначение шероховатости поверхности (ГОСТ 2.309-73)

Шероховатость поверхности на чертеже обозначает для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей изделия (независимо от методов их образования), кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции. Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 13.



Р и с. 13. Обозначение шероховатости поверхности (ГОСТ 2309-73)

В обозначении шероховатости поверхности применяют один из следующих знаков:

- ✓ обозначение шероховатости поверхности, вид обработки которой конструктором не устанавливается;
- ✓ обозначение шероховатости поверхности, образуемой путем удаления слоя материала;
- ✓ обозначение шероховатости поверхности, образуемой без удаления слоя материала (например, литьем, ковкой, объемной штамповкой, прокатом, волочением и т.п.) или не обрабатываемой по данному чертежу.

Значение одного или нескольких параметров шероховатости по ГОСТ 2789-73 указывают на чертеже над знаком ✓ после соответствующего символа, например: R_z 32; R_{\max} 6,3; S_m 0,63; S 0,032;

t_{50}^{60} (относительная опорная длина профиля $t_p = 60\%$ при уровне сечения $P = 50\%$). Величина R_α указывается без символа, например: $\sqrt[0,5]{R_\alpha = 0,5 \text{ мкм}}$.

При указании диапазона значений параметров шероховатости поверхности в обозначении шероховатости приводят пределы значений параметра, размещая их в две строки, например:

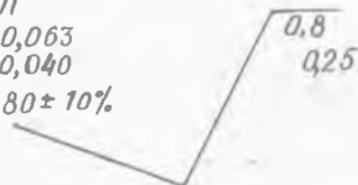
$$\sqrt[0,080]{R_z, 0,032} \quad (R_z \text{ от } 0,080 \text{ до } 0,032)$$

При указании двух и более параметров в обозначении шероховатости значения их записываются сверху вниз в следующем порядке:

параметр высоты неровностей;
параметр шага неровностей;
относительная опорная длина профиля.

Например:

01
 S_m 0,063
0,040
 t_{50} 80 ± 10%

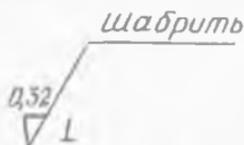
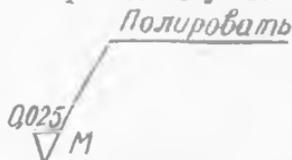


что означает:

$R_\alpha = 0,1 \text{ мкм}$
 S_m от 0,063 до 0,040 мм,

относительная опорная длина профиля при уровне сечения $P = 50\%$ составляет 80 ± 10%, измерение производится на базовой длине $l = 0,8 \text{ мм}$.

Вид обработки поверхности указывают в обозначении шероховатости, если только он является единственным, применимым для получения поверхности с указанными значениями параметров шероховатости.



3. Контроль шероховатости

Контроль шероховатости поверхности может быть выполнен двумя методами:

1. Сравнением контролируемой поверхности с аттестованной деталью или со стандартными эталонами,
2. Измерением шероховатости при помощи приборов.

Первый метод широко используется в производственных условиях, где не всегда удобно применять приборы. Сущность метода состоит в том, что визуально, с помощью лупы или специального микроскопа, проверяемая поверхность детали сравнивается с поверхностью стандартного образца. Стандартные образцы должны быть изготовлены из тех же материалов, из которых изготавливаются детали, подлежащие контролю. Их поверхности должны быть обработаны теми же методами (точением, фрезерованием, шлифованием и т.д.), что и сравниваемые поверхности.

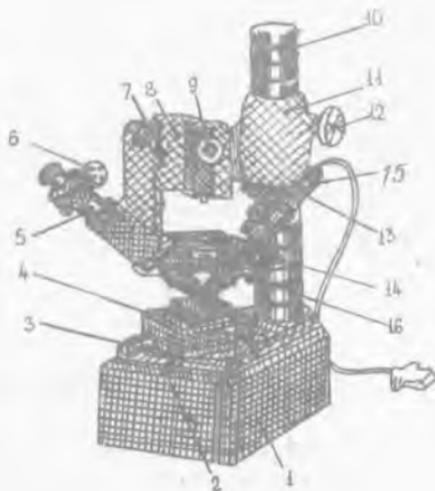
Однако этот метод не дает числовой оценки шероховатости и оказывается ненадежным при контроле поверхностей с $R_z < 10$ мкм.

Методы измерения шероховатости поверхности при помощи приборов делятся на контактные - измерение шуповыми приборами (профилограф и профилометр) и бесконтактные - измерение оптическими приборами (двойной микроскоп, микроинтерферометр и др.).

3.1. Определение шероховатости поверхности с помощью двойного микроскопа МИС-II

Прибор используется для измерения параметров шероховатости поверхностей R_z , R_{max} , S в лабораторных условиях, предел измерения высоты неровностей R_z - от 1,6 до 80 мкм. Общий вид прибора показан на рис. 14.

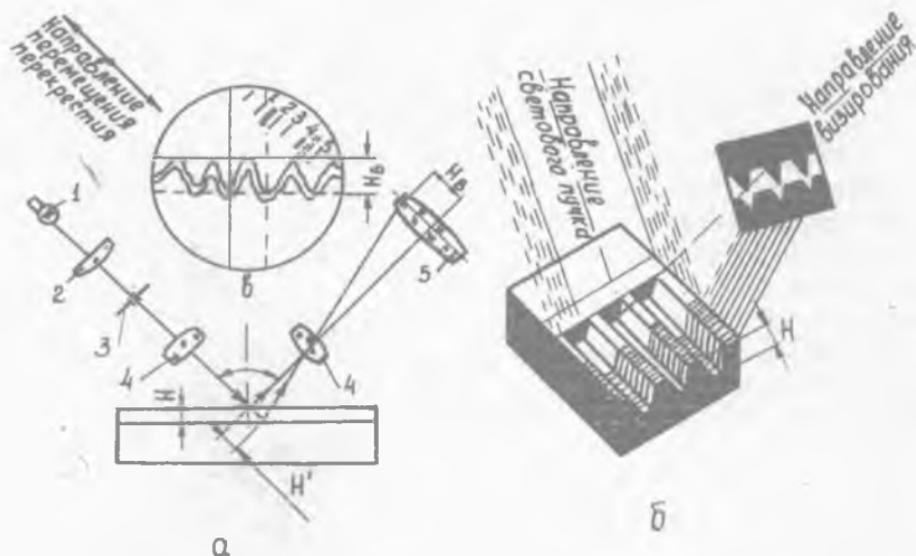
Прибор состоит из основания 1, несущего предметный столик 4 и стойку 10, на которой установлен кронштейн II, перемещающийся с помощью гайки 15 и винта 12, служащего для закрепления кронштейна на стойке. С кронштейном II подвижно соединена рама 8, несущая два микроскопа - осветительный 13 и визуальный 5. Оси микроскопов взаимно перпендикулярны и наклонены



Р и с. 14. Общий вид двойного микроскопа МИС-II

в плоскости предметного столика под углом 45° , что обеспечивает прохождение отраженного от исследуемой поверхности света через визуальный микроскоп. Микроскопы 5 и 13 могут перемещаться в вертикальном направлении с помощью гайки 15 и винтов 9 и 7. Гайка 15 служит для предварительной установки микроскопов, винты 9 и 7 — соответственно для предварительной и точной фокусировки. Гайка 14 служит для фиксации осветительного микроскопа 13. Предметный столик 4 может поворачиваться вокруг вертикальной оси и перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью микрометров 3, имеющих цену деления 0,01 мм. Столик 4 закрепляется в нужном положении винтом 2. Отсчет измерений производится с помощью микрометрического винта 6.

На рис. 15 представлена оптическая схема прибора и пояснен принцип его работы.



Р и с. 15. Схема устройства двойного микроскопа

Осветительный микроскоп состоит из лампочки 1, конденсора 2, щелевой нерегулируемой диафрагмы 3 и сменного объектива 4.

Визуальный микроскоп состоит из окулярного микрометра 5,

служащего для измерения, и сменного объектива 4. Объективы обоих микроскопов одинаковы.

Осветительный микроскоп может поворачиваться винтом 16 (см. рис. 14) в плоскости осей микроскопов, что необходимо для настройки прибора. С помощью гайки 14 осветительный микроскоп 13 может перемещаться в осевом направлении, что необходимо для его фокусирования.

Принцип работы прибора состоит в том, что луч света, пройдя через щелевую диафрагму 3 и объектив 4 (см.рис.15), образует плоский пучок, который, отразившись от проверяемой поверхности, попадает в визуальный микроскоп. Если бы проверяемая поверхность была абсолютно гладкой, то линия пересечения плоского пучка света с ней была бы прямой. Поскольку поверхность имеет неровности, то линия пересечения в действительности будет волнообразной. На измерении высот волн основано определение шероховатости поверхности. В поле зрения окулярного микрометра, кроме волнообразной линии, видны подвижное перекрестие, двойной штрих и шкала. При вращении барабанчика 6 (см.рис.14) окуляр-микрометра перекрестие вместе с двойным штрихом перемещается относительно неподвижной шкалы под углом 45° к линии перекрестия. Перемещение двойного штриха на одно деление шкалы соответствует одному обороту барабанчика окуляр-микрометра, на поверхности которого по окружности нанесено 100 делений. Вращая барабанчик 6, можно последовательно совместить нить перекрестия, параллельную средней линии профиля контролируемой поверхности, с вершиной и впадиной неровности и определить, скольким делениям барабанчика соответствует высота неровности в косом сечении. Цена деления барабанчика окулярного микрометра микроскопа МИС-II в зависимости от фокусного расстояния объективов приведена в табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Фокусное расстояние объектива, мм	25,02	13,89	8,16	4,25
Цена деления барабанчика окулярного микрометра, мкм	1,7	0,93	0,55	0,29
Высота неровностей R_z , для которой рекомендуется объектив	80-20	20-10	10-3,2	3,2-1,6

настройка прибора для измерения производится в следующем порядке.

Определяют по эталонам приблизительно высоту неровностей R_z проверяемой поверхности, по табл. 8 - фокусное расстояние объективов.

Устанавливают объективы в микроскопы. Предметный столик поворачивают так, чтобы ось одного из его микрометров была перпендикулярна к плоскости, образованной осями микроскопов.

Устанавливают деталь на предметном столике так, чтобы направление рисок-неровностей контролируемой поверхности было параллельно плоскости, образованной осями микроскопов.

Фокусируют визуальный микроскоп перемещением рамы 8 винтами 9 и 7 (см. рис. I4). Фокусировку можно считать достигнутой, если в окуляре достаточно четко виден участок проверяемой поверхности, расположенный посередине поля зрения визуального микроскопа.

Включают прибор в электросеть. Затем винтом I6 (см. рис. I4) совмещают видимую через визуальный микроскоп световую полосу с участком, по которому настраивался визуальный микроскоп.

Фокусируют осветительный микроскоп гайкой I4, добиваясь наименьшей толщины световой полосы.

Для измерения параметров R_z , R_{max} , S окулярный микрометр поворачивают вокруг оси так, чтобы одна из нитей перекрестия была приблизительно параллельна направлению неровностей.

Поворотом барабанчика окулярного микрометра последовательно совмещают нить перекрестия с вершинами наиболее высоких выступов и наиболее низких впадин на базовой длине.

Записывают показания окулярного микрометра: сотни - по шкале, видимой в окуляре; десятки и единицы делений - по шкале барабанчика.

Из записанных значений выбирают пять наибольших - h_1, h_3, h_5, h_7, h_9 и пять наименьших - $h_2, h_4, h_6, h_8, h_{10}$. Высота неровностей профиля (мкм) определяется по формуле

$$R_z = CE \frac{(h_1 + h_3 + h_5 + h_7 + h_9) - (h_2 + h_4 + h_6 + h_8 + h_{10})}{5},$$

где E - цена деления, определяемая по табл. 8;

C - коэффициент, учитывающий направление измерения шероховатости.

По табл. 3 выбирают ближайшее большее стандартное значение R_z и заносят его в протокол отчета. Для нахождения значения $R_{\text{макс}}$ определяют ординаты высшей $h_{\text{макс}}$ и нижней $h_{\text{мин}}$ точек профиля в делениях барабана микрометра.

Значение параметра $R_{\text{макс}}$ (мкм) определяют по формуле

$$R_{\text{макс}} = CE(h_{\text{макс}} - h_{\text{мин}}).$$

Для определения S измеряют шаги неровностей профиля по вершинам S_i в мм в пределах базовой длины.

Значение параметра S (мм) рассчитывают по формуле

$$S = CE \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

где n - число шагов неровностей профиля по вершинам.

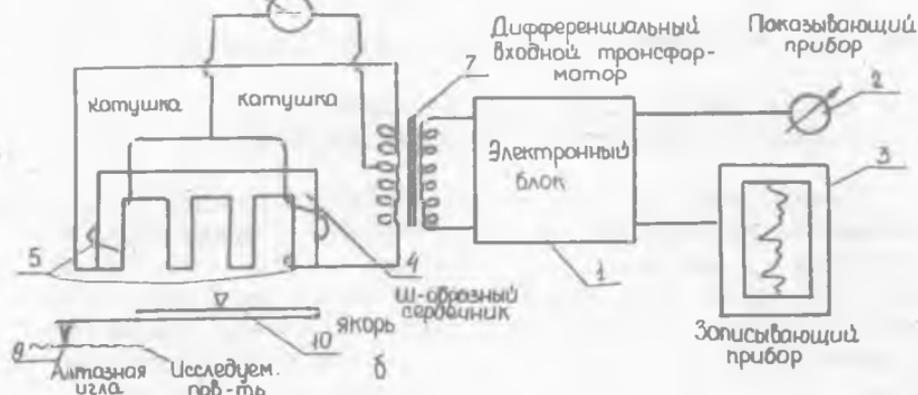
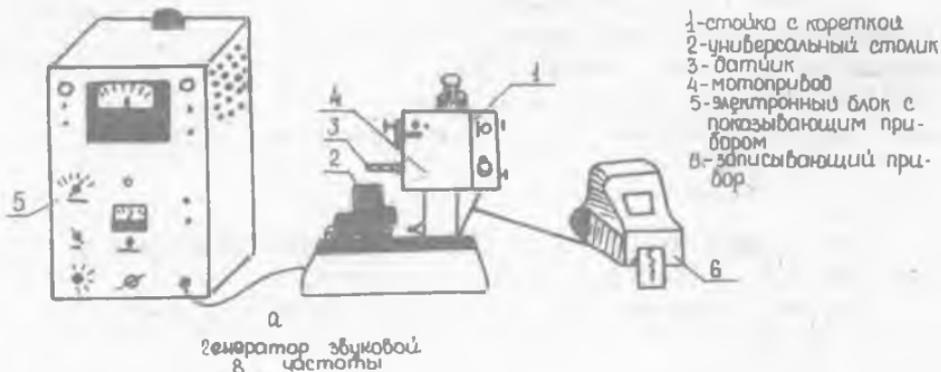
3.2. Определение параметров шероховатости с помощью профилографа-профилометра модели 201

Профилограф-профилометр модели 201 блочной конструкции (рис.16) предназначается для определения шероховатости поверхностей по параметру R_a в пределах 2,5 ... 0,020 мкм и по R_z - в пределах 10...0,032 мкм на базовых длинах от 0,08 до 2,5 мм. Отсчет значений R_a ведется по показывающему прибору. С помощью записывающего прибора профиль исследуемой поверхности графически воспроизводится в определенном масштабе в виде профилограммы (рис.17). По профилограмме можно определить все параметры шероховатости.

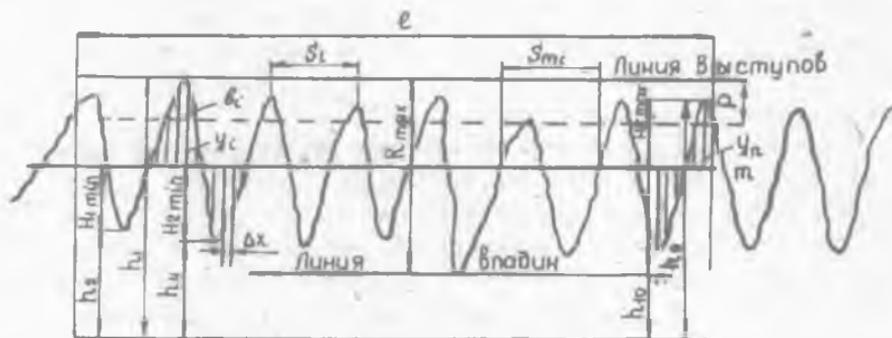
Прибор состоит из унифицированных блоков (рис.16,а): стойки с кареткой 1, универсального столика 2, датчика 3, на რომысле которого закреплена алмазная игла с радиусом закругления 2 или 10 мкм, мотопривода 4, электронного блока с показывающим прибором 5 и записывающего прибора 6.

Действие прибора основано на принципе оцупывания исследуемой поверхности алмазной иглой и преобразования колебаний иглы в изменение напряжения индуктивным методом.

Электрическая часть прибора (рис.16,б) включает в себя электронный блок 1, показывающий 2 или записывающий 3 приборы. Магнитная система датчика состоит из сдвоенного Ш-образного сердечника 4 с двумя катушками 5. Катушка датчика и две половины первичной обмотки входного трансформатора 7 образуют балансный мост, который



Р и с. 16. Общий вид (а) и схема (б) профилографа-профилометра блочной конструкции



Р и с. 17. Действительный профиль (профилограмма) поверхности

питается от генератора звуковой частоты 8. При перемещении датчика алмазная игла 9, осязая неровности поверхности, совершает колебания, приводя в колебательное движение коромысло 10. При этом меняются зазоры между якорем и сердечником, за счет чего происходит изменение напряжения на входе трансформатора. Оно усиливается электронным блоком 1, к выходу которого подключены записывающий или показывающий прибор.

При ручной обработке профилограмм на участке, определяемом базовой длиной, проводится средняя линия параллельно общему направлению профиля так, чтобы площади по обеим сторонам от этой линии до профилограммы были примерно равны между собой (см. рис. 17). Далее выбирают определенный шаг дискретизации Δx и измеряют отклонения профиля y_i в мм.

Значение параметра R_a (мкм) определяют по формуле

$$R_a = \frac{1}{BUN} \sum_{i=1}^N |y_i| 10^3,$$

где BUN - вертикальное увеличение прибора;

N - число измеряемых отклонений профиля;

y_i - измеренные отклонения профиля в дискретных точках, мм.

Для определения параметра R_z проводят базовую линию, параллельную общему направлению профилограммы и не пересекающую профиль на участке, определяемом базовой длиной.

Измеряют расстояния от пяти наибольших максимумов профиля до базовой линии $h_{i \max}$ и от пяти наибольших минимумов профиля до базовой линии $h_{i \min}$ в мм.

Значение параметра R_z (мкм) рассчитывается по формуле

$$R_z = \frac{1}{5BU} \left(\sum_{i=1}^5 h_{i \max} - \sum_{i=1}^5 h_{i \min} \right) 10^3.$$

Для нахождения R_{\max} через высшую и низшую точки профиля проводят линию выступов профиля и линию впадин. Параметр R_{\max} определяют как расстояние между линией выступов и линией впадин с учетом вертикального увеличения.

Относительная опорная длина профиля t_p определяется по формуле

$$t_p = \frac{z_p}{\Gamma y \ell} 100\%,$$

ζ_p - сумма длин отрезков b_i , отсекаемых на выступах профиля заданной линией, эквидистантной средней линии, в пределах базовой длины l , т.е.

$$\zeta_p = \sum_{i=1}^n b_i,$$

где n - число отсекаемых отрезков b_i в пределах базовой длины;

Γ, γ - горизонтальное увеличение прибора.

Опорная длина профиля ζ_p определяется на заданном уровне сечения профиля P , равном расстоянию между линией выступов и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов.

Значение уровня сечения профиля P отсчитывается от линии выступов в соответствии с заданной величиной p в процентах от $R_{\text{макс}}$, т.е.:

$$P = \frac{R_{\text{макс}} p}{100\%}, \text{ мкм.}$$

Параметр S_m определяется по формуле

$$S_m = \frac{1}{\Gamma \gamma n} \sum_{i=1}^n S_{m_i},$$

где n - число шагов неровностей профиля на базовой длине;

S_{m_i} - шаги неровностей, измеренные по средней линии профиля m .

Значение параметра S (мм) рассчитывается по формуле

$$S = \frac{1}{\Gamma \gamma n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

где n - число шагов неровностей профиля по вершинам;

S_i - шаги неровностей профиля по вершинам, мм.

Рассчитанные параметры шероховатости заносятся в протокол отчета и сопоставляются со стандартными значениями (см. табл. 3, 4).

Указанные параметры шероховатости могут быть так же определены по показывающему прибору на профилометре-профилографе модели 252.

Примеры назначения допусков формы цилиндрических поверхностей

Степень точности	Примеры применения	Способ обработки
I - II	Шарики и ролики для подшипников. Дорожки качения и посадочные поверхности подшипников качения особо высокой точности и сопрягаемые с ними посадочные поверхности валов и корпусов. Подшипниковые шейки шпинделей прецизионных станков. Детали особо точных плунжерных и золотниковых пар	Доводка, тонкое шлифование и алмазное растачивание повышенной точности
III - IV	Дорожки качения и посадочные поверхности авиационных подшипников качения и сопрягаемые с ними посадочные поверхности валов и корпусов авиационных двигателей. Цапфы осей гиросприборов. Подшипники жидкостного трения при больших нагрузках (прокатные станы). Подшипниковые шейки коленчатых валов, поршневые пальцы и сопрягаемые с ними отверстия в деталях авиационных и автомобильных двигателей. Плунжеры, золотники, поршни, втулки и другие детали гидравлической аппаратуры, работающие при высоких давлениях без уплотнений	Доводка, хонингование, тонкое шлифование, алмазное растачивание; тонкое обтачивание и растачивание повышенной точности
V - VI	Посадочные поверхности колец подшипников качения нормальной точности и сопрягаемые с ними посадочные поверхности валов и корпусов. Подшипниковые шейки и вкладыши коленчатых валов тракторных и судовых двигателей, валов редукторов, паровых турбин, крупных насосов. Поршневые пальцы дизелей и газовых двигателей. Поршни, золотники, гильзы, цилиндры и другие детали гидравлической и пневматической аппаратуры авиационных двигателей. Оправки для балансировки дисков авиационных турбин и компрессоров турбин	Шлифование, хонингование, чистовое обтачивание и растачивание, тонкое развертывание, протягивание
VII - VIII	Подшипники скольжения крупных гидротурбин, тихоходных двигателей, редукторов. Цилиндры, гильзы, поршни и поршневые кольца автомобильных и тракторных двигателей. Отверстия под втулки в шатунах двигателей, в гидравлических устройствах средних давлений. Бочка валов холодной прокатки	Чистовое обтачивание и растачивание, развертывание, протягивание; зенкерование и сверление повышенной точности
IX - X	Подшипники скольжения при малых скоростях и давлениях. Поршни и цилиндры насосов низкого давления с мягким уплотнением. Поршневые кольца дизелей и газовых двигателей	Обтачивание и растачивание, сверление, литье под давлением

Допуски формы цилиндрических поверхностей

Нормальный диаметр, мм	Степень точности по ГОСТ 10356-63															
	О с н о в н ы е					Д о п о л н и т е л ь н ы е										
	I	II	III	IV	V	VI	УП	УШ	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
До 6	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300
Св. 6	0,5	0,8	1,2	2,0	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500
До 18	0,6	1,0	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600
Св. 18	0,8	1,2	2,0	3,0	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800
До 120	1,0	1,6	2,5	4,0	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000
Св. 120	1,2	2,0	3,0	5,0	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200
До 500	1,6	2,5	4,0	6,0	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600
Св. 500	2,0	3,0	5,0	8,0	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2000
До 1250	2,5	4,0	6,0	10,0	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500
Св. 1250																

Допуски (предельные отклонения), мкм

Примечание. По данной таблице назначаются допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения, а также при необходимости—допуски на частные виды отклонений формы. Необходимые различия в числовых значениях допусков для различных характеристик точности формы цилиндрических поверхностей должны быть обеспечены при выборе степени точности.

Примеры назначения допусков параллельности

Степень точности	Примеры применения	Способ обработки
I - II	Направляющие и базовые поверхности прецизионных станков. Направляющие станины оптической делительной головки. Рабочие поверхности синусных линеек и угольников высокой точности	Доводка, суперфиниширование, алмазная обработка повышенной точности, шабрение повышенной точности
III - IV	Направляющие поверхности станков высокой и повышенной точности. Особо точные направляющие приборов управления и регулирования авиационных двигателей. Измерительные и рабочие поверхности поверочных линеек, штриховых мер длины, призм и т.д.	Доводка, шлифование, шабрение, хонингование
V - VI	Рабочие поверхности станков нормальной точности. Измерительные поверхности микрометров и штангенциркулей. Рабочие поверхности технологических приспособлений высокой точности. Направляющие пазы и планки приборов и механизмов высокой точности. Торцы подшипников качения авиационных двигателей. Оси отверстий в корпусах зубчатых передач авиационных двигателей. Оси отверстий и торцы корпусов, рабочих шестерен и винтов в насосах. Базовые плоскости блока, рамы и картера авиационных двигателей	Шлифование, координатное растачивание, фрезерование повышенной точности
VII - VIII	Рабочие поверхности прессов и молотов. Плоскости плит штампов. Рабочие поверхности кондукторов. Торцы фрез. Опорные торцы крышек и колец для подшипников качения нормальной точности. Оси отверстий в головках шатуна. Оси расточек под гильзы в блоке цилиндров авиационного двигателя. Оси отверстий в корпусах зубчатых передач нормальной точности. Уплотнительные поверхности фланцев вентиляторов	Фрезерование, строгание, протягивание, шлифование, растачивание
IX - X	Торцы крышек подшипников в тяжелом машиностроении. Шатунные шейки и ось коленчатого вала дизелей и газовых двигателей. Оси передач в лебедках, ручных приводах	Фрезерование и растачивание, сверление и развертывание по кондуктору
XI - XII	Плоскости разъема и опорная плоскость в корпусах редукторов подъемно-транспортных машин. Оси и поверхности в видках включения сельскохозяйственных машин	Грубая механическая обработка всех видов
XIII - XVI	Поверхности низкой точности	Все виды обработки

Допуски параллельности, перпендикулярности и торцевости биения

Номиналь- ный размер, мм	Степень точности															
	по ГОСТ 10356-63															
	I	II	III	IV	V	VI	VI	УП	УШ	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
До 10	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400
Св. 20 до 25	0,6	1,0	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600
Св. 25 до 50	1,0	1,6	2,5	4,0	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000
Св. 50 до 160	1,6	2,5	4,0	6,0	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600
Св. 160 до 400	2,5	4,0	6,0	10,0	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500
Св. 400 до 1000	4,0	6,0	10,0	16,0	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500	4000
Св. 1000 до 2500	6,0	10,0	16,0	25,0	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500	4000	6000
Св. 2500 до 5300	10,0	16,0	25,0	40,0	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500	4000	6000	10000
Св. 5300 до 10000	16,0	25,0	40,0	60,0	100	160	250	400	600	1000	1600	2500	4000	6000	10000	16000

Примечания: 1. По данной таблице назначаются также допуски полного торцевого биения и суммарные допуски параллельности и плоскостности, перпендикулярности и плоскостности наклона и плоскостности. 2. Выбор допуска при данной степени точности производится по длине нормируемой поверхности (если допуск относится ко всей длине) или по длине нормируемого участка. Допуски торцевого или полного торцевого биения определяются по наибольшему диаметру торцевой поверхности или по диаметру, на котором задается допуск торцевого биения.

Т а б л и ц а 5

Примеры назначения допусков соосности и радиального биения

Степень точности	Примеры применения	Способ обработки
I - II	Рабочие поверхности шпинделей и планшайб станков высокой точности. Опорные и посадочные шейки шпинделей зубоизмерительных приборов и оптических делительных головок. Рабочие поверхности колец прецизионных подшипников качения. Шейки вала и отверстия воздушных подшипников высокоскоростных шпинделей	Доводка, тонкое шлифование, хонингование, алмазная обработка повышенной точности
III - IV	Рабочие поверхности шпинделей и столов станков повышенной и нормальной точности. Кольца подшипников качения авиационных редукторов высокой точности. Опорная и посадочная поверхности вкладышей подшипников насосов и гидротурбин. Конец вала электрических машин малой мощности (повышенной и нормальной точности). Посадочные шейки валов под зубчатые колеса авиационных редукторов. Быстроходные валы и оси гироскопов высокой точности. Центрирующие буртики и выточки валов авиационных двигателей	Тонкое шлифование и точение, внутреннее шлифование с одной установкой, хонингование
V - VI	Втулки станочные повышенной точности. Отрезные алмазные круги. Кольца подшипников качения нормальной точности. Посадочные поверхности валов под зубчатые колеса повышенной точности. Опорные шейки коленчатого и распределительного валов автомобильных двигателей. Фланцы валов крупных турбин. Быстроходные валы авиационных двигателей	Шлифование, обтачивание повышенной точности, внутреннее шлифование и растачивание с одной установки
VII - VIII	Рабочие кромки землерезов, конических разверток, метчиков. Коренные шейки коленчатых валов дизелей и газовых двигателей. Отверстия под торцевые крышки и вкладыши в корпусах подшипников насосов и средних гидротурбин. Быстроходные валы нормальной точности (до 1000 об/мин). Трансмиссионные валы длиной до 1000 мм. Поверхности катания ходовых колес и посадочные поверхности барабанов подъемно-транспортных машин. Зубчатые колеса с обработанными зубьями в сельскохозяйственных машинах	Грубое шлифование; обтачивание и растачивание нормальной точности, протягивание, развертывание
IX - X	Резущие кромки плашек, метчиков, сверл, фрез. Посадочные шейки валов под зубчатые колеса пониженной точности. Трансмиссионные валы длиной 1000-4000 мм, шейки валов и осей с допусками по I1 и I2 квалитетам в сельскохозяйственных машинах	Обтачивание и растачивание, сверление
XI - XVI	Поверхности низкой точности. Поверхности с неуказанными допусками	Все виды обработки

Т а б л и ц а 6

Допуски соосности, симметричности, пересечения осей и радиального биения

Номиналь- ный диам- метр, мм	Степень точности															
	по ГОСТ 10355-63															
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
До 6	-		3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200
Св. 6 до 18	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600
Св. 18 до 50	2,0	3,0	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2000
Св. 50 до 100	2,5	4,0	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500
Св. 100 до 260	3,0	5,0	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2000	3000
Св. 260 до 500	4,0	6,0	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500	4000
Св. 500 до 800	5,0	8,0	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2000	3000	5000
Св. 800 до 1200	6,0	10,0	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500	4000	6000
Св. 1200 до 2000	8,0	12,0	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2000	3000	5000	8000

Примечания: 1. Допуски, приведенные в данной таблице, распространяются также на полное радиальное биение и биение в заданном направлении. 2. Допуски соосности, симметричности и пересечения осей приведены в таблице в диаметральном выражении. Соответствующие им допуски в радиусном выражении могут быть получены делением их значений пополам. 3. Выбор допусков при данной степени точности производится по диаметру нормируемой поверхности, а при нормировании взаимного расположения база отсутствует) — по большому из диаметров нормируемой поверхностей.

Разработали: Федор Прокофьевич У р ы в с к и й,
Борис Николаевич У л а н о в,
Тамара Петровна Б у з и ц к а я

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ПО ФОРМЕ, РАСПОЛОЖЕНИЮ
И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Редактор Э.А.Г р я з н о в а
Техн. редактор Н.М.К а л е н и к
Корректоры: Н.С.К у п р и я н о в а,
Е.Г.Ф и л и п п о в а

Подписано в печать 30.05.83 г.
Формат 60x84 I/16. Бумага оберточная белая.
Печать оперативная. Усл.п.л. 2,3. Уч.-изд.л. 2,0.
Тираж 500 экз. Заказ 3467' Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип. им. В.П.Мяги, г. Куйбышев, ул. Венцека, 60.