
**ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ
ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПО
ГОСТ 2789–73 ПРИ ПОМОЩИ ПРИБОРОВ
ПРОФИЛЬНОГО МЕТОДА**

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

**ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ
ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПО
ГОСТ 2789–73 ПРИ ПОМОЩИ ПРИБОРОВ
ПРОФИЛЬНОГО МЕТОДА**

Лабораторная работа



Тамбов
Издательство ТГТУ
2006

УДК 408.8 : 389.6
ББК К5-188я73-5
Х304

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Рецензент
Ведущий инженер
(ответственный за метрологическое обеспечение ТГТУ)
С.Н. Кузнецов

Составитель
Б.Н. Хватов

X304 Выполнение измерений параметров шероховатости поверхности по ГОСТ 2789–73 при помощи приборов профильного метода : лабораторная работа / сост. Б.Н. Хватов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 24 с. – 100 экз.

Изложена методика выполнения измерений параметров шероховатости поверхности по снятым профилограммам микрорельефа в системе *M* при помощи приборов профильного метода контактного типа, а также бесконтактных приборов светового сечения.

Предназначена для студентов всех форм обучения специальности 151001.

УДК 408.8 : 389.6

ББК К5-188я73-5

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет» (ТГТУ), 2006

Учебное издание

**ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ
ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПО
ГОСТ 2789–73 ПРИ ПОМОЩИ ПРИБОРОВ
ПРОФИЛЬНОГО МЕТОДА**

Лабораторная работа

Составитель

Хватов Борис Николаевич

Редактор В.Н. Митрофанова

Компьютерное макетирование Е.В. Кораблевой

Подписано в печать 8.09.2006

Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
1,32 уч.-изд. л. Тираж 100 экз. Заказ № 457

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

Цель работы: освоение методики и приобретение практических навыков выполнения измерений параметров шероховатости R_a , R_z , R_{max} , S_m , S , t_p в системе M на приборах профильного метода с ручной обработкой профилограмм, а также параметров R_z , R_{max} , S с помощью приборов светового сечения.

Оборудование и принадлежности: двойной микроскоп МИС-11 системы В.П. Линника, профилограф-профилометр мод. 201 завода «Калибр», комплект снятых профилограмм микрорельефа поверхности на других приборах, образцы шероховатости поверхности.

Краткие теоретические сведения

Согласно определению ГОСТ 2789–73 шероховатость поверхности – это совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности. Шероховатость поверхности определяется по ее профилю, который представляет собой ломаную линию пересечения поверхности плоскостью, перпендикулярной направлению неровностей. Профиль рассматривается на длине базовой линии, в пределах которой оцениваются параметры шероховатости поверхности. В рекомендациях Международного комитета по стандартизации ИСО/Р-468 «Шероховатость поверхности» приняты две системы отсчета высот неровностей: системы M и E . В системе M отсчет высоты неровностей производится от средней линии профиля, а в системе E – от огибающей линии, лежащей вне контура шероховатости поверхности.

В Российской Федерации при стандартизации шероховатости поверхности в основу принята система отсчета M , в которой при определении параметров профиля отсчет высот неровностей производится от средней линии профиля.

Средняя линия профиля – это базовая линия, имеющая форму номинального профиля и делящая реальный профиль так, что в пределах базовой длины сумма квадратов отклонений профиля от этой линии минимальна.

Линия, эквидистантная средней линии и проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины, называется линией выступов профиля. Линию, эквидистантную средней линии профиля и проходящую через низшую точку профиля в пределах базовой длины, принято называть линией впадин профиля.

Для оценки и нормирования шероховатости поверхности известно около 30 параметров. ГОСТ 2789–73 и ГОСТ 27964–88 регламентирует шероховатость поверхности шестью параметрами (рис. 1).

1. 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 y_i – расстояние между точкой реального профиля и средней линией профиля; n – число выбранных точек на базовой длине; l – базовая длина.

2. Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z – сумма средних арифметических (абсолютных) отклонений точек пяти наибольших максимумов и пяти наибольших минимумов профиля в пределах базовой длины

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |y_{Pmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{Vmi}| \right),$$

где y_{Pmi} – отклонение пяти наибольших максимумов профиля; y_{Vmi} – отклонение пяти наибольших минимумов профиля.

3. Наибольшая высота неровностей профиля R_{max} – расстояние между линией выступов профиля в пределах базовой точки (см. рис. 1).

4. Средний шаг неровностей S_m – среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины

$$S_m = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} S_{mi},$$

где S_{mi} – шаг неровностей профиля i -го участка, т.е. длина отрезка средней линии профиля, содержащая выступ профиля и сопряженную с ним впадину профиля; n_2 – число шагов в пределах базовой длины.

5. Средний шаг неровностей по вершинам S – среднее арифметическое значение шагов местных выступов профиля (по вершинам) в пределах базовой длины

$$S = \frac{1}{n_3} \sum_{i=1}^{n_3} S_i,$$

где S_i – шаг местных выступов профиля, т.е. длина отрезка средней линии между проекциями на нее двух высших точек соседних выступов профиля; n_3 – число шагов неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины.

6. Относительная опорная длина профиля t_p , %, где p – числовое значение уровня сечения профиля, – это отношение опорной длины профиля l_p к базовой длине l

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

где l_p – опорная длина профиля, которая определяется суммой длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне p выступов профиля линией, параллельной средней линии в пределах базовой длины

$$l_p = \sum_{i=1}^{n_4} b_i,$$

где b_i – длина отрезка, отсекаемого на выступе профиля; n_4 – число отсекаемых выступов профиля.

Уровнем сечения профиля p называется относительное, в процентах, расстояние между линией выступа профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов. Числовые значения относительной опорной длины профиля t_p выбирается из ряда: 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 %, а числовые значения уровня сечения профиля p из ряда: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 % от R_{\max} .

Кроме перечисленных выше шести стандартных параметров (R_a , R_z , R_{\max} , S_m , S , t_p) допускается использование дополнительных параметров, к числу которых можно отнести среднеквадратическое отклонение профиля R_q (часто указывается в зарубежных стандартных по системе исчисления E), угол наклона боковых поверхностей профиля $\beta_{\text{пр}}$, радиус округления впадин r_d , радиус скругления выступов r_1 и другие.

Между высотными параметрами R_a , R_z , R_{\max} установлены следующие корреляционные зависимости:

для лезвийной обработки $R_z = 5 \cdot R_a$; $R_{\max} = 6 \cdot R_a$;

для шлифования $R_z = 5,5 \cdot R_a$; $R_{\max} = 7 \cdot R_a$;

для полирования и притирки $R_z = 4 \cdot R_a$; $R_{\max} = 5 \cdot R_a$.

При этом среднеквадратическое отклонение профиля R_q и параметр среднеарифметического отклонения R_a связаны между собой зависимостью

$$R_a \approx 0,8 R_q,$$

Соотношение значений параметров R_a , R_z (R_{\max}) при базовой длине l , обусловленные ГОСТ 2789–73 представлено в виде табл. 1.

1. Соотношение параметров R_a , R_z (R_{\max}) при базовой длине l по ГОСТ 2789–73

R_a , мкм	R_z , R_{\max} , мкм	l , мм
до 0,025	до 0,1	0,08
св. 0,025 до 0,4	св. 0,1 до 1,6	0,25
св. 0,4 до 3,2	св. 1,6 до 12,5	0,8
св. 3,2 до 12,5	св. 12,5 до 50	2,5
св. 12,5 до 100	св. 50 до 400	8,0

Методы и средства оценки шероховатости поверхности

Оценка шероховатости поверхности может осуществляться качественными и количественными методами. Качественные методы оценки основаны на сравнении обработанной поверхности с образцами шероховатости. Количественные методы основаны на измерение микронеровностей специальными приборами.

Контроль шероховатости путем сравнения со стандартными образцами или аттестованной деталью широко используется в цеховых условиях. Шероховатость поверхности детали сравнивается визуально (невооруженным глазом или через лупу) с поверхностью образца из того же материала и обработанного тем же способом, что и деталь. Метод сравнения обеспечивает надежную оценку шероховатости поверхности в пределах $R_a = 0,63 \dots 5$ мкм. Более чистые поверхности ($R_a = 0,08 \dots 0,32$ мкм) сравниваются с помощью специальных микроскопов сравнения.

Количественные методы оценки основаны на измерении микронеровностей специальными приборами (бесконтактными и контактными).

Наибольшее распространение для бесконтактных измерений шероховатостей получили оптические приборы: светового сечения, теневой проекции и интерференции света.

Приборы светового сечения (ПСС) называют двойными микроскопам (МИС-11 системы В.П. Линника). Они позволяют измерять шероховатость поверхности до $R_z = 0,8$ мкм. Для измерения более чистых поверхностей с $R_z = 0,8 \dots 0,03$ мкм применяют микроинтерферометры (МИИ-4; МИИ-5; МИИ-10; МИИ-12), работающие на принципе интерференции света. Поверхность образца (детали) рассматривается в микроскоп и при этом на ее изображение накладываются интерференционные полосы, по искривлению которых судят о распределении неровностей. Если бы контролируемая поверхность была идеально плоской, то на ней возникли бы прямые параллельные интерференционные полосы. Микронеровности на поверхности изменяют ход лучей и вызывают искривление полос, которые воспроизводят микропрофиль контролируемого участка. Высоту неровностей определяют так же, как и в методе светового сечения с помощью винтового окулярного микрометра.

Наибольшее распространение для определения шероховатости поверхности контактным методом получили щуповые приборы, работающие по методу ощупывания поверхности алмазной иглой. К этой группе приборов относятся профилометры, непосредственно показывающие среднее арифметическое отклонение профиля R_a , и профилографы, записывающие профиль поверхности. Алмазные иглы к профилометрам и профилографам имеют коническую форму с очень малым радиусом закругления при вершине.

Отечественной промышленностью выпускаются профилометры-профилографы моделей 201; 202; 280; 171311, а также профилометры моделей 253, 283, 296, 171621, которые позволяют измерять параметр шероховатости R_a до $0,02 \dots 0,04$ мкм.

Для оценки шероховатости поверхностей деталей больших габаритов, в труднодоступных местах, когда непосредственное применение прибором невозможно, используют метод слепков. Специально изготовленную массу с силой прикладывают к измеряемой поверхности. После застывания масса отделяется от поверхности, получается слепок, на поверхности которого зеркально повторяются неровности исследуемой поверхности. По измеренной шероховатости поверхности слепка определяют параметры шероховатости контролируемой поверхности детали. В качестве материала для слепка применяют целлулоид, легкоплавкие сплавы, воск, парафин, серу, гипс-хромпик и др. Для измерения шероховатости используют преимущественно бесконтактные методы.

Ниже изложены методики выполнения измерений параметров микропрофиля приборами с графической регистрацией профиля и приборами светового сечения.

1. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ ПРОФИЛОГРАФОВ С ГРАФИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИЕЙ ПРОФИЛЯ

Настоящая методика распространяется на методы выполнения измерений параметров шероховатости R_a , R_z , R_{\max} , S_m , S , t_p в системе M , а также исследования других параметров профиля по снятым профилограммам поверхности.

Все термины и определения, используемые в данной методике, соответствуют ГОСТ 2789–73.

1.1. НАСТРОЙКА ПРИБОРА И УСТАНОВКА ОБРАЗЦА

Перед измерением прибор настраивается в соответствии с инструкцией по пользованию им персоналом, прошедшим соответствующую подготовку и имеющим навыки работы с ним.

Поверхность контролируемого образца устанавливают так, чтобы направление сечения, определяющего профиль, совпадало с указанным в технической документации, утвержденной к прибору в установленном порядке. Поверхность должна быть тщательно очищена от посторонних примесей и обезжирена.

1.2. ВЫБОР УВЕЛИЧЕНИЙ ПРИБОРА

Вертикальное и горизонтальное увеличения профилографа должны выбираться из технических требований тех устройств, которые используются для дальнейшей обработки профиля.

Вертикальное увеличение (V_v) при этом должно быть наибольшим из возможных. Горизонтальное увеличение (V_g) должно соответствовать «растяжке» профиля из условия обеспечения угла наклона боковых сторон φ не более 80° .

Данные, необходимые для выбора увеличения, приводятся в описании к прибору.

1.3. ВЫБОР ОПОРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ДАТЧИКА

Выбор опоры датчика зависит от радиуса кривизны ее рабочей поверхности, которая маркируется на каждой из опор в поставляемом к прибору комплекте. При этом радиус опоры R в направлении трассы ощупывания датчиком прибора должны быть не менее 50 значений базовой длины, на которой определяется параметр шероховатости

(рис. 1, а). При базовой длине 2,5 мм и более предпочтительнее использовать вспомогательную опору, поставляемую к прибору (рис. 2, б).

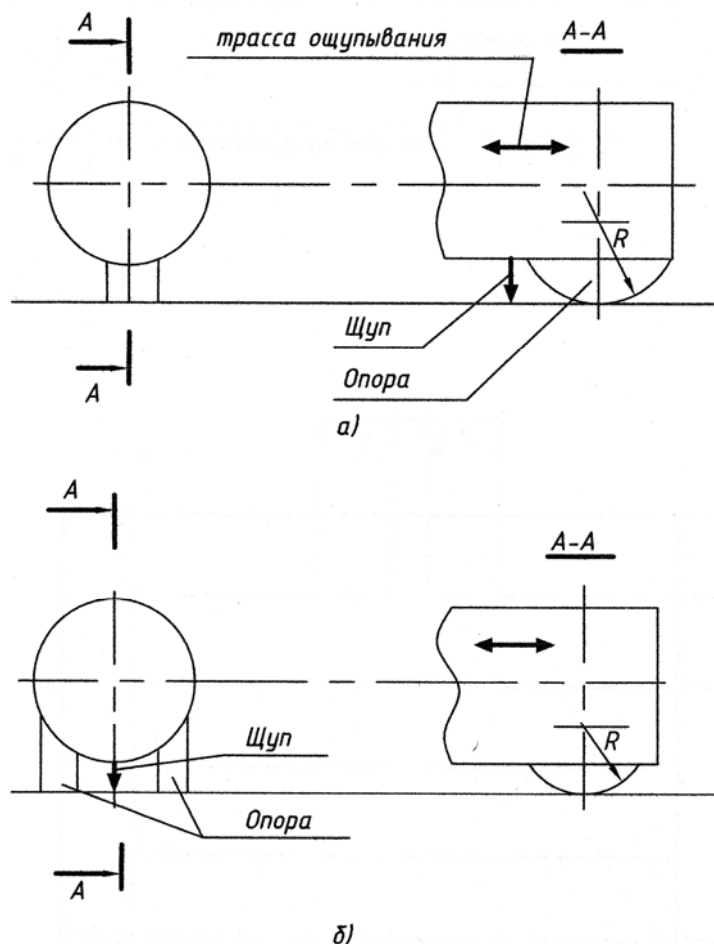


Рис. 2. Схема выбора опоры измерительного датчика

1.4. РАСПОЛОЖЕНИЕ ТРАСС (УЧАСТКОВ) ИЗМЕРЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ

Участки измерения микропрофиля должны быть расположены по возможности равномерно по всей поверхности (рис. 3).

Расстояние между участками измерения x_1, x_2 должны обеспечивать практическую некоррелированность параметров шероховатости, определенных на соседних трассах. Для большинства технических поверхностей этим условиям удовлетворяют расстояния

$$x_1 = x_2 \geq 2 \text{ мм},$$

где x_1, x_2 – интервалы корреляции профиля, записанные на профилограмме.

В тех случаях, когда размеры измеряемой поверхности малы и такими расстояниями задаться невозможно, рекомендуется назначать трассы интегрирования с минимально возможными расстояниями между измеренными участками.

Для поверхности, на которой не наблюдаются явно направленные следы обработки, профилограмму снимают в произвольном направлении. При этом длина профилограммы L должна быть такой, чтобы в ее пределах находилось около пятидесяти пересечений профиля со средней линией.

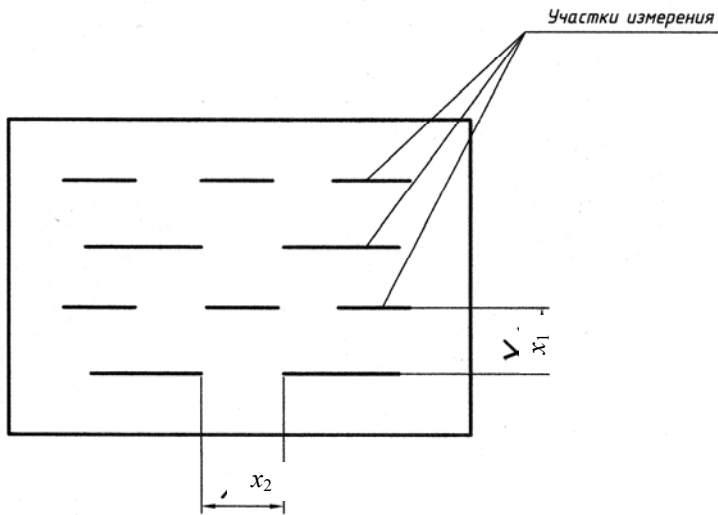


Рис. 3. Схема расположения трасс измерения

Интервалы корреляции x_k в этом случае определяются в зависимости от значений коэффициента λ_1 , равного отношению

$$\lambda_1 = \frac{n}{m},$$

где n – число пересечений профиля со средней линией; m – число вершин выступов профилограммы на длине L .

Величину интервала корреляции x_k определяют из соотношений:

$$x_k = \frac{\tau}{n_0}, \text{ мм – для } \lambda_1 \leq 0,85;$$

$$x_k = \frac{\tau}{m_0}, \text{ мм – для } \lambda_1 > 0,85,$$

где $n_0 = n/L$ и $m_0 = m/L$ – удельные значения числа пересечений и числа вершин на единице длины профилограммы L , соответственно.

Значения коэффициента τ определяются по табл. 2.

2. Значения коэффициента τ

λ	0,10	0,30	0,60	0,85	1,20	1,60	1,80
τ	6,4	2,1	1,0	0,7	0,54	0,58	0,76

Минимальное расстояние между участками измерения на образце принимают равным не менее (рис. 3)

$$x_1 = x_2 \geq 10 \frac{x_k}{V_r},$$

где V_r – горизонтальное увеличение (развертка) записи профилограммы.

1.5. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРОФИЛОГРАММАХ

1.5.1. Вертикальное и горизонтальное увеличение профилограмм

Внешний вид профилограмм микрорельефа поверхности показан на рис. 4. Профилограммы, в соответствии с моделью профилографа, записываются на специальной диаграммной ленте электрографическим (прожиганием) методом. В частности, для профилографов мод. 201, 240 и др. завода «Калибр», применяются диаграммные ленты с прямоугольной сеткой с ценой деления (сторона квадрата) 2 мм. Вертикальное и горизонтальное увеличение записи на профилограмме устанавливается на приборе и промечаются оператором вручную при снятии профилограммы. Обычно горизонтальный участок профилограммы (длину) принимают равной не менее трем базовым длинам профиля, т.е. $L \geq 3l_0v_r$.

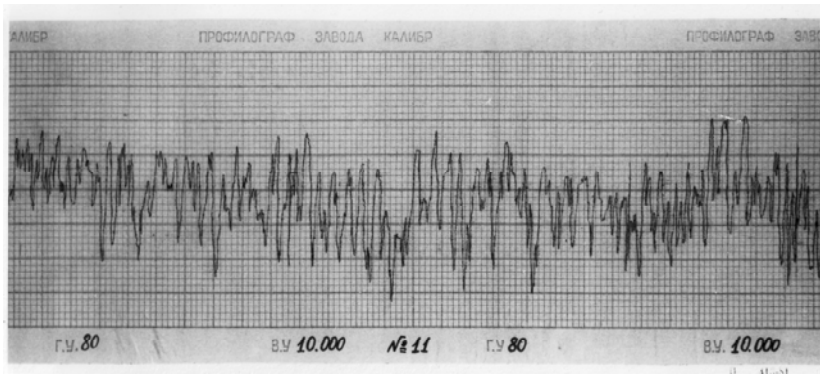


Рис. 4. Профилограмма шлифованной поверхности ($R_a = 0,6...0,8$ мкм)

1.5.2. Измерение ординат точек профиля

Ординаты профилограммы измеряют в прямоугольной системе ординат, ось абсцисс которой располагается на поверхности ленты с записью профилограммы в направлении перемещения ленты.

Измерения можно выполнять, например, с помощью диаграммной сетки, линейки, циркуля, универсального измерительного микроскопа, автоматизированных считывающих устройств и т.п.

Истинные значения величин параметров R_a , R_z , R_{max} в переводе со значений измеренных отрезков H_i будут определяться следующим образом

$$R_a, R_z, R_{max} = \frac{H_i}{V_B} \cdot 10^3, \text{ мкм}$$

где V_B – вертикальное увеличение записи микрорельефа.

1.5.3. Проведение средней линии

Для измерения параметров шероховатости при ручной обработке профилограмм допускается приближенное определение направления средней линии. При этом погрешность угла наклона средней линии не превышает 2° при длине профилограммы 250...300 мм. Для номинально прямолинейного профиля на профилограмме на участке, определяемом базовой длиной, допускается визуальное проведение средней линии параллельно общему направлению профиля так, чтобы площади по обеим сторонам от этой линии до профилограммы были примерно равны между собой.

Приближенное положение средней линии можно найти по методу средних.

Для этого определяют координаты двух точек (x_{a1}, h_{a1}) и (x_{a2}, h_{a2}) (см. рис. 5) по формулам:

$$h_{a1} = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} h_i; \quad x_{a1} = \frac{1}{4} N \Delta x;$$

$$h_{a2} = \frac{2}{N} \sum_{i=\frac{N}{2}+1}^N h_i; \quad x_{a2} = \frac{3}{4} N \Delta x.$$

Через найденные точки проводят среднюю линию.

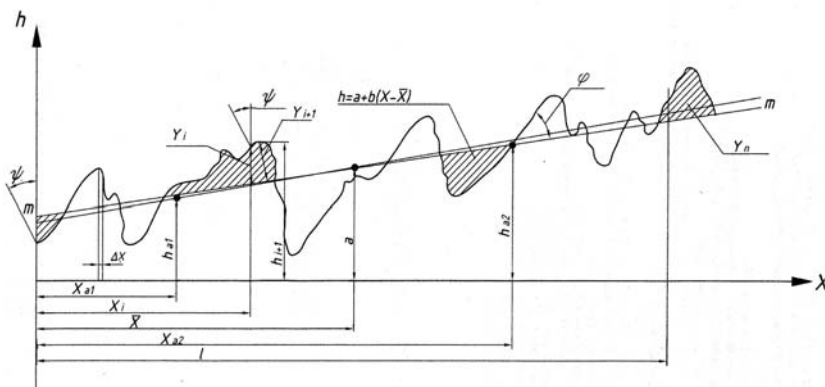


Рис. 5. Нахождение средней линии профиля по методу средних

Значения Δx (шаг дискретизации) и N (число ординат) выбирают по следующей методике. Способом изложенным в п. 1.4, определяют значения x_k (или используют значение x_k , найденное в п. 1.4). По графику, приведенном на рис. 6, или табл. 3 для известных λ_1 и x_k определяют шаг дискретизации Δx .

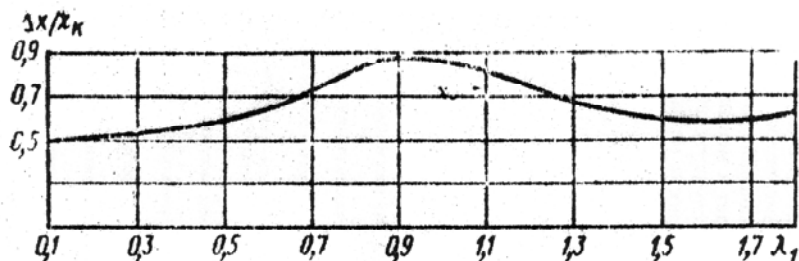


Рис. 6. График зависимости шага дискретизации от коэффициента λ_1

3. Значение шагов дискретизации для различных значений λ_1

λ_1	0,10	0,30	0,60	0,85	1,20	1,60	1,80
$\Delta x/x_k$	0,50	0,53	0,63	0,85	0,73	0,57	0,60

Значение N определяют по формуле

$$N = \frac{l v_\Gamma}{\Delta x},$$

где l – числовое значение заданной базовой длины.

1.5.4. Измерение отклонений профиля

Отклонения профиля от средней линии измеряют на профилограмме вдоль прямой, проходящей через данную точку профиля под углом

$$\psi = \arctg \left(\frac{v_\Gamma}{v_B} \operatorname{tg} \alpha_1 \right),$$

к оси ординат, в системе координат, в которой измерялись ординаты профиля. В большинстве случаев этот угол можно считать равным 0° и отсчет отклонений производить вдоль оси ординат (п. 1.5.2).

1.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ $R_a, R_z, R_{\max}, S_m, S, T_p$ ПРИ ПОМОЩИ КОНТАКТНЫХ ПРОФИЛОГРАФОВ

Средние значения параметров шероховатости поверхности находят по п. 1.6.7 по значениям параметров шероховатости, определяемым на базовых длинах согласно пп. 1.6.1 – 1.6.6.

1.6.1. Для нахождения значения параметра R_a при дискретном способе обработки профилограмм, шаг дискретизации выбирают в соответствии с п. 1.5.3. На участке профилограммы, определяемом базовой длиной, проводят среднюю линию профиля одним из описанных выше способов.

В точках соответствующих шагу дискретизации, измеряют или вычисляют отклонения профиля y_i в мм (рис. 5) в соответствии с п. 1.5.4 или принимают его равным нулю.

Значение параметра R_a находят по формуле

$$R_a = \frac{1}{v_B N} \sum_{i=1}^N |y_i| \cdot 10^3, \text{ мкм},$$

где y_i – измеренные отклонения профиля в дискретных точках, мм; N – число измеряемых отклонений профиля.

При приближенном определении направления средней линии составляющая погрешности измерения параметра R_a , вызванная погрешностью угла наклона средней линии $\sim 2^\circ$, составляет 3 % величины параметра.

1.6.2. Для нахождения значения параметра R_z на участке профилограммы, определяемом базовой длиной, проводят среднюю линию профиля.

От нее измеряются отклонения пяти наибольших максимумов профиля $H_{i\max}$ и отклонения пяти наибольших минимумов профиля $H_{i\min}$ в мм (см. рис. 1).

Значение параметра R_z находят по формуле

$$R_z = \frac{1}{5v_B} \left(\sum_{i=1}^5 |H_{i\max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i\min}| \right) \cdot 10^3, \text{ мкм.}$$

Для нахождения значения параметра R_z при номинально прямолинейном профиле, проводят базовую линию, параллельно 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 расстояния от пяти наибольших минимумов профиля до базовой линии $h_{i\min}$ в мм (см. рис. 1).

Значение параметра R_z находят по формуле

$$R_z = \frac{1}{5v_B} \left(\sum_{i=1}^5 |h_{i\max}| + \sum_{i=1}^5 |h_{i\min}| \right) \cdot 10^3, \text{ мкм.}$$

1.6.3. Для нахождения значения параметра R_{\max} на участке профилограммы, определяемом базовой длиной, проводят среднюю линию профиля.

Через наивысшую и наименее низкую точки профиля проводят линию выступов профиля и линию впадин профиля. Параметр R_{\max} определяют как расстояние между линией выступов и линией впадин (см. рис. 1) с учетом вертикального увеличения.

1.6.4. Для нахождения значения параметра t_p на участке профилограммы, определяемом базовой длиной, проводят среднюю линию и линию выступов профиля,

На заданном уровне p , отсчитываемом от линии выступов, проводят линию, пересекающую профиль эквидистантно линии выступов профиля.

Измеряют отрезки b_i в мм (см. рис. 1), отсекаемые на уровне p в материале выступов измеряемого профиля линией, эквидистантной линии выступов.

Значение параметра t_p находят по формуле

$$t_p = \frac{1}{v_r l} \sum_{i=1}^n b_i,$$

где n – число отрезков b_i .

1.6.5. Значение параметра S_m находят следующими способами:

а) на участке профилограммы, определяемом базовой длиной, проводят среднюю линию профиля.

Измеряют шаги неровностей профиля S_{m_i} в мм (см. рис. 1).

Значение параметра S_m находят по формуле

$$S_m = \frac{1}{v_r n} \sum_{i=1}^n S_{m_i}, \text{ мм,}$$

где n – число шагов неровностей профиля; v_r – горизонтальное увеличение профилографа;

б) на участке профилограммы, определяемом базовой длиной, проводят среднюю линию профиля.

Считают число пресечений профиля со средней линией.

Измеряют длину отрезка средней линии l_0 , ограниченную первым и последним нечетным пересечением профиля со средней линией ($l_0 \leq l_{0B}$).

Значение параметра S_m находят по формуле

$$S_m = \frac{2l_0}{v_r (k-1)}, \text{ мм,}$$

где k – число пересечений профиля со средней линией на длине l_0 .

1.6.6. Значение параметра S находят следующими способами:

а) на участке профилограммы, определяемом базовой длиной, проводят среднюю линию.

Измеряют шаги неровностей профиля по вершинам S_i в мм (рис. 1).

Значение параметра S находят по формуле

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

где n – число шагов неровностей профиля по вершинам;

б) считают число максимумов профиля на длине l_0 , лежащей между первым и последним максимумом. Значение параметра S находят по формуле

$$S = \frac{l_0}{v_r(M-1)}, \text{ мм,}$$

где M – число максимумов профиля на длине l_0 .

1.6.7. Среднее значение параметра шероховатости \bar{P} для всей поверхности определяют по формуле

$$\bar{P} = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q P_j,$$

где P_j – значение одного из параметров ($R_a, R_z, R_{\max}, S_m, S, t_p$), определяемого на каждой базовой длине в соответствии с пп. 1.6.1 – 1.6.6; q – число базовых длин, используемых для определения среднего значения параметра шероховатости поверхности.

1.7. ВЫБОР ДЛИНЫ УЧАСТКА ИЗМЕРЕНИЯ

При измерении параметра R_a по профилограмме, когда погрешность измерения не задана, длина участка измерения на поверхности выбирается в соответствие с табл. 4. При этом погрешность намерения R_a для большинства технических поверхностей не превышает 5...10 %.

4. Выбор длины участка измерения

R_a , мкм	Базовая длина l , мкм	Длина участка измерения L , мм, не менее
От 0,006 до 0,02	0,08	0,4
" 0,02 " 0,32	0,25	1,6
" 0,32 " 2,5	0,8	4,0
" 2,5 " 10,0	2,5	10,0
" 10,0 " 80,0	8,0	32,0

При измерении по профилограмме параметра R_a дискретным способом в тех случаях, когда другими составляющими погрешности измерения по сравнению с погрешностью от ограниченности длины измерения можно пренебречь, длину участка измерения выбирают в зависимости от заданной допустимой относительной погрешности следующим образом.

Используя значение λ_1 (п. 1.4), по табл. 5 определяют коэффициент A_0 .

5. Выбор значений коэффициента A_0

A_0	0,0067	0,0069	0,0074	0,0078	0,0067	0,0069	0,0071
λ_1	0,1	0,3	0,6	0,85	1,2	1,6	1,8

Для заданной допустимой относительной погрешности измерения ϵ , доверительной вероятности β и найденных значений величин χ_k (п. 1.4) и A_0 определяют необходимую длину участка измерения на поверхности по формуле

$$L = 77 \chi_k t_\beta^2 \frac{A_0}{\epsilon^2} / v_r,$$

где t_β – квантиль порядка β , определяемый по табл. 6.

6. Значения квантили t_β

β	0,680	0,870	0,950	0,988	0,997
t_β	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0

Число базовых длин q определяют по формуле

$$q = \frac{L}{l}.$$

Если q – не целое число, то его округляют до ближайшего большего целого.
 Длина участка измерения на профилограмме определяется по формуле

$$L_n = L \cup_r .$$

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ R_z , R_{\max} , S ПРИ ПОМОЩИ МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРОВ И РАСТРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МИКРОСКОПОВ С ВИЗУАЛЬНЫМИ ОКУЛЯРАМИ ВИНТОВЫМИ МИКРОМЕТРАМИ

При измерении параметров R_z , R_{\max} , S в поле изображения прибора одна из нитей перекрестия должна быть установлена параллельно направлению полос (интерференционных, муаровых), другая – параллельно направлению неровностей. Параметры шероховатости определяются в пределах базовой длины.

2.1. Для нахождения значения параметра R_z при измерении растровым микроскопом и микроинтерферометрами МИИ-4, МИИ-5, МИИ-10 (с преобладанием интерференции равного наклона) измеряют ординаты пяти наибольших максимумов профиля h_{\max} и пяти наибольших минимумов h_{\min} в делениях барабана микрометра.

Измеряют ширину полосы (интерференционной, муаровой) ε в делениях барабана микрометра.
 Значение параметра R_z находят по формуле

$$R_z = \frac{c_1}{\varepsilon} \left(\frac{\sum_{i=1}^5 h_{i \max} - \sum_{i=1}^5 h_{i \min}}{5} \right), \text{ мкм},$$

где c_1 – цена интерференционной, муаровой полосы прибора, мкм.

2.2. При измерении микроинтерферометрами МИИ-9, МИИ-12 (с преобладанием интерференции в клине) значение параметра R_z находят по формуле

$$R_z = \frac{c_2}{\varepsilon} \left(\frac{\sum_{i=1}^5 h_{i \max} - \sum_{i=1}^5 h_{i \min}}{5} \right), \text{ мкм},$$

где $c_2 = \frac{\lambda}{2} \frac{U_0}{\sin U_0}$ – цена интерференционной полосы; λ – длина волны источника света, мкм; U_0 – апертурный угол; $\sin U_0$ – апертура освещающего пучка.

2.3. Для нахождения значения параметра R_{\max} при измерении растровым микроскопом и микроинтерферометром МИИ-4, МИИ-5, МИИ-10 измеряют ординаты наивысшей точки профиля h_{\max} и наинизшей точки профиля h_{\min} в делениях барабана микрометра.

Измеряют ширину полосы (интерференционной, муаровой) ε в делениях барабана.
 Значения параметра R_{\max} находят по формуле

$$R_{\max} = \frac{c_1}{\varepsilon} (h_{\max} - h_{\min}), \text{ мкм}.$$

2.4. Значение параметра R_{\max} при измерении микроинтерферометрами МИИ-9, МИИ-12 находят по формуле

$$R_{\max} = \frac{c_2}{\varepsilon} (h_{\max} - h_{\min}), \text{ мкм}.$$

2.5. Значение параметра S при измерении растровым микроскопом и любым микроинтерферометром находят следующими способами:

а) нить перекрестия последовательно совмещают с соседними максимумами профиля.

Измеряют абсциссы максимумов профиля S_i в делениях барабана микрометра.

Значение параметра S находят по формуле

$$S = c_3 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{(n-1)} (S_{i+1} - S_i), \text{ мм},$$

где n – число шагов неровностей профиля по вершинам; $c_3 = \frac{0,01}{\sqrt{2}\Gamma_{об}}$ – цена деления барабана микрометра при измерении абсцисс, мм; $\Gamma_{об}$ – увеличение объектива прибора;
 б) значение параметра S находят в соответствии с п. 5.5.6.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРА R_z , R_{max} , S ПРИ ПОМОЩИ ПРИБОРОВ СВЕТОВОГО СЕЧЕНИЯ ТИПА МИС-11 С ВИЗУАЛЬНЫМ ОКУЛЯРНЫМ ВИНТОВЫМ МИКРОМЕТРОВ

При измерении параметров шероховатости в поле изображения прибора одна из нитей перекрестия должна быть установлена параллельно общему направлению профиля, другая – параллельно направлению неровностей. Параметры шероховатости определяют в пределах базовой длины.

3.1. Для нахождения значения параметра R_z измеряют ординаты пяти наибольших максимумов профиля $h_{i\max}$ и пяти наибольших минимумов профиля $h_{i\min}$ в делениях барабана микрометра.

Значение параметра R_z находят по формуле

$$R_z = c_4 \left(\frac{\sum_{i=1}^5 h_{i\max} - \sum_{i=1}^5 h_{i\min}}{5} \right), \text{ мкм,}$$

где $c_4 = \frac{10}{2\Gamma_{об}}$ – цена деления барабана микрометра при измерении ординат, мкм.

3.2. Для нахождения значения параметра R_{max} измеряют ординату наивысшей точки профиля h_{\max} и ординату наименьшей точки профиля h_{\min} в делениях барабана микрометра.

Значение параметра R_{max} находят по формуле

$$R_{max} = c_4 (h_{\max} - h_{\min}), \text{ мкм.}$$

3.3. Значение параметра S находят в соответствии с п. 2.5.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Перед измерением прибор настраивается в соответствии с инструкцией по пользованию им.

Установка поверхности контролируемого образца производится в соответствии с п. 1.1.

2. Выбор опоры контактного профилометра.

При измерении параметра R_a опора выбирается в соответствии с п. 1.3.

3. Расположение трасс (участков) измерения на поверхности.

Участку измерения располагаются на поверхности в соответствии с п. 1.4.

4. Если допустимая погрешность измерения параметра R_a или базовая длина не заданы, то при контроле шероховатости рекомендуется выбирать базовые длины и длины участков измерений по табл. 4.

Примечания: 1. При использовании профилометров для измерения параметра R_a отсечка шага выбирается равной базовой длине.

2. Если режимы контроля шероховатости не соответствуют указанным в табл. 4, то они должны быть оговорены в документации, содержащей результаты измерений.

3. Выбор длины участка измерения или числа базовых длин.

Используя значения λ_1 и x_k (п. 1.4 и табл. 5), для заданной допустимой относительной погрешности измерения ϵ и доверительной вероятности β , определяют необходимую длину участка измерения L по формуле

$$L = 70x_k t_{\beta}^2 \frac{A_0}{\epsilon^2} / v_{\Gamma}.$$

Если найденная длина участка измерения превышает длину L_0 , указанную в табл. 7, то ее следует разделить на несколько участков, соответствующих данным табл. 7.

7. Выбор длины участка измерения от типа прибора

Тип профилометра	Базовая длина l , мм	Длина участка измерения L_0 , мм
------------------	---------------------------	---------------------------------------

С постоянной длиной трассы ощупывания	0,08	0,4...2
	0,25	1,25...5
	0,8	2,4...8
	2,5	5...15
	8	16...40
Со скользящей длиной трассы ощупывания	0,08; 0,25	2,5...16
	0,8	5...16

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Название и цель работы; заданный вариант образца шероховатости поверхности; снятая профилограмма поверхности; расчет параметров шероховатости поверхности в виде табл. 8; графики зависимости относительной опорной длины профиля $t_p = f(p)$.

8. Расчетные значения параметров шероховатости поверхности по ГОСТ 2789-73

Вариант задания	R_a	R_z	R_{max}	S_m	S	t_p
	МКМ			ММ		%

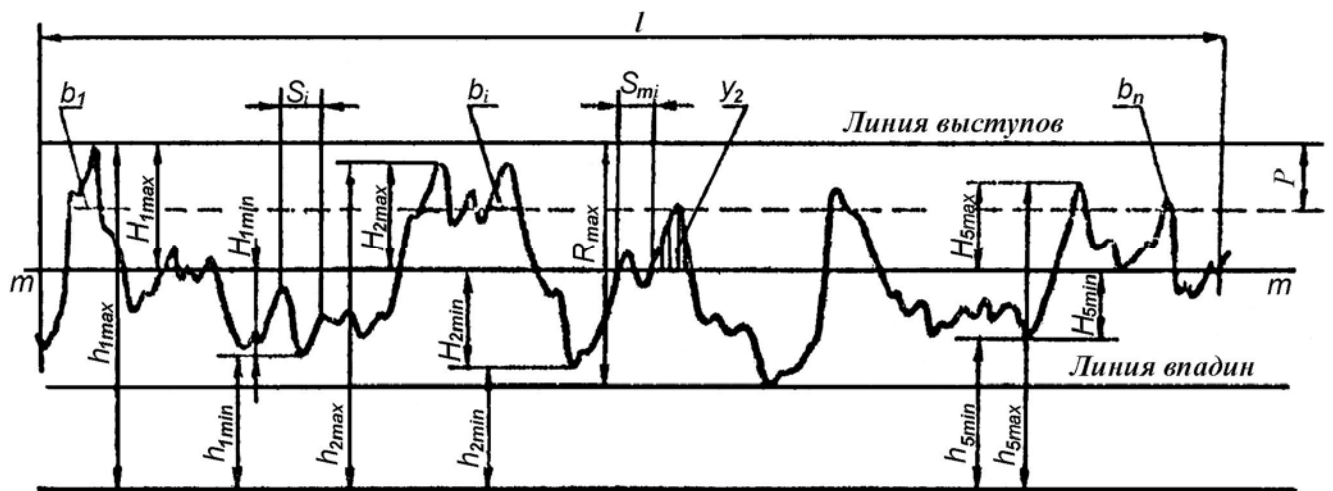


Рис. 1