

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой»



Н. Н. Попок
В. С. Анисимов

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ИЗМЕРЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Методические указания
к учебно-исследовательской лабораторной работе
для студентов специальности 1-36 07 02
«Производство изделий на основе трехмерных технологий»

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой
2023

Об издании – 1, 2

1 – дополнительный титульный экран – сведения об издании

УДК 621.1(075.8)

Одобрены и рекомендованы к изданию
методической комиссией механико-технологического факультета
в качестве методических указаний
(выписка из протокола № 14 от 29.06.2022)

Кафедра технологии и оборудования
машиностроительного производства

Рецензент:

канд. техн. наук, доц., доц. каф. технологии и оборудования
машиностроительного производства А. М. ДОЛГИХ

© Попок Н. Н., Анисимов В. С., 2023
© Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой, 2023

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Изучение структуры и измерение шероховатости поверхности изделий» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Редактор *Т. А. Дарьянова*

Подписано к использованию 29.09.2023.

Объем издания 1,58 Мб. Заказ 424.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>

Содержание

1 Основные положения.....	5
1.1 Стандартизация шероховатости поверхности.....	5
1.2 Шероховатость поверхности и ее параметры.....	7
1.2.1 Параметры, установленные ГОСТ 2789-73 для количественной оценки и нормирования шероховатости	7
1.2.2 Основные требования к шероховатости поверхности	10
1.2.3 Обозначение допустимой шероховатости на чертежах	12
1.3 Способы измерения шероховатости поверхности	13
1.4 Описание устройства и работы профилографа-профилометра «Абрис-ПМ7».....	15
1.5 Описание устройства и работы видеоизмерительного микроскопа модели NVM-4030	18
2 Содержание отчета.....	20
Литература	21
Варианты заданий	22
Пример оформления задания по оценке шероховатости ряда измеренных образцов деталей путем использования числовых характеристик случайной величины	23

Цель работы: изучение характерных особенностей микрорельефа, возникающего в результате механической обработки поверхностей деталей машин, и практическое освоение методики определения высотных и шаговых параметров шероховатости поверхности. Оценка шероховатости ряда измеренных образцов деталей путем использования числовых характеристик случайной величины (\bar{x}_B, D_B, σ_B).

1 Основные положения

1.1 Стандартизация шероховатости поверхности

Качество деталей определяется допусками на размер, форму, расположение и параметрами шероховатости поверхности. Из перечисленных показателей качества сегодня самым сложным в нормировании, измерении и метрологическом обеспечении является шероховатость поверхности деталей машин.

Именно шероховатость поверхности определяет многие функциональные свойства поверхности: качество сопряжения (посадки); износостойчивость (износостойкость); контактную прочность; светоотражательную способность; теплопередачу; удержание смазки; адгезию и др.

Требования к поверхности устанавливаются с целью выполнения ее функционального назначения. Соблюдение этих требований необходимо конструкторам и технологам и обеспечивается при выборе номенклатуры параметров и назначения их числовых значений, а также в процессе изготовления поверхности при соответствующем выборе инструмента и оборудования.

Существует два основных метода измерений параметров шероховатости: оптический (бесконтактный) и щуповой. Оба являются профильными. В последнее время получают развитие топографические (трехмерные) методы измерений шероховатости поверхности.

Приборы для контроля шероховатости поверхности стали применяться в промышленности, в первую очередь, авиационной, автомобильной и шарикоподшипниковой в 30-х годах XX в. Первые приборы были оптические, среди них двойной микроскоп светового сечения, разработанный в СССР (акад. В. Линник) и Германии (Г. Шмальц) в 1932 г. Наибольшее распространение, однако, в дальнейшем получили приборы, основанные на щуповом методе оценки шероховатости поверхности. Первый такой прибор был выпущен в США (Е. Аббот и Ф. Файерстон) в 1933 г. Вскоре в Германии

приступили к выпуску приборов «Пертометр» (Д. Пертен); в Англии в 1942 г. начал серийно выпускаться прибор «Талисерф» (Р. Ризон); первый японский щуповой прибор «Серфкодер» (Косака) появился в середине 1940-х годов. Производство профилографов-профилометров в СССР началось на московском заводе «Калибр» в 1950-х годах. Преимущественное распространение приборов, основанных на профильных методах измерений шероховатости, в значительной мере предопределило направление развития стандартизации в области шероховатости поверхности. В 30–40 годы XX в. национальные стандарты на шероховатость поверхности появились во многих странах. В основу классификации шероховатости в стандартах был положен профиль поверхности и параметры, имеющие размерность длины.

В СССР первый стандарт, устанавливающий требования к чистоте поверхности, ОСТ ВКС 7540, был выпущен в 1928 г. Он предусматривал подразделение обработанных поверхностей на четыре группы, задаваемые треугольными символами (от одного до четырех), и базировался на визуальной оценке чистоты поверхности.

В 1945 г. был введен ГОСТ 2789-45, который содержал параметры $H_{ck} (R_a)$ – среднее квадратическое отклонение профиля, и $H_{max} (R_{max})$ – максимальная высота неровностей. Для оценки шероховатости поверхности в соответствии с ГОСТ 2789-59 были установлены параметры: R_a – среднее арифметическое отклонение профиля от средней линии, проведенной по методу наименьших квадратов в пределах базовой длины, R_z – высота неровностей по 10 точкам и 14 классов шероховатости.

В ГОСТ 2789-73, действующем в настоящее время, для нормирования требований к шероховатости поверхности стандартизовано 6 параметров: три высотных – R_a, R_z, R_{max} ; два шаговых – S, S_m , и t_p (средняя высота неровностей). Современные лабораторные приборы дают возможность определять значения десятков параметров. Все измеряемые параметры определяются в результате обработки (расчета) измеренных координат профиля поверхности.

При практическом отсутствии ограничений и с появлением для таких расчетов вычислительной техники возникают предпосылки разработки новых параметров и их стандартизации.

В настоящее время в области шероховатости поверхности действуют 14 стандартов ИСО. В них регламентированы основные термины и определения параметров шероховатости, волнистости и формы, номинальные характеристики измерительных приборов, правила выполнения измерений параметров шероховатости, методы и средства калибровки приборов для измерений параметров шероховатости и отклонений формы, терминология

в области изъянов поверхности, способы обозначения шероховатости на чертежах.

В последние годы некоторые страны, в основном в Европе, приняли стандарты ИСО в качестве национальных, с соответствующим обозначением. Так, ISO/DIN/BS обозначает, что стандарт является международным, а также национальным стандартом Германии и Англии.

1.2 Шероховатость поверхности и ее параметры

1.2.1 Параметры, установленные ГОСТ 2789-73 для количественной оценки и нормирования шероховатости

Шероховатость поверхности оценивается по неровностям профиля, получаемого путем сечения реальной поверхности плоскостью, перпендикулярной к ней. На рисунке 1.1 представлена типичная профилограмма шероховатости поверхности.



Рисунок 1.1. – Профилограмма шероховатости поверхности

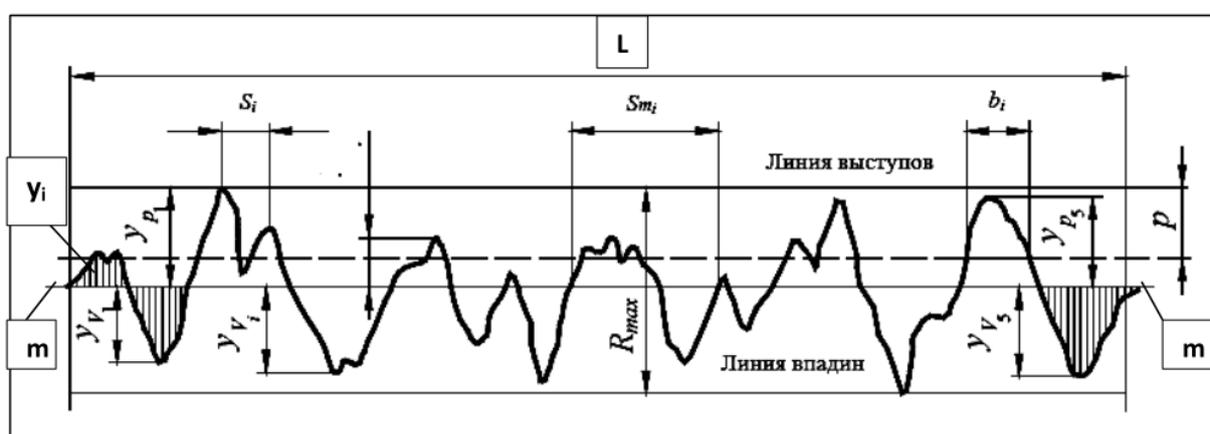
Базой для отсчета отклонений профиля является средняя линия профиля $m-m$ – линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратичное отклонение профиля от этой линии минимально, т.е. должно быть обеспечено равенство суммы площадей выступов ($P_{\text{выст}}$) и впадин ($P_{\text{впад}}$), определенных по профилограмме относительно средней линии (рисунок 1.2).

Параметры шероховатости условно подразделяются на две основные группы: высотные (R_a , R_z , R_{max}) и шаговые (S_m , S , t_p).

На рисунке 1.2 представлена профилограмма шероховатости поверхности для ее количественной оценки.

Шероховатость поверхности (ГОСТ 2789-73) – это совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине L (рисунок 1.2). Базовой длиной L называют длину базовой линии,

используемой для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности, и количественного определения ее параметров. Числовые значения базовой длины L выбирают из ряда (0,01); (0,03); 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; (25) мм (значения, указанные в скобках, применять в особых случаях). Количественно шероховатость поверхности можно оценивать одним или несколькими параметрами: средним арифметическим отклонением профиля R_a , высотой неровностей профиля по десяти точкам R_z , наибольшей высотой неровностей профиля R_{max} , средним шагом неровностей профиля S_m и средним шагом неровностей профиля по вершинам S , относительной опорной длиной профиля t_p (рисунок 1.2).



$m-m$ – средняя линия профиля; L – базовая длина; y_i – значение отклонения профиля в пределах базовой длины; $y_{p1}-y_{p5}$ – высота i -го наибольшего выступа профиля; $y_{v1}-y_{v5}$ – глубина i -й наибольшей впадины профиля; R_{max} – наибольшая высота неровностей профиля; S_i – шаг неровностей профиля по вершинам; S_{mi} – шаг неровностей профиля; b_i – отрезки, отсекаемые на заданном уровне линией p , равностоящей от средней линии

Рисунок 1.2. – Параметры шероховатости поверхности

Шероховатость поверхности (ГОСТ 2789-73) – это совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине L (см. рисунок 1.2). Базовой длиной L называют длину базовой линии, используемой для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности, и количественного определения ее параметров. Числовые значения базовой длины L выбирают из ряда (0,01); (0,03); 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; (25) мм (значения, указанные в скобках, применять в особых случаях). Количественно шероховатость поверхности можно оценивать одним или несколькими параметрами: средним арифметическим отклонением профиля R_a , высотой неровностей профиля по десяти точкам R_z , наибольшей высотой неровностей профиля R_{max} , средним шагом неровностей профиля S_m

и средним шагом неровностей профиля по вершинам S , относительной опорной длиной профиля t_p (см. рисунок 1.2).

Параметр R_a является параметром, характеризующим среднюю высоту всех неровностей профиля, R_z – среднюю высоту наибольших неровностей, и R_{\max} – наибольшую высоту профиля. Шаговые параметры (S_m, S_u, t_p) введены для учета различной формы и взаимного расположения характерных точек неровностей.

Высотные параметры шероховатости:

1. R_a – среднее арифметическое отклонение профиля, определяется как среднее арифметическое значение абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины из выражения

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где n – число отклонений профиля y .

2. R_z – высота неровностей профиля по десяти точкам – это среднее значение абсолютных высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины и определяется из выражения

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

где y_{pi} – высота i -го наибольшего выступа профиля;

y_{vi} – глубина i -й наибольшей впадины профиля.

3. R_{\max} – наибольшая высота неровностей профиля, определяется как наибольшее расстояние между линией выступов и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

Шаговые параметры шероховатости:

4. S_m – средний шаг неровностей профиля, определяется как среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины.

5. S – средний шаг неровностей профиля по вершинам, т.е. среднее арифметическое значений шага S_i неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины (за шаг S_i неровностей профиля по вершинам принимается длина отрезка средней линии, заключенного между проекциями на нее наивысших точек соседних выступов профиля) из выражения

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

б. t_p – относительная опорная длина профиля. Определяется как отношение суммы длин отрезков b_j , отсекаемых на заданном уровне линией, равностоящей от средней линии и расположенной на заданном расстоянии p от линии выступов профиля (уровне сечения p) к базовой длине L . Уровень сечения p профиля обычно выбирают из ряда: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90% от R_{\max} .

Относительная опорная длина профиля является одним из параметров, служащих для оценки фактической площади контакта поверхности после процесса приработки и определяется из выражения

$$t_p = \left(\frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i \right) \cdot 100\% .$$

Относительная опорная длина профиля t_p может быть равна 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90% от R_{\max} .

1.2.2 Основные требования к шероховатости поверхности

Требование к шероховатости поверхности устанавливают одним из способов: указывая наибольшее допустимое значение параметра; диапазон значений параметра; номинальное значение одного или нескольких параметров, а также указания величины базовой длины, на которой необходимо определять параметры шероховатости. В общем случае значение L выбирают по допустимым R_a , R_z и R_{\max} , которые должны быть определены на базовой длине, указанной в таблице 1.1.

Таблица 1.1. – Соотношение значений параметров R_a , R_z , R_{\max} и базовой длины L по ГОСТ 2789-73

R_a , мкм	R_z, R_{\max} , мкм	L , мм
До 0,025	До 0,10	0,08
Свыше 0,025 до 0,4	Свыше 0,10 до 1,6	0,25
Свыше 0,4 до 3,2	Свыше 1,6 до 12,5	0,8
Свыше 3,2 до 12,5	Свыше 12,5 до 50	2,5
Свыше 12,5 до 100	Свыше 50 до 400	8,0

При нормировании шероховатости предпочтительным является параметр R_a , который более информативно, чем R_z и R_{\max} , характеризует неровности профиля, поскольку определяется по всем точкам профиля.

Параметры R_z и R_{\max} нормируют в тех случаях, когда по функциональным требованиям необходимо ограничить полную высоту неровностей профиля, а также когда прямой контроль параметра с помощью профилометров или образцов сравнения не представляется возможным, например, для поверхностей, имеющих малые размеры или сложную конфигурацию (режущие кромки инструментов, детали часов и др.).

Для ответственных поверхностей проводится нормирование не только высотных параметров, но и шаговых S_m , S и t_p , т.к. они обеспечивают некоторые их эксплуатационные свойства (таблица 1.2).

Таблица 1.2. – Эксплуатационные свойства поверхности и обеспечивающая их номенклатура параметров шероховатости

Эксплуатационное свойство поверхности	Параметры шероховатости поверхности и характеристики, определяющие эксплуатационное свойство
Износоустойчивость при всех видах трения	R_a (R_z), направление неровностей (приложение 2)
Виброустойчивость	R_a (R_z), S_m , S , направление неровностей (приложение 2)
Контактная жесткость	R_a (R_z), t_p
Прочность соединения	R_a (R_z)
Прочность конструкции при циклических нагрузках	R_{max} , S_m , S , направление неровностей (приложение 2)
Герметичность соединений	R_a (R_z), R_{max} , t_p

При назначении параметров шероховатости поверхностей следует проверить возможность их достижения в связи с рациональными методами обработки детали. Как правило, следует применять наибольшую шероховатость, допускаемую конструкторскими требованиями. В противном случае может значительно увеличиться стоимость обработки, что может быть компенсировано лишь повышением качества изделия. В некоторых же случаях повышение требований к шероховатости может оказаться не только не рентабельным, но и недопустимым.

Например, при слишком гладких сопрягаемых поверхностях может возникнуть явление «схватывание», при котором частицы металла отрываются от поверхностного слоя трущихся поверхностей. Для таких поверхностей следует нормировать оптимальную исходную шероховатость, которая должна быть близкой к получаемой в процессе приработки.

Обычно обработать отверстие труднее, чем вал. Это часто учитывается назначением различной шероховатости поверхности сопрягаемых деталей. У отверстий шероховатость несколько выше. Правильное решение,

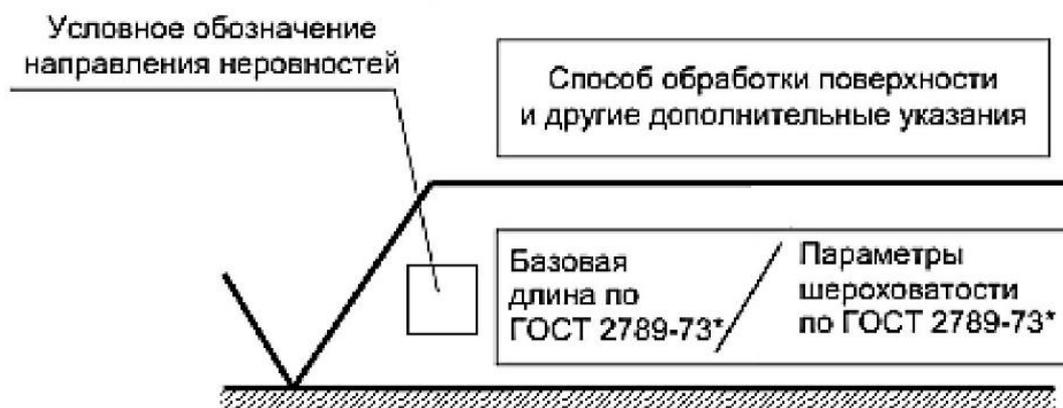
принимаемое при выборе параметров шероховатости поверхности деталей, а также при выборе методов обработки, обеспечивающих получение поверхностей с заданной шероховатостью, оказывает серьезное влияние на качество конструкции, ее технологичность и позволяет установить наиболее экономичные методы изготовления деталей.

Для обеспечения условий взаимозаменяемости назначение шероховатости сопряженных поверхностей может производиться в зависимости от точности сопряжения (выбранной посадки) и точности обработки (выбранного качества).

1.2.3 Обозначение допустимой шероховатости на чертежах

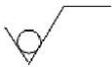
Шероховатость поверхностей обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей детали, независимо от методов их образования, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции. Допустимые величины всех параметров шероховатости, за исключением тех, которые выражены в процентах, должны проставляться в микрометрах (мкм).

Структура обозначения шероховатости поверхности приведена ниже.



- 

знак, наиболее предпочтительный, соответствующий обычному условию нормирования шероховатости, когда метод обработки поверхности чертежом не регламентируется;
- 

знак, показывающий, что поверхность образована путем удаления слоя металла (токарная и фрезерная обработка, протягивание, сверление и т.д.);
- 

знак, показывающий, что поверхность образована без снятия слоя металла (ковка, штамповка и т.д.);
- 

знак, показывающий, что поверхность не обрабатывается по данному чертежу.

1.3 Способы измерения шероховатости поверхности

Существует ряд способов измерения шероховатости обработанной поверхности.

Сравнительный бесконтактный метод

Способ основан на сравнении измеряемой поверхности с образцами шероховатости, регламентированными ГОСТ 9378-93. Стандарт распространяется на образцы шероховатости поверхности, предназначенные для сравнения визуально и на ощупь с поверхностями изделий, полученными обработкой резанием, полированием, электроэрозионной, дробеструйной и пескоструйной обработкой.

Образцы шероховатости комплектуются наборами (образцы для шлифования, точения и расточки, фрезерования, строгания, электроэрозионной обработки, дробеструйной и пескоструйной обработки и полирования). К каждому набору образцов прилагают паспорт, содержащий перечень образцов, входящих в набор, воспроизводимые способы обработки и значения параметров шероховатости.

Этот метод является простым и доступным, обеспечивает достоверность контроля при $R_a > 1,25$ и широко применяется в цеховых условиях. Для повышения точности оценки используют сравнительные микроскопы, в которых ставят рядом образец и контролируруемую деталь.

Вместо образцов шероховатости могут быть применены аттестованные образцовые детали. Этот метод применяется в единичном производстве.

Бесконтактный оптический метод

Оптический метод представляет собой измерение параметров шероховатости бесконтактными оптическими приборами, действие которых основано на принципе одновременного преобразования профиля поверхности, предназначенные для измерения параметров R_{\max} , R_z , S . Согласно ГОСТ 9847-79 применяются следующие типы оптических приборов: ПТС – прибор теневого свечения, ПСС – прибор светового свечения (например, прибор МИС-11 системы В.П. Линника), МИИ – микроскоп интерференционный измерительный, действие которого основано на двулучевой интерференции света (например, МИИ-4, МИИ-5, МИИ-10), МПИ – микроскоп-профилометр интерференционный, действие которого основано на интерференции света с образованием полос равного хроматического порядка.

Метод светового свечения при измерении параметров неровности применяется наиболее часто и заключается в следующем. Исходящий от источника света световой поток преобразуется в тонкий пучок, проходя через

узкую щель. Далее он с помощью объектива под определенным углом направляется на исследуемую поверхность. Отраженный луч снова проходит через объектив и формирует изображение щели в окуляре. Абсолютно ровная поверхность соответствует идеально прямой светящейся линии, шероховатая поверхность – искривленной.

Теневой метод является «продолжением» светового: на небольшом расстоянии от изучаемой поверхности устанавливается линейка, ребро которой скошено. Пучок света проходит тот же путь, однако, словно ножом срезается ребром. На контролируемой поверхности появляется тень, верхняя часть которой точно повторяет изучаемый профиль. Рассматривая это изображение в микроскоп, делают выводы о характере и параметрах шероховатости.

Измерение шероховатости методом слепков

При оценке шероховатости поверхностей сложной формы и в случае трудного доступа к исследуемой поверхности применяют так называемый метод слепков, заключающийся в снятии копий поверхностей для последующего измерения по ним высоты неровностей. Специально подготовленную массу будущего слепка с силой прикладывают к измеряемой поверхности. В качестве материала для изготовления слепков применяют целлулоид, легкоплавкие сплавы, воск, парафин, гипс-хромпик и пр. После застывания масса отделяется от поверхности и получается слепок, зеркально повторяющий неровности измеряемой поверхности. Для измерения шероховатости поверхности слепка, характеризующего шероховатость измеряемой поверхности, применяются преимущественно бесконтактные методы.

Контактный (щуповой) метод

Большое распространение для определения параметров шероховатости поверхности контактным методом получили щуповые приборы, работающие по методу ощупывания поверхности алмазной иглой. Ось иглы располагают по нормали к поверхности. Опускаясь во впадины, а затем поднимаясь на выступы во время движения ощупывающей головки по испытуемой поверхности, игла колеблется относительно головки соответственно огибаемому профилю. Механические колебания иглы преобразуются, как правило, в электрические при помощи электромеханического преобразователя того или иного типа. Снятый с преобразователя полезный сигнал усиливают, а затем измеряют его параметры, характеризующие неровности исследуемой поверхности (профилометрирование), или записывают параметры профиля поверхности в заранее выбранных вертикальном и горизонтальном масштабах (профилографирование).

Щуповые электромеханические приборы, предназначенные для измерений параметров шероховатости поверхности, называют профилометрами, а такие же приборы для записи неровностей поверхности – профилографами. Профилографы-профилометры позволяют не только записывать профиль поверхности, но и измерять параметры шероховатости.

В щуповых приборах для измерения параметров шероховатости поверхности применяются индукционные, индуктивные, электронные и пьезоэлектрические преобразователи механических колебаний иглы в электрические сигналы.

1.4 Описание устройства и работы профилографа-профилометра «Абрис-ПМ7»

Профилограф-профилометр «Абрис-ПМ7» предназначен для измерений в лабораторных и цеховых условиях машиностроительных, приборостроительных и других предприятий, а также в полевых условиях, шероховатости поверхностей изделий, сечение которых в плоскости измерения представляет прямую линию (рисунок 1.3). Измерение параметров шероховатости поверхности производится по системе средней линии в соответствии с номенклатурой и диапазонами значений, предусмотренными ГОСТ 2789–73.

Технические характеристики:

Измеряемые параметры шероховатости	Ra, Rz, Rmax, Sm, tp
Диапазон измерений по параметрам:	
Ra, мкм	0.04...12.5
Rz, Rmax, мкм	0.16...50.0
Sm, мкм	8.0 ...250.0
tp, %	0.1 ... 99.9



Рисунок 1.3. – Общий вид профилографа-профилометра «Абрис-ПМ7»

Устройство и работа

Действие прибора основано на ошупывании неровностей измеряемой поверхности алмазной иглой и преобразовании колебаний щупа датчика в колебания электрического напряжения, пропорциональные этим колебаниям. Колебания напряжения обрабатываются в отсчетном устройстве и персональном компьютере и результат обработки выводится в цифровом виде на индикатор отсчетного устройства и в цифровом, и графическом виде на экран монитора персонального компьютера.

Основу прибора составляют первичный преобразователь и отсчетное устройство, которые обеспечивают необходимую точность измерения параметров шероховатости. Первичный преобразователь предназначен для перемещения с постоянной скоростью относительно измеряемой поверхности измерительного механизма и преобразования линейных колебаний иглы, воспроизводящей неровности измеряемой поверхности, в колебания электрического напряжения. Первичный преобразователь подключается к отсчетному устройству кабелем через разъем или напрямую. Отсчетное устройство предназначено для усиления и преобразования сигнала с первичного преобразователя, управления электроприводом, вычисления параметров шероховатости измеряемой поверхности с выдачей результатов измерения на устройство цифровой индикации. Конструктивно отсчетное устройство выполнено в малогабаритном корпусе из ударопрочного полистирола. Переключатели пределов и видов измерений, а также пусковая кнопка, расположены таким образом, что можно удобно работать с отсчетным устройством, держа его при необходимости одной рукой.

В верхней части отсчетного устройства расположены гнезда для подключения сетевого адаптера питания и для подключения прибора к персональному компьютеру. Стойка приборная предназначена для установки на нее первичного преобразователя, придания ему пространственного положения при измерении, создания измерительного усилия, а также для установки и закрепления измеряемых деталей.

Программно-аппаратный комплекс на базе IBM-совместимого персонального компьютера, входящего в состав профилографа-профилометра, обеспечивает прием сигналов, их обработку, расчет параметров шероховатости и вывод на экран монитора и печатающее устройство результатов расчета и профилограммы измеренного участка.

Первичный преобразователь базируется на измеряемую поверхность либо непосредственно основанием, либо с помощью дополнительных приспособлений таким образом, чтобы рабочая поверхность опоры, вершина иглы и рабочая плоскость основания находились в одной плоскости.

При этом индикатор на первичном преобразователе должен светиться тем ярче, чем ближе к сбалансированному положению находится измерительный механизм датчика. После этого дается команда на начало измерения нажатием пусковой кнопки. Алмазная игла измерительного механизма при ощупывании неровностей измеряемой поверхности совершает колебательные движения относительно опоры, движущейся по той же поверхности. Эти колебания затем преобразуются в колебания электрического напряжения на выходе первичного преобразователя, пропорциональные колебаниям ощупывающей иглы.

Выходной сигнал с первичного преобразователя поступает в отсчетное устройство, в котором он усиливается и обрабатывается. Цифровое значение вычисленных параметров по одному, в зависимости от положения переключателей на отсчетном устройстве, выдается в десятичном виде на устройство цифровой индикации. Исходя из величины измеряемой шероховатости, переключателем на отсчетном устройстве выбирается базовая длина, на которой производится определение параметров шероховатости и соответствующий предел измерения.

Длина трассы ощупывания задается переключателем на отсчетном устройстве путем выбора количества базовых длин на участке измерения. На каждом из участков осуществляется независимый расчет параметров шероховатости, а затем производится усреднение результатов расчета и вывод на устройство индикации.

При использовании прибора в качестве профилографа отсчетное устройство с помощью соединительного кабеля подключается к порту СОМ2 персонального компьютера. Управление работой прибора в этом случае осуществляется с клавиатуры персонального компьютера по специальной программе. Все параметры шероховатости рассчитываются за один проход датчика и выводятся на экран вместе с профилограммами.

Результаты измерений могут быть выведены на печать. Программное обеспечение позволяет производить сохранение и накопление результатов измерения и последующую их статистическую обработку. При возникновении ошибок и сбоев при измерении программа выдает на экран соответствующее сообщение и рекомендации по их устранению.

Инструмент и принадлежности

Для удобства измерения шероховатости цилиндрических изделий в комплект поставки входит набор опорных призм, которые устанавливаются на переднем и заднем торцах первичного преобразователя. Эти же призмы используются как опорные стойки при измерении плоских ступенчатых деталей.

Для удобства измерения шероховатости открытых плоских участков поверхностей деталей протяженностью 5...15 мм используется насадка, устанавливаемая на переднем торце первичного преобразователя. С помощью этой насадки производится базирование непосредственно на измеряемую поверхность.

Для удобства измерения шероховатости коротких цилиндрических участков используется призма, устанавливаемая на передней насадке. Для проверки правильности показаний прибора он оснащен установочным образцом, представляющим собой металлическую пластину с аттестованной площадкой. Величина шероховатости и условия, при которых она была измерена, нанесены на пластине.

1.5 Описание устройства и работы видеоизмерительного микроскопа модели NVM-4030

Бесконтактный видеоизмерительный микроскоп широко используется для линейно-угловых измерений в области машиностроения, электротехнической промышленности, металлоконструкций, для измерений пластиковых изделий, в области приборостроения и т.п. (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4. –Общий вид видеоизмерительного микроскопа модели NVM-4030

Технические характеристики:

Диапазон измерения по осям X и Y – 400x300 мм.

Диапазон перемещения по оси Z – 150мм.

Погрешность $E(x, y)$, мкм – $\leq(3+L/200)$, L – измеренная длина, мм.

Разрешение – 0,001 мм.

Тип датчика – цветная камера ПЗС 1/2"."

Объектив – Зум.

Увеличение: оптическая система – 0,7–4,5x; WD 92 мм.

Цифровое увеличение – 20–128x.

Поле зрения – 7–1,1 мм.

Освещение – проходящая подсветка, отраженная подсветка, коаксиальная, регулируемая яркость.

Питание – 220 V (AC), 50 HZ, 30 W.

Предметный стол:

размер предметного стола – 606x466 мм;

габариты стекла предметного стола – 450x350 мм;

нагрузка – 30 кг;

Габариты ДхШхВ – 720x950x1020 мм.

Видеоизмерительный микроскоп сочетает в себе новейшие технологии и простоту использования полуавтоматизированного видеоизмерительного микроскопа.

Моторизованная ось Z обеспечивает автоматическую фокусировку на поверхности, измерение высоты и глубины бесконтактным методом.

Система обладает широкими возможностями в измерении различных поверхностей деталей, обработки измеренных данных, обеспечивает легкое и быстрое базирование измеряемой детали. Жесткая конструкция на гранитном основании обеспечивает высокую стабильность.

Функции:

- построение всех существующих элементов, таких как точка, линия, окружность, дуга и овал, прямоугольные элементы и т.п.;
- измерение линейно-угловых значений, таких как расстояние, диаметр, радиус, угол, расстояние между центрами окружностей, соосность;
- контроль параметров формы: прямолинейности и круглости;
- данные формируются в форматы Word, Excel;
- имеется функции статистического анализа и составления графиков полученных данных измерений по ISO 9001;
- позволяет создать и загружать файлы формата DFX.

2 Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Стандартизация шероховатости поверхности, шероховатость поверхности и ее параметры, расчетные формулы для определения высотных и шаговых параметров шероховатости по ГОСТ 2789-73.
4. Способы измерения шероховатости: привести основные данные и технические характеристики профилографа-профилометра «Абрис-ПМ7», видеоизмерительного микроскопа модели NVM-4030, принцип измерения шероховатости и обработки экспериментальных данных на компьютере.
5. Оценка шероховатости ряда измеренных образцов деталей путем использования числовых характеристик случайной величины (\bar{x}_B, D_B, σ_B).
6. Выводы о состоянии и способе обработки данной поверхности.

Литература

1. ГОСТ 2789-73*. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Стандартиформ, 2018. – 7 с.
2. ГОСТ 2.309-73*. ЕСКД. Обозначения шероховатости поверхностей. – Введ. 1973-11-09. – М.: М.: Стандартиформ, 2007. – 14 с.
3. ГОСТ 25142-73*. Шероховатость поверхности. Термины и определения. – Введ. 1982-02-18. – М.: Стандартиформ, 2018. – 16 с.
4. Палей М.А., Романов А.Б., Брагинский В.А. Допуски и посадки: справочник. В 2 ч. – 8-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2001. – Ч. 1. – 576 с.
5. Палей М.А., Романов А.Б., Брагинский В.А. Допуски и посадки: справочник. В 2 ч. – 8-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2001. – Ч. 2. – 608 с.
6. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. для студентов высш. учеб. заведений / А.И. Аристов и др. – 4-е изд., стереот. – М.: Академия, 2008. – 384 с.
7. Анухин В.И. Допуски и посадки: учеб. пособие. – 5-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 256 с.
8. Колчков В.И. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник / В.И. Колчков. – М.: ФОРУМ; Инфра-М, 2013. – 432 с.

Варианты заданий

Вариант 1

3,2	3,25	3,1	2,8	4,2	5,0	5,0	4,5	3,5	3,8
3,55	3,65	4,85	3,6	3,7	4,9	4,85	4,35	4,2	5,0
4,6	4,45	4,15	4,2	3,8	3,3	3,2	3,75	5,0	4,2
4,35	4,75	3,25	3,85	4,15	4,25	5,0	3,2	4,6	4,4
3,85	4,15	4,05	4,25	3,7	3,55	3,4	3,3	3,5	4,5

Вариант 2

6,3	7,2	6,8	7	6,9	8,6	7,2	7,5	8,8	8,1
7,5	6,7	7,5	8,7	8,5	9,3	10,5	11,2	12,2	8,6
7,2	6,8	6,3	12,5	8,7	9,8	8,9	10	7,8	9,6
8,3	12,5	8,8	6,8	12,5	10,5	11,1	10	10,5	8,2
8	8,7	7,5	7,3	7,2	8,5	11	9,5	12	12,5

Вариант 3

1,25	2,5	2,2	3,1	2,85	2,75	3,05	2,7	2,15	2,3
1,5	2,6	2,1	2	2,55	3,1	3,2	2,8	2,2	2,4
1,9	3,2	1,65	1,85	1,9	2,2	2,85	2,75	2,6	2,8
1,25	1,7	1,3	2,55	1,8	1,55	1,5	2,3	2,6	1,8
1,7	1,8	2,15	3,2	1,55	1,7	1,8	2,5	1,7	3,2

Вариант 4

0,63	0,8	1,1	1,15	1	0,8	0,63	0,75	0,95	1
0,95	0,85	0,8	1,25	0,85	1,2	1,15	0,63	0,8	0,75
0,75	0,75	1,05	0,85	0,85	1,25	1	0,7	0,75	0,7
1,2	1,1	1,05	1,1	1,05	1	1,1	1,25	0,8	0,9
0,9	1,15	0,9	1,2	1,15	0,9	0,85	0,63	1,1	1,25

**Пример оформления задания
по оценке шероховатости ряда измеренных образцов деталей
путем использования числовых характеристик случайной величины**

В результате некоторого эксперимента были получены данные, записанные в виде статистического ряда:

14	32	29	39	17	35	28	15	15	38
26	39	26	22	27	31	15	32	27	21
34	13	11	40	40	30	19	10	24	21
33	29	24	37	29	21	28	35	36	36
33	19	27	27	12	37	10	10	40	26

Произвести статистическую обработку результатов измерений:

1. Построить интервальный вариационный ряд.
2. Построить гистограмму относительных частот, эмпирическую функцию распределения и ее график (кумулянту).
3. Найти выборочные числовые характеристики \bar{x}_B, D_B, σ_B .

Решение.

1. Составим дискретный вариационный ряд, записав варианты в порядке возрастания:

10	10	10	11	12	14	14	15	15	15
17	19	19	21	21	21	22	24	24	26
26	26	27	27	27	27	28	28	29	29
29	30	31	32	32	33	33	34	35	35
36	36	37	37	38	39	39	40	40	40

Для построения интервального вариационного ряда определяем число интервалов по формуле $k = 1 + 3,22 \cdot \lg n, n = 50$.

Поэтому $k = 1 + 3,22 \cdot \lg n \approx 6$.

Находим длину интервала:

$$\Delta = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k} = \frac{40 - 10}{6} = 5.$$

$x_{i+1} = x_i + \Delta$ – формула, по которой вычисляются границы интервалов.

Составляем расчетную таблицу в виде интервального вариационного ряда:

№	$[x_i;$	$x_{i+1})$	c_i	n_i	w_i	P_i	$c_i n_i$	$c_i^2 n_i$
1	10	15	12,5	7	0,14	0,028	87,5	1093,75
2	15	20	17,5	6	0,12	0,024	105	1837,5
3	20	25	22,5	6	0,12	0,024	135	3037,5
4	25	30	27,5	12	0,24	0,048	330	9075
5	30	35	32,5	7	0,14	0,028	227,5	7393,75
6	35	40	37,5	12	0,24	0,048	450	16875
Сумма				50	1		1335	39312,5
							S_1	S_2

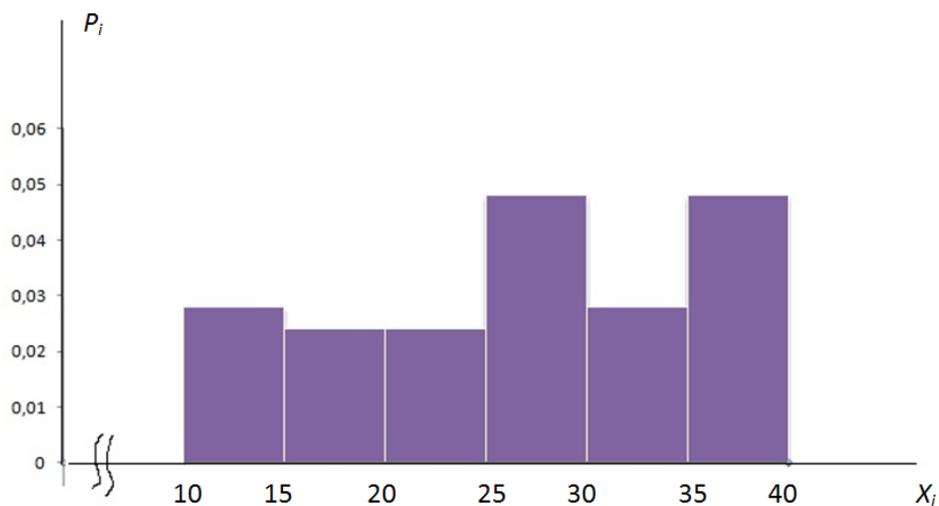
n_i – значения частот;

$$c_i = \frac{x_i + x_{i+1}}{2} \text{ – середина интервала;}$$

$$w_i = \frac{n_i}{n} \text{ – относительная частота;}$$

$$P_i = \frac{w_i}{\Delta}.$$

2. Строим гистограмму относительных частот.



Эмпирическую функцию распределения выборки $F^*(x)$ находим по формуле

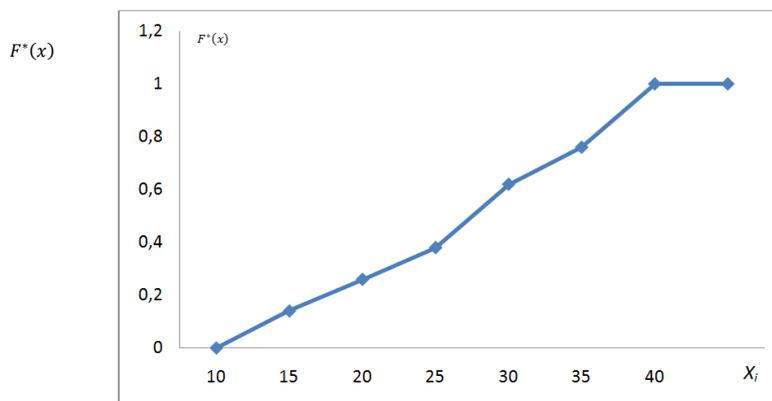
$$F^*(x) = \frac{n_x}{n} = \sum_{x_i < x} \frac{n_i}{n},$$

где n_x – число вариантов, меньших x .

Строим эмпирическую функцию распределения:

$$F^*(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 10 \\ 0,14, & 10 < x \leq 15 \\ 0,26, & 15 < x \leq 20 \\ 0,38, & 20 < x \leq 25 \\ 0,62, & 25 < x \leq 30 \\ 0,76, & 30 < x \leq 35 \\ 1, & 35 < x \leq 40 \\ 1, & x > 40 \end{cases}.$$

Строим график эмпирической функции распределения (кумулянту).



3. Выборочные числовые характеристики \bar{x}_B, D_B, σ_B :

$$\bar{x}_B = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^k c_i^2 n_i = \frac{S_1}{n} = \frac{1335}{50} = 26,7;$$

$$D_B = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^k c_i^2 n_i - \bar{x}_B^2 = \frac{S_2}{n} - \bar{x}_B^2 = \frac{39312,5}{50} - 26,7^2 = 73,76;$$

$$\sigma_B = \sqrt{D_B} = \sqrt{73,76} = 8,57.$$