

**Азарова Н.В.** (канд. техн. наук, доцент)

**Цокур В.П.** (канд. техн. наук, доцент)

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ШЛИФОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Предложена методика экспериментального определения параметров шероховатости шлифованной поверхности. Запись и обработка профилограмм на ПЭВМ позволяет значительно снизить трудоемкость исследований.

### **Шлифование, шероховатость поверхности**

#### **Введение**

Параметры шероховатости определяются по профилограммам шлифованной поверхности, записанным на профилографическую бумагу, обработка профилограмм производится вручную и отличается высокой трудоемкостью. Поэтому в ряде случаев ограничиваются определением только высотных параметров шероховатости  $R_{max}$ ,  $R_z$ ,  $R_a$ . Вместе с тем обработка профилограмм позволяет определить не только высотные параметры, но и весь комплекс параметров шероховатости, предусмотренный ГОСТ 25142-82 и ДСТУ ISO 12085-2001 [1, 2]. Запись профилограмм на персональный компьютер (ПК) позволяет автоматизировать процесс обработки профилограмм с целью определения параметров шероховатости.

Целью работы является определение параметров шероховатости шлифованной поверхности при помощи специально разработанной программы обработки на ПК участков профилограммы базовой длины.

#### **Основная часть**

В результате наличия зазоров в шпиндельном узле фактическая глубина шлифования не соответствует величине вертикальной подачи, устанавливаемой с помощью нониуса. При измерении параметров шероховатости обработанной поверхности на образце необходимо гарантировать устранение влияния шероховатости, сформированной предыдущей обработкой, на результаты эксперимента.

Для определения номера прохода, на котором вертикальное перемещение шпинделя по показанию цифрового индикатора равно фактической глубине шлифования, были проведены предварительные эксперименты.

Образцы из стали Р6М5Ф3 с размером обрабатываемой поверхности 70×15 мм обрабатывали на плоскошлифовальном станке модели 3Д711АФ11 методом плоского врезного шлифования кругом 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125-4-М2-01 на следующих режимах: скорость круга  $v_k=30$  м/с, скорость стола  $v_{cm}=1,5; 3; 6$  м/мин, величина вертикального перемещения шпинделя по индикатору (вертикальная подача)  $t_n=0,015$  мм.

Перед экспериментом круг, заправленный электроэрозионным способом, прирабатывали в течение 15 мин (скорость круга  $v_k = 30$  м/с, скорость стола  $v_{cm} = 6$  м/мин, вертикальная подача  $t_n = 0,015$  мм, поперечная подача  $s_{non} = 1,5$  мм/ход, обрабатываемый материал – сталь Р6М5Ф3).

Образец 1 закрепляли в специальных тисках 2, которые устанавливали на магнитной плите 3 (рис. 1).

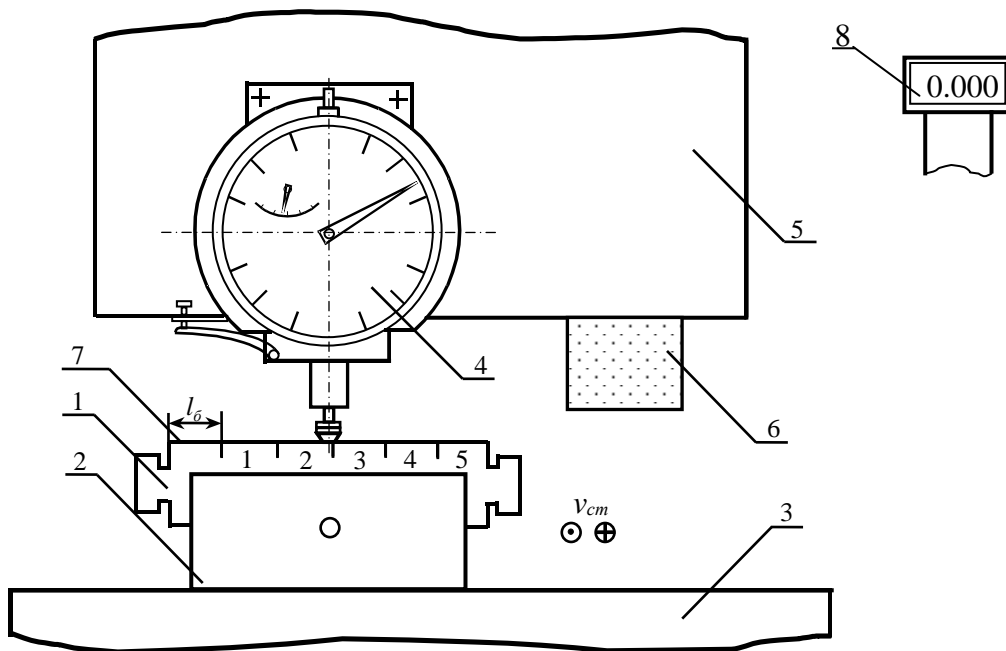


Рис. 1. Схема измерения высоты слоя сошлифованного материала

Измерение высоты образца в процессе обработки осуществляли с помощью индикатора часового типа 4 с ценой деления 0,001 мм, установленного на кожухе 5 шлифовального круга 6.

Перед измерением поверхность образца шлифовали для обеспечения параллельности обработанной поверхности относительно поперечного перемещения стола и образования базовой поверхности 7. Затем круг смещали вдоль образца на величину  $l_{\sigma}$  и осуществляли обработку сечения 1 двумя ходами с увеличением на каждом ходе вертикальной подачи на заданную величину, которую определяли с помощью электронного цифрового индикатора 8 шлифовального станка с ценой деления 0,001 мм. После этого круг смещали в сечение 2 и осуществляли обработку четырьмя ходами с увеличением на каждом ходе вертикальной подачи на ту же величину. Аналогично обрабатывали сечение 3 шестью ходами, сечение 4 – восемью ходами, а сечение 5 –десятью ходами.

Эксперимент проводили три раза.

Замеры расположения обработанной поверхности выполняли в каждом сечении в пяти точках по длине образца. Среднюю высоту слоя сошлифованного материала в каждом сечении определяли по формуле

$$\bar{h} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{h}_i ,$$

где  $\bar{h}_i$  – средняя высота слоя сошлифованного материала в исследуемом сечении, определенная в  $i$ -ом опыте;

$m$  – количество опытов.

Для определения доверительных интервалов на средние значения высоты слоя сошлифованного материала  $\bar{h}$  в каждом сечении определяли эмпирические дисперсии:

$$S_{h_i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (h_{ij} - \bar{h}_i)^2}{n-1} \quad (i = \overline{1, m}).$$

Здесь

$$\bar{h}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h_{ij} \quad (i = \overline{1, m}),$$

где  $n$  – количество точек исследуемого сечения, в которых проводились измерения,  
 $h_{ij}$  – высота сошлифованного материала в исследуемом сечении, определяемая как разность показаний индикатора в точке измерения и базовой поверхностью.

В качестве оценки дисперсии  $S_h^2$  использовали взвешенное среднее эмпирических дисперсий:

$$S_h^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_{h_i}^2.$$

95%-ные доверительные интервалы на высоту сошлифованного материала определяли по известным зависимостям:

$$\bar{h} - t_{\alpha} S_h \leq h \leq \bar{h} + t_{\alpha} S_h,$$

где  $t_{\alpha}$  – значение критерия Стьюдента при уровне значимости  $\alpha=0,05$ ;

$\bar{h}$  – среднее значение высоты сошлифованного материала.

Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Влияние количества врезаний и скорости стола на фактическую глубину врезного шлифования  $t_{\phi}$  образцов из стали Р6М5Ф3 кругом 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125-4-М2-01 с вертикальной подачей  $t_n = 0,015$  мм/ход

Скорость стола, м/мин	Номера ходов, для которых определялась $t_{\phi}$	Высота слоя сошлифованного материала за два хода, мкм			
		Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Среднее значение
1	2	3	4	5	6
1,5	1 – 2	6,00	5,80	4,83	5,54 ± 0,49
	3 – 4	14,02	13,81	18,24	15,36 ± 0,52
	5 – 6	22,01	20,00	23,51	21,84 ± 0,61
	7 – 8	26,00	23,16	24,42	24,53 ± 0,48
	9 – 10	31,02	28,98	30,00	30,00 ± 0,59
3	1 – 2	16,65	15,53	16,05	16,08 ± 0,60
	3 – 4	19,42	17,50	20,11	19,01 ± 0,61
	5 – 6	26,87	22,82	25,42	25,04 ± 0,62
	7 – 8	29,37	29,80	30,83	30,00 ± 0,49

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6
6	1 – 2	15,92	17,01	16,00	$16,31 \pm 0,59$
	3 – 4	25,62	25,00	24,14	$24,92 \pm 0,64$
	5 – 6	27,13	26,00	28,00	$27,04 \pm 0,61$
	7 – 8	30,80	29,11	30,09	$30,00 \pm 0,60$

Анализ полученных результатов показывает, что при врезном шлифовании высота слоя удаленного материала равна величине вертикальной подачи лишь после нескольких ходов, что связано с выбором зазоров в шпиндельном узле. Причем, для  $v_{cm}=1,5$  м/мин величина съема металла равна величине вертикальной подачи на 9 – 10 ходу, для  $v_{cm}=3$  м/мин – на 7 – 8 ходу, для  $v_{cm}=6$  м/мин – на 7 – 8 ходу. При этом с увеличением продольной скорости стола наблюдается уменьшение количества ходов, при которых  $t_n = t_{\phi}$ . Это обусловлено тем, что с увеличением радиальной составляющей силы резания  $P_y$ , вызванным увеличением  $v_{cm}$ , происходит смещение шпиндельного узла на большую величину. Таким образом, при проведении исследований параметры шероховатости измеряли после восьми ходов.

Параметры шероховатости оценивали методом профилографирования обработанной поверхности на профилометре-профилографе модели 201. Запись профилограммы осуществлялась на ПК при помощи специально разработанного устройства, позволяющего производить запись с постоянной линейной скоростью движения исследуемой поверхности (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид комплекса для записи профилограммы обработанной поверхности на ПЭВМ

Профилограф-профилометр модели 201 в его комплектности обладает тем недостатком, что запись профилограмм производится на профилографическую бумагу, обработка профилограмм производится вручную и отличается высокой трудоемкостью. Запись профилограммы на ПК позволяет автоматизировать процесс обработки участков профилограммы базовой длины с целью определения параметров шероховатости при помощи разработанной нами программы.

Для экспериментального определения параметров шероховатости шлифованной поверхности образцы из быстрорежущей стали Р6М5Ф3 обрабатывали на модернизированном для алмазно-электроэрозионной правки плоскошлифовальном станке 3Д711Ф11 кругом 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125-4-М2-01. Перед проведением эксперимента шлифовальный круг правили электроэрозионным способом в течение 10 мин на медном электроде на следующих режимах: скорость круга 30 м/с, скорость стола равна нулю, вертикальная подача 0,002...0,007 мм/ход, поперечная подача – ручная, средняя сила тока 5...8 А, напряжение холостого хода 50 В. Известно, что характеристики рельефа стабилизируются после 15 – 30 мин шлифования [3], поэтому перед проведением эксперимента круг прирабатывали в течение 20 мин на режимах:  $v_k = 30$  м/с,  $v_{cm} = 6$  м/мин,  $t_n = 0,015$  мм. Параметры радиальных колебаний круга: частота  $f = 37$  Гц, амплитуда  $A = 0,9$  мкм. Параметры шероховатости измеряли после нескольких проходов, в результате которых были выбраны зазоры в шпиндельном узле станка, и фактическая глубина шлифования составляла 0,013 – 0,015 мм при подаче на врезание 0,015 мм. Дальнейшую обработку проводили врезным шлифованием за один проход.

Шероховатость обработанной поверхности оценивали наибольшей высотой неровностей профиля  $R_{max}$ , высотой неровностей профиля по десяти точкам  $R_z$ , средним арифметическим отклонением профиля  $R_a$ , опорной длиной профиля  $\eta_{50}$  на уровне 50 %  $R_{max}$ , относительной опорной длиной профиля  $t_{50}$  и средним шагом неровностей профиля по вершинам  $s$ . Параметры шероховатости определяли с помощью профилометра-профилографа модели 201, включенного в регистрирующий блок, состоящий из ПЭВМ, оснащенной аналогово-цифровым преобразователем и дисплеем. Обработку записанных профилограмм осуществляли по методике ГОСТ 27964-88 [4].

Результаты определения параметров шлифованной поверхности экспериментальным и расчетным путем (табл. 2) позволяют дать количественную оценку соответствия теоретических расчетов практике шлифования. Расчет параметров шероховатости выполнен по разработанной нами методике, учитывающей влияние радиальных колебаний РПК, обусловленных колебанием оси вращения шпинделя со шлифовальным кругом [5].

Таблица 2. Значения параметров шероховатости шлифованной поверхности при плоском алмазном шлифовании стали Р6М5Ф3 кругом 1А1 250×16×75×5 АС6 160/125-4-М2-01 ( $v_k = 30$  м/с,  $v_{cm} = 6$  м/мин,  $t_n = 0,015$  мм,  $f = 37$  Гц,  $A = 0,9$  мкм)

Параметры шероховатости	Значения параметров	
	Расчетные	Экспериментальные с 95% доверительным интервалом
$R_{max}$ , мкм	7,29	5,83±1,89
$R_z$ , мкм	5,72	4,76±1,09
$R_a$ , мкм	1,14	1,01±0,20
$\eta_{50}$ , мм	0,68	0,60±0,17
$t_{50}$ , %	85,60	74,73±20,76
$s$ , мкм	10,23	11,17±1,18

Как видно из приведенных данных, параметры шероховатости, полученные расчетным путем, находятся в пределах 95%-го доверительного интервала на экспериментальные величины.

### **Выводы**

1. Установлено, что при врезном шлифовании толщина слоя сошлифованного материала равна величине вертикальной подачи после восьмого и десятого ходов в зависимости от скорости шлифования, в связи с чем измерять параметры шероховатости обработанной поверхности при  $v_{cm}=6$  м/мин необходимо на девятом ходу.

2. Разработано и изготовлено устройство, позволяющее производить запись профилограммы исследуемой поверхности обработанного образца на ПЭВМ.

3. Разработана программа для определения на ПЭВМ параметров шероховатости поверхности в пределах базовой длины.

4. Полученные результаты говорят об удовлетворительном совпадении расчетных и экспериментальных данных по определению параметров шероховатости шлифованной поверхности.

### **Список литературы**

1. Шероховатость поверхности. Термины и определения: ГОСТ 25142-82 (СТ СЭВ 1156-78). – [Введен с 1983-01-01] – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 20 с.

2. Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Параметри структурних елементів (ISO 12085: 1996, IDT): ДСТУ ISO 12085-2001. – [Чинний від 2003-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2002. – 16 с.

3. Матюха П.Г. Високопродуктивне шліфування ванадієвих штампових та інструментальних сталей / П.Г. Матюха. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – 222 с.

4. Измерение параметров шероховатости. Термины и определения: ГОСТ 27964-88 (СТ СЭВ 6134-87, ИСО 4287/2-84). – [Введен с 1990-01-01]– М.: Изд-во стандартов, 1989. – 120 с.

5. Азарова Н.В. Расчет параметров шероховатости шлифованной поверхности с учетом радиальных колебаний рабочей поверхности круга / Н.В. Азарова, П.Г. Матюха // Сверхтвердые материалы. – 2006. – № 3. – С. 52-61.

**Азарова Н.В.**

**Цокур В.П.**

Донецький національний технічний університет

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ШЛІФОВАНОЇ ПОВЕРХНІ**

Запропоновано методику експериментального визначення параметрів шорсткості шліфованої поверхні. Запис та обробка профілограм на ПЕВМ дозволяє значно знизити трудомісткість досліджень.

**Azarova N.V.**

**Tsokyr V.P.**

Donetsk National Technical University

### **DETERMINATION OF PARAMETERS OF ROUGHNESS OF THE GRINDED SURFACE**

The method of determination of parameters of roughness of the machined surface is developed. Recording and handling of profilograms by PC has allowed considerably reduce laboriousness of research.