

УДК 621.19

В.И. Курдюков, А.К. Остапчук, Д.А. Маслов, В.Е. Овсянников, Е.Ю. Рогов

## ВЫЯВЛЕНИЕ ФАКТОРОВ ЗНАЧИМО ВЛИЯЮЩИХ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**Введение.** Установлено, что на образование шероховатости поверхности в процессе обработки оказывает влияние значительное число технологических факторов. Основными среди них являются: скорость резания, подача инструмента, глубина резания, геометрия инструмента (главный угол в плане, передний угол и т.д.), износ инструмента, материал детали и инструментальный материал. В технической литературе отмечается, что данные факторы влияют на шероховатость в разной степени – одни сильнее, другие слабее, однако значимость влияния тех или иных факторов в литературе освещена слабо [1,2].

Для эффективного управления процессом обработки, необходимо иметь четкое представление о влиянии тех или иных факторов на величину шероховатости поверхности. Важность этой про-

блемы значительно возрастает вместе с общим развитием всего машиностроительного производства, т.к. одной из основных тенденций этого развития является непрерывное повышение требований к качеству выпускаемой продукции, а обеспечение требуемой величины шероховатости поверхности во многом позволяет обеспечить требуемые эксплуатационные характеристики изделий, что в свою очередь влияет и на качество продукции в целом.

**Постановка задачи.** Главной задачей работы является выявление факторов, которые оказывают значимое влияние на величину шероховатости поверхности.

**Основные результаты работы.** В работе проводилось исследование значимости влияния технологических факторов на величину шероховатости поверхности.

Таблица 1. Уровни варьирования факторов

Фактор	Скорость резания V, м/мин	Подача S, мм/об	Глубина t, мм	Угол в плане, φ	Износ инструмента u, мм	Радиус при вершине r, мм	Материал инструмента	Твердость обраб. материала, НВ
Кодовое обозначение	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>
Верх. уров. +	250	0.21	0.3	90	0.5	3	T15K6	450
Нижн. уров. -	150	0.07	0.08	30	0	0.5	ВК8	150

Таблица 2. Матрица планирования отсеивающего эксперимента

№ опыта	Фактор							Шероховатость поверхности	
	V	S	t	φ	u	r	Матер. инстр.		
1	+	+	-	-	+	-	+	-	1.9
2	+	+	+	+	-	+	+	-	6.58
3	-	+	-	-	+	+	-	+	0.9
4	-	-	+	+	+	-	-	+	4
5	+	-	+	-	-	+	-	-	5.51
6	+	-	+	-	+	+	-	-	0.7
7	-	-	-	-	-	+	-	+	1.9
8	-	+	-	+	-	-	+	+	20
9	+	-	-	-	-	+	-	+	1.45
10	-	+	+	+	-	+	-	-	5.75
11	+	-	+	-	-	-	+	-	1.1

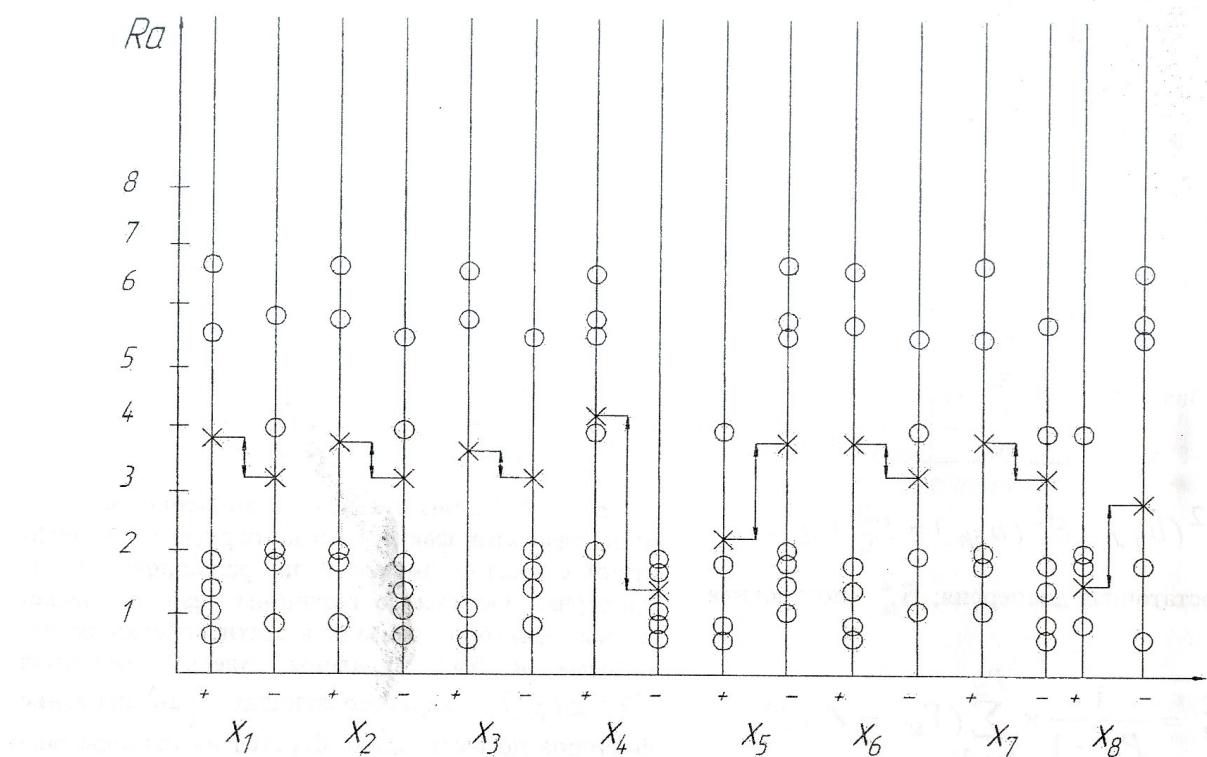


Рис.1. Диаграмма рассеяния

ватости поверхности при чистовой токарной обработке. Для решения поставленной задачи были проведены отсеивающие эксперименты, которые основаны на методе сверхнасыщенных планов [3-6]. Предполагалось, что число факторов, влияющих на процесс обработки и в конечном итоге на выходные параметры шероховатости поверхности  $X$  и их парных взаимодействий  $x_j \times x_h$  меньше, чем число коэффициентов регрессионной модели:

$$Y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j \times x_j + \sum_{j=1}^k b_j \times h \times x_j \times x_h, h \neq j$$

Перед построением матрицы отсеивающих экспериментов были назначены уровни варьирования факторов (табл. 1). Здесь фактор  $X_7$  задан качественно. Сделано это потому, что отразить весь комплекс свойств, которые присущи конкретной марке твердосплава количественно достаточно сложно. Для характеристики износа инструмента (фактор  $X_5$ ) в работе используется ширина фаски износа резца по задней поверхности.

Матрица планирования отсеивающих экспериментов и результаты эксперимента представлены в табл. 2. Обработка результатов согласно сверхнасыщенному плану экспериментов проводилась при помощи диаграммы рассеяния значений отклика для отдельных эффектов [4-6]. На рис. 1 приведена диаграмма рассеяния значений отклика по уровням 8 факторов.

Для приближенной количественной оценки влияния выделенных факторов строились вспомогательные таблицы с  $n$  входами. Вспомогательная таблица представляет собой матрицу полного

факторного эксперимента. В качестве условного отклика в этой таблице вычисляются [6,7]:

$$\overline{Z_u} = \frac{1}{P_u} \sum_{v=1}^{P_u} Y_{uv},$$

где  $\bar{Z}_u$  - условный отклик для  $n$ -й строки вспомогательной таблицы;  $P_u$  - частота значений исходного отклика, приходящаяся на  $u$ -ю строку вспомогательной таблицы.

Коэффициенты регрессии приближенной модели для выделенных факторов определялись по формулам [6,7]:

$$b_j = \frac{1}{q} \times \sum_{u=1}^q (x_j \times \bar{Z})_u;$$

$$b_{jn} = \frac{1}{q} \times \sum_{u=1}^q (x_j \times x_n \times \bar{Z})_u,$$

где  $q$  – количество строк вспомогательной таблицы.

Для проверки значимости полученных приближенных коэффициентов регрессии определялась дисперсия адекватности [6,7]:

$$S_0^2 = \frac{\sum_{u=1}^q S_u^2 (P_u - 1)}{\sum_{u=1}^q (P_u - 1)} \sum_{u=1}^q \frac{1}{P_u},$$

Таблица 3. Результаты отсеивания факторов

Фактор	Критерий Стьюдента		$P(t \geq t_K)$
	Табличный	Расчетный	
$X_1$	1.47	1.44	0.2
$X_2$	2.57	2.5	0.05
$X_3$	-	-	-
$X_4$	4.03	5.3	0.01
$X_5$	1.15	-1.08	0.3
$X_6$	1.47	1.55	0.2
$X_7$	-	-	-
$X_8$	0.408	0.35	0.3

$$S^2(b_j) = S^2(b_{jh}) = S_0^2 / q^2,$$

где  $S_0^2$  - остаточная дисперсия;  $S_u^2$  - построчная дисперсия.

$$S_u^2 = \frac{1}{P_u - 1} \times \sum_{v=1}^{P_u} (Y_{uv} - Z_u)^2$$

Наблюдаемые значения критерия Стьюдента [6,7]:

$$t_M = \left| \frac{b_{jh}}{S(b_{kh})} \right|$$

Наблюдаемое значение критерия Стьюдента сравнивается с критическим значением данного критерия. Критические значения критерия  $t_K$  определялись по таблицам [7]. Исходными данными для выбора критических значений критерия Стьюдента являются доверительная вероятность, равная  $P_u=0.99$  для нашего случая и условное число опытов, определяемое по формуле:

$$m_u = \sum_{u=1}^q P_u - q + 1,$$

При  $t_M > t_k$  коэффициент регрессии и соответствующий ему эффект является статистически значимыми.

В табл. 3 даны статистически значимые величины эффектов факторов и их парных взаимодействий с учетом знаков и их ранжировки по  $t$ -критерию. Остальные величины значений выделенных факторов оказались статистически незначимыми и были удалены. Здесь величина  $P(t \geq t_K)$ , характеризующая ранжирование факторов по  $t$ -критерию, берется из таблицы распределение вероятностей [7, приложение 5].

### Заключение

В результате математической обработки полученных данных отсеивающего эксперимента, основанного на методе случайного баланса, были выделены факторы, которые существенно влияют на величину шероховатости поверхности при точечной обработке. Факторы эти следующие: подача  $S$ , износ инструмента  $u$ , скорость резания  $V$ . Статистически незначимыми оказались следующие факторы: глубина резания  $t$ , главный угол в плане резца  $\varphi$ , материал детали, инструментальный материал и радиус при вершине резца. Полученные результаты хорошо объясняются с точки зрения классической теории резания [2,6]: такие результаты получились т.к. радиус при вершине резца значительно превосходит величину подачи и глубину резания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елизаветин М.А., Самель Э.А. Технологические способы повышения долговечности машин. М., «Машиностроение», 1969. – 400 с.
2. Исаев А.И. Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием. – М. Машгиз, 1950. – 354 с.
3. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. – М.: Металлургия, 1989. – 279 с.
4. Остапчук А.К. Автоматическое обеспечение шероховатости поверхности при чистовой обработке в условиях ГПС и отдельных технологических модулях с ЧПУ. Дис. ... канд. техн. наук. Курган, 1988. – 127 с
5. Спиридонов А.А., Васильев Н.Г. Планирование эксперимента при исследовании и оптимизации технологических процессов: Учебное пособие. – Свердловск: УПИ, 1975. – 140 с.

6. Ящерицын П.И., Махаринский Е.И. Планирование эксперимента в машиностроении. – Минск: Вышешшая школа, 1985. – 286 с.

7. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. М., Машиностроение, 1972. – 216 с.

□ Авторы статьи:

Курдюков  
Владимир  
Ильич  
-докт.техн.наук,  
проф каф. "Метал-  
лорежущие станки и  
инструмент"  
(Курганский гос.  
университет) Тел. 8-  
(3522) 53-33-77

Остапчук  
Александр  
Константинович  
- канд. техн.наук,  
доц. каф. "Техноло-  
гия машинострое-  
ния" (Курганский  
гос. университет)  
[ostapchuk\\_ss@mail.ru](mailto:ostapchuk_ss@mail.ru)

Овсянников  
Виктор  
Евгеньевич  
- асп. каф. "Техноло-  
гия машинострое-  
ния" (Курганский  
гос. университет)  
Тел. 8-(3522) 53-36-  
76

Рогов  
Евгений  
Юрьевич  
- асп. каф. "Техноло-  
гия машинострое-  
ния" (Курганский  
гос. университет).  
e-mail:  
[rogov@kgsu.ru](mailto:rogov@kgsu.ru); [evgen@yandex.ru](mailto:evgen@yandex.ru)

Маслов  
Денис  
Александрович  
-старший преп. каф.  
"Технология маши-  
ностроения" (Кур-  
ганский гос. универ-  
ситет)  
Тел. 8-(3522) 53-36-  
76