

И.А. ТЕР-АЗАРЬЕВ, Г.Б. БАГДАСАРЯН, Г.И. ТЕР-АЗАРЯН

## ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

Приведены данные по шероховатости обработанной поверхности жаропрочной стали ЖСЗ резцами из ТТ7К12В. Опыты проведены с учетом взаимодействия одиннадцати влияющих факторов при их варьировании на двух уровнях и среднего значения  $R_z=2.5$  мкм. Получено общее уравнение шероховатости, проведена оптимизация, выявлены наиболее оптимальные значения всех влияющих факторов.

**Ключевые слова:** шероховатость, износостойкость, геометрические параметры, оптимальные значения.

Как известно, важнейшими эксплуатационными показателями машин и механизмов являются износостойкость, контактная жесткость, усталостная прочность, коррозионная стойкость, герметичность соединений и т.д. Эти показатели определяются в основном геометрическими параметрами и физико-механическими свойствами сопрягаемых поверхностей.

Из геометрических параметров следует выделить шероховатость обработанной поверхности. В качестве критерия оценки шероховатости поверхности принято значение  $R_z$ , учитывая, что обработка производится резцовым инструментом, оснащенным пластинкой марки ТТ7К12В.

Целью настоящего исследования является установление влияния режимов резания, геометрических параметров инструмента, свойств обрабатываемого слоя ( $\sigma_{\text{н}}$ ) на высоту неровностей  $R_z$  при обработке жаропрочной стали марки ЖСЗ. Опыты проводились на токарном станке марки 16К20. В качестве влияющих факторов выбраны следующие параметры:  $V, S, l, \gamma, \varphi, \alpha, \alpha_1, \varphi_1, \Gamma, \rho, \sigma_{\text{н}}$ .

Для решения поставленной задачи выбрана 1/128 реплики от полного факторного эксперимента типа  $2^{11}$ . При этом можно ограничиться всего 16 опытами вместо 2048. Используя вариант построения матрицы, когда она задается только парными и тройными взаимодействиями, можно получить следующие соотношения:

$$\begin{aligned} X_5 &\equiv X_1 X_2, & X_6 &\equiv X_1 X_3, & X_7 &\equiv X_2 X_3, & X_8 &\equiv X_2 X_4, \\ X_9 &\equiv X_1 X_4, & X_{10} &\equiv X_3 X_4, & X_{11} &\equiv X_1 X_2 X_3, \end{aligned} \quad (1)$$

В табл. 1 приведены кодовые обозначения и уровни варьирования факторов [1].

Таблица 1

Кодовое обозначение факторов и уровни их варьирования

Уровни варьирования факторов	Факторы и их обозначения										
	X <sub>1</sub> (V)	X <sub>2</sub> (S)	X <sub>3</sub> (t)	X <sub>4</sub> (σ <sub>н</sub> )	X <sub>5</sub> (γ)	X <sub>6</sub> (φ)	X <sub>7</sub> (r)	X <sub>8</sub> (ρ)	X <sub>9</sub> (α)	X <sub>10</sub> (φ <sub>1</sub> )	X <sub>11</sub> (α <sub>1</sub> )
Верхний +1	120	0,28	1,75	1000	15	60	1,0	0,3	9	15	9
Средний 0	67,5	0,2	1,0	875	10	45	0,55	0,2	6	10	6
Нижний -1	15	0,12	0,25	750	5	30	0,1	0,1	3	5	3

В табл. 2 приводится матрица планирования экспериментов и результаты 16 опытов (с регистрацией величины R<sub>z</sub>) при резании жаропрочной стали ЖСЗ.

Таблица 2

Матрица планирования экспериментов и результаты опытов

№ опыта	X <sub>0</sub>	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>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	R <sub>z</sub> , мкм	y = ln R <sub>z</sub>
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	2,5	0,92
2	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	3,1	1,13
3	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	12,1	3,04
4	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	11	2,38
5	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	9,6	2,26
6	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	4,3	1,46
7	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	3,3	1,18
8	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	1,2	0,18
9	+	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+	0,7	-0,38
10	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	0,87	-0,14
11	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	5,8	1,76
12	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	8,2	2,1
13	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	14	2,64
14	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	6,3	1,84
15	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	4,8	1,57
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4,7	1,55

В качестве модели выбранного плана принято уравнение регрессии в следующем общем виде:

$$y = \ln R_z = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_4 X_4 + B_5 X_5 + B_6 X_6 + B_7 X_7 + B_8 X_8 + B_9 X_9 + B_{10} X_{10} + B_{11} X_{11} \quad (2)$$

Коэффициенты регрессии определены, исходя из обобщающего контраста на основании [1]. Подставив значения коэффициентов регрессии и полиномов в (2), при помощи преобразования [3] получим

$$R_z = \frac{101 \varphi^{0,37} t^{0,12} S^{0,53} \alpha^{0,75} \alpha_1^{0,23} \rho^{0,52} \varphi_1^{0,15}}{V^{0,15} \gamma^{0,31} r^{0,62} \sigma_n^{0,72}} \quad (3)$$

Завершающим этапом для данной задачи является расчет дисперсии по [2]. Обнаружено, что модель адекватна при  $\alpha_0 = 0,05$  дисперсии, и гипотеза адекватности выбранной модели при 5%-ном уровне значимости не отвергается.

Полученная зависимость (3) в достаточной степени отражает количественную связь между шероховатостью обработанной поверхности и различными условиями резания, хотя более подробно не рассмотрена и не выявлена суть происходящих физических явлений в поверхностном слое при обработке, так как этот вопрос достаточно подробно описан в [2].

Фактически полученная зависимость (3) – это статистическая модель, выявленная, как изложено выше, специально поставленным факторным планированием экспериментов. При этом отметим, что обычно это не требует больших затрат времени.

Как видно, полученная модель проста, не противоречит, в принципе, имеющимся данным, более точна, так как в ней учтены совместные взаимодействия, и может быть использована для практических расчетов и выявления оптимальных условий резания, например, с помощью ЭВМ.

Как явствует из (3), характер (но не интенсивность) влияния того или иного из выбранных факторов (входных параметров) на величину  $R_z$  мало отличается от известных зависимостей, установленных при однофакторном исследовании шероховатости поверхности [3].

Для определения оптимальных значений параметров резания принят метод линейного программирования, при котором в качестве целевой функции принимается величина  $R_z$ .

Методом линейного программирования составляется система неравенств, которая решается на ЭВМ:

$$\begin{aligned} y = & 4,61 - 0,15 \ln V + 0,53 \ln S + 0,12 \ln t - 0,31 \ln \gamma + \\ & + 0,37 \ln \varphi + 0,75 \ln \alpha - 0,23 \ln \alpha_1 + 0,52 \ln \rho + 0,15 \ln \alpha - \\ & - 0,62 \ln r - 0,72 \ln \sigma_n = \ln 2,0, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\ln V \geq \ln 15, \ln V \leq \ln 120, \ln S \geq \ln 0,12, \ln S \leq \ln 0,28, \ln t \geq \ln 0,25,$$

$$\ln t \leq \ln 1,75, \ln \gamma \geq \ln 5, \ln \gamma \leq \ln 15, \ln \varphi \geq \ln 30, \ln \varphi \leq \ln 60,$$

$$\ln \alpha \geq \ln 3, \ln \alpha \leq \ln 9, \ln \alpha_1 \geq \ln 3, \ln \alpha_1 \leq \ln 9, \ln \rho \geq \ln 0,1,$$

$$\ln \rho \leq \ln 0,3, \ln \varphi_1 \geq \ln 5, \ln \varphi_1 \leq \ln 15, \ln r \geq \ln 0,1,$$

$$\ln r \leq \ln 1,0, \ln \sigma_n \geq \ln 750, \ln \sigma_n \leq \ln 1000.$$

[3] Решение (4) дает следующие оптимальные значения параметров

$V=79$  м/мин,  $S=0,12$  мм/об,  $t=1$  мм,  $\gamma=10^\circ$ ,  $\varphi=60^\circ$ ,  
 $\varphi_1=10^\circ$ ,  $\alpha=\alpha_1=6^\circ$ ,  $r=0,5$  мм,  $\rho=0,1$  мм,  $\sigma_0=1000$  МПа.

Необходимо отметить [1], что предварительный нагрев обрабатываемого изделия в пределах  $\theta = 600 \dots 680^\circ$  улучшает условия обработки.

Учитывая вышеизложенное, были проведены дополнительные опыты и доказано, что степень влияния  $\theta$  равна 0,2 в указанных пределах его изменения. При внесении в знаменатель (3) величины  $\theta^{0,2}$  коэффициент в числителе изменяется с 101 на 97.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания – М. Машиностроение, 1976 – 277 с
2. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов – М. Машиностроение, 1980 – 305 с
3. Касьян М.В., Багдасарян Г.Б., Арутюнян Г.А. Оптимизация режимов резания при решении технологических задач – Ереван: Айастан, 1981 – 183 с

ГИУА. Материал поступил в редакцию 26.01.1999.

### Ի.Ա. ՏԵՐ-ԱԶԱՐՅԵՎ, Շ.Բ. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ, Գ.Ի. ՏԵՐ-ԱԶԱՐՅԱՆ ՍԱՇԵՐԵԻՈՒՄԻ ԱՆՇԱՐԹՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ՝ ԿՏՐՈՂ ԳՈՐԾԻՋՈՎ ՇՐԱՎԱՅՈՒՆ ՊՈՂՊԱՏ ՄՇԱՎԵԼԻՍ

Մերված են աղյուցներ TT7K128 կտրծր համաձուլվածքի կարիչով ЖСЗ հրակայուն պողպատի մշակված մակերևույթի անհարթությունների վերաբերյալ: Փորձերը կատարվել են հաշվի առնելով տասնմեկ գործոնների փոխազդեցությունները, երբ վերջիններս հանդիս են գալիս երկու արժեքներով (մակարդակներով): Ստացվել է մշակված մակերևույթների անհարթությունների բնօրինակը հավասարում, կատարվել է լավարկում, պարզարանվել է յուրաքանչյուր գործոնի լավարկված արժեքի մեծությունը:

### I.A. TER-AZARYEV, G.B. BAGHDASSARYAN, G.I. TER-AZARYAN SURFACE ROUGHNESS IN PROCESSING HEAT-PROOF STEEL BY CUTTERS

Data on machined heat-proof steel surface roughness obtained by cutters TT7K12B are presented. The experiments are carried out according to interaction of eleven influencing factors in their variation on two levels and mean value  $R_z=2,5 \mu$ . The total roughness equation is obtained, the optimization is carried out, the most optimal values of all the influencing factors are revealed.