

УДК 621.91:001.891.5

UDC 621.91:001.891.5

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ПРОЦЕССА РАСКАТЫВАНИЯ ПРИ  
ОБРАБОТКЕ КОРПУСОВ  
ГИДРОЦИЛИНДРОВ**

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE  
TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE  
PROCESSES AT OF THE HYDRO CYLINDER  
FRAME PROCESSING OF THE ROLLER**

Твердохлебов Сергей Анатольевич  
К.т.н., доцент кафедры «Технология металлов»

Tverdokhlebov Sergey Anatolyevna  
Cand.Tech.Sci., assistant Professor of the metals technology department

*Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия*

*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

Федосеев Наталья Игоревна  
соискатель, старший преподаватель  
ФГОУ ВПО НФ БГТУ им. В.Г. Шухова, Россия

Fedoseenko Natalya Igorevna  
Competitor for degree, senior lecturer  
*STU of V.G.Shukhov, Russia*

Данная работа посвящена исследованию зависимости шероховатости поверхности тонкостенных цилиндров от технологических режимов обработки роликовой раскатной головкой. Исследование проводилось на станке 1К62, предварительная обработка – растачивание и развертывание

This work is devoted to the research of the thin-walled cylinders' surface roughness dependence upon the modes of processing by the roller head. The research was made on the machine 1K62, preliminary treatment – boring and unfolding

Ключевые слова: ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ, ВНУТРЕННЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ, ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА, ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ, ФАКТОР, ИНТЕРВАЛ ВАРЬИРОВАНИЯ

Keywords: PLASTIC DEFORMATION, INSIDE PRESSURE, EXPERIMENT PLANNING, SURFACE ROUGHNESS, FACTOR, VARIATION INTERVAL

Процессы поверхностного пластического деформирования (ППД), обеспечивают высокую точность размеров и чистоту поверхности, обладают рядом преимуществ перед различными методами абразивной обработки. Они значительно повышают твердость поверхностного слоя металла, создают в нем благоприятные напряжения сжатия и текстуру, при этом отсутствует шаржирование поверхности абразивными зёрнами [1,2].

Современная сельскохозяйственная и строительная техника оснащена большим количеством гидравлических цилиндров. Одной из главных деталей в них является корпус.

Для определения значимости факторов и их оптимального интервала исследования были проведены поисковые однофакторные эксперименты, в которых изучалось влияние режимов на получаемую шероховатость поверхности  $R_a$ , микротвердость поверхности  $H_{50}$  и изменение размера отверстия.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что наилучшие показатели качества получаются в выбранных интервалах технологических параметров, таблица 1.

В связи с тем, что при эксплуатации гидроцилиндров износ корпуса практически отсутствует, наиболее важным параметром является шероховатость поверхности, которая влияет на износ манжеты. Поэтому в качестве параметра оптимизации принята величина  $R_a$ .

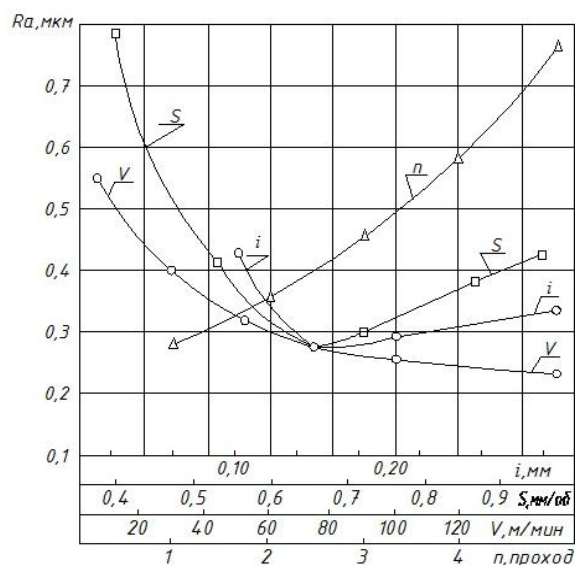
На основании поисковых экспериментов и технической характеристики станка 1К62 для дальнейших исследований были приняты следующие значения параметров технологического процесса:

- натяг 0,1, 0,15 и 0,2 мм;
- подача 0,52, 0,64 (самоподача) и 0,78 мм\об;
- скорость раскатывания 50, 75 и 100 м\мин;
- число проходов-1.

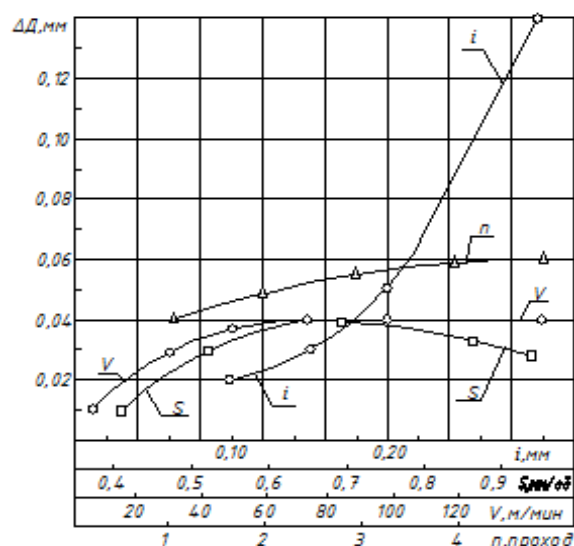
При рассмотрении факторов влияющих на изменение шероховатости поверхности, учитывали их влияние попарно, на параметр оптимизации

Результаты поисковых экспериментов представлены на рисунке 1.

а)



б)



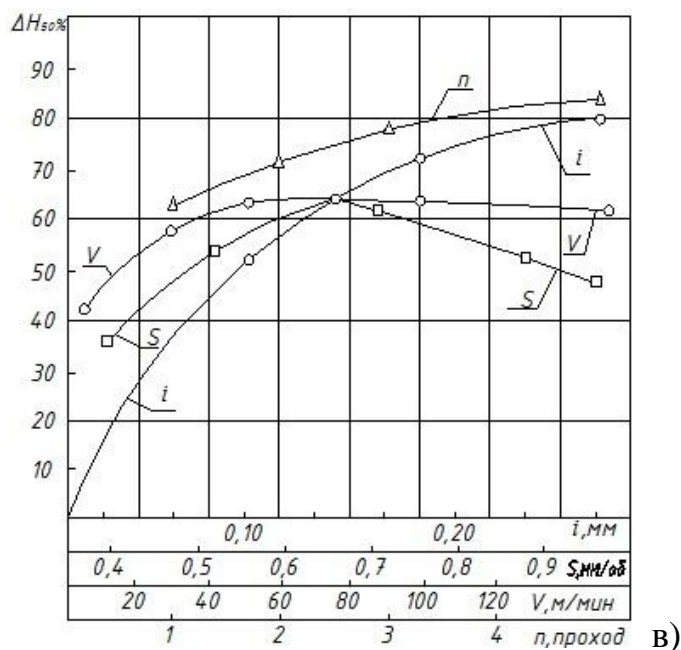


Рисунок 1 – Влияние технологических параметров на шероховатость обработанной поверхности  $Ra$ , (а), припуск под раскатывание  $\Delta D_1$  (б) и приращение поверхностной твердости  $\Delta H_{50}$  при обработке цилиндров роликовой раскаткой ( $V=100 \text{ м/мин}$ ,  $S=0,7 \text{ мм}$ ,  $i=0,15 \text{ мм}$ )

Анализ непрерывных, симметричных планов второго порядка показал, что максимальное значение определителя информационной матрицы достигается в том случае, когда моменты плана соответственно равны [3,4].

Для этого использовали симметричный композиционный план типа  $B_k$  (звездные точки которого равны  $\pm 1$ ). Изучали влияние трех факторов и фиксировали их значения на оптимальных уровнях. Факторы, интервалы и уровни варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы и интервалы их варьирования при обработке корпуса гидроцилиндра роликовой раскаткой

Факторы	Кодированные обозначения	Шаг варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Натяг $i$ , мм	$x_1$	0,05	0,1	0,15	0,2
Подача $S$ , м/об	$x_2$	0,13	0,52	0,64	0,78
Скорость резания $V$ , м/мин	$x_3$	25	50	75	100

Изменение параметров технологического процесса проводилось по разработанному плану случайных чисел и паспортным данным токарно-винторезного станка 1К62. Величину шероховатости определяли цеховым профилометром-профилографом «Абрис-ПМ7». Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 – План эксперимента

п/н опыта	Натяг, i	Подача, S	Скорость резания, V	Отклик Ra, мкм
	x1	x2	x3	
1	2	3	4	5
15	0	0	0	0,28
3	+	+	-	0,45
16	0	0	0	0,28
12	0	0	-	0,32
7	-	+	-	0,55
13	0	+	0	0,38
9	+	0	0	0,3
2	+	-	+	0,41
11	0	0	+	0,26
14	0	-	0	0,54
8	-	-	-	0,63
5	-	+	+	0,43
10	-	0	0	0,38
6	-	-	+	0,49
4	+	-	-	0,59
1	+	+	+	0,35

Планирование второго порядка заканчивается отысканием адекватного квадратичного уравнения типа [1, 2]

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

Часть членов, признанных статистически незначимыми, может в этом уравнении отсутствовать. Наша задача проанализировать полученную модель, т. е. определить характер изменения отклика в изучаемой области в зависимости от влияния факторов.

В нашем случае результатом математической обработки экспериментальных исследований, является уравнение регрессии второго порядка в кодированном виде

$$Y = 0,278 - 0,038x_1 - 0,05x_2 - 0,006x_3 - 0,007x_1x_2 - 0,0025x_1x_3 + 0,0125x_2x_3 + 0,0425x_1^2 + 0,1627x_2^2 - 0,075x_3^2 \quad (2)$$

Для удобства изучения влияния факторов на параметр оптимизации представим уравнение (2) в каноническом виде.

$$Y_s = 0,278 + 0,0425X_1^2 + 0,1627X_2^2 - 0,0752X_3^2 \quad (3)$$

или:

$$\frac{(X_1)^2}{\frac{Y - 0,278}{0,0425}} + \frac{(X_2)^2}{\frac{Y - 0,278}{0,1627}} + \frac{(X_3)^2}{\frac{Y - 0,278}{-0,0725}} = 1, \quad (4)$$

Для этого продифференцировали уравнение по каждой из переменных, приравняли производные к нулю, получили систему линейных уравнений, состоящую из трех уравнений.

Решением системы линейных уравнений являются новые координаты центра поверхности отклика  $x_1 = 0,46$ ,  $x_2 = 0,16$ ,  $x_3 = -0,03$  или в натуральном виде середины интервалов варьирования факторов, т.е. их оптимальные значения: величина натяга  $X_{10} = 0,17$  мм, подача  $X_{20} = 0,66$  м/об, скорость резания  $X_{30} = 74,1$  м/мин.

Подставили в исходное уравнение (2) значения  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ , и определили значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика, при этом получили его величину,  $Y_s = 0,28$  мкм, и угол поворота осей  $\alpha = 1,5^\circ$ .

Удобство формы (4) для анализа и оптимизации определяется тем, что все  $X$  в квадратах а, следовательно, и изменение значений отклика зависят только от знака коэффициента и не зависит от направления движения по оси  $x$  от центра  $s$ . В частности, отклик (критерий оптимизации) будет возрастать всегда, когда изменяется  $X$ , имеющий при себе коэффици-

ент  $B_i > 0$  и уменьшаться, когда у  $X$  стоит коэффициент  $B_i < 0$ .

В нашем случае при изучении влияния факторов  $X_1$  и  $X_2$  на критерий оптимизации (рисунок 2), каноническое уравнение регрессии имеет вид,

$$Y - 0,27 = 0,042 x_1^2 + 0,16 x_2^2, \quad (5)$$

Поверхность отклика является эллиптическим параболоидом. Оба коэффициента  $B_{11}$  и  $B_{22}$  имеют одинаковые знаки. Центр эллипсов является минимумом, т.к. коэффициенты положительные и эллипсы вытянуты по оси  $x_2$ .

В этом случае величина фактора  $x_1$  принятого интервала варьирования фактора сместится на 0,46 шага варьирования от центра плана и составит в натуральном виде 0,17 мм, а фактор  $x_2$  на 0,16 или 0,66 мм/об, при этом  $Y_s=0,28$  мкм., угол поворота осей координат от начального положения составляет  $\alpha=1,7^\circ$ .

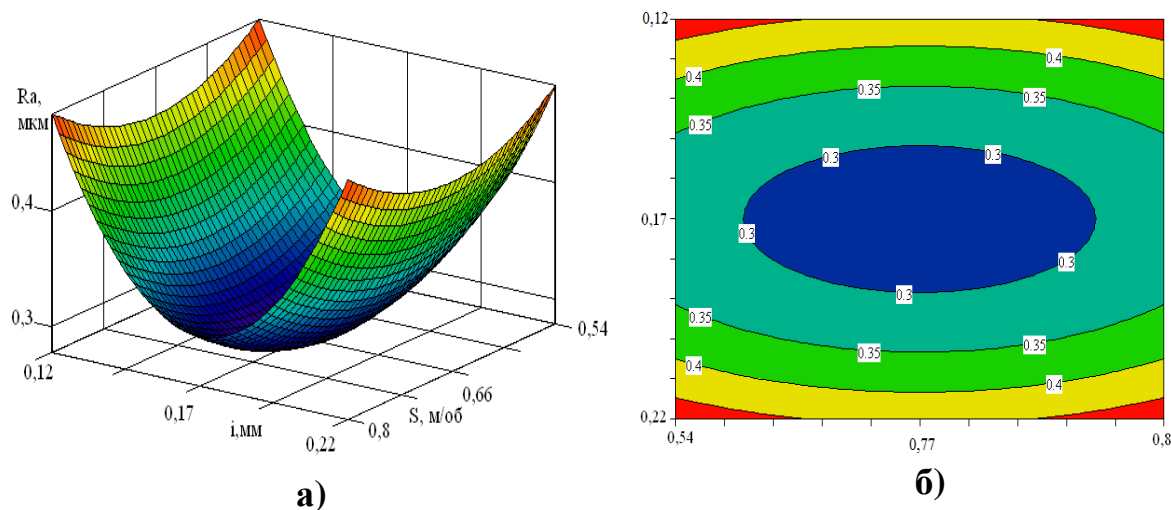


Рисунок 2 – Поверхность отклика влияния факторов  $X_1 X_2$  – а) и двумерное сечение – б)

Анализируя поверхность отклика можно сказать, что при изменении величины натяга вправо и влево от центра поверхности отклика, приводит к увеличению высоты шероховатости поверхности (0,27-0,47 мкм, что составляет 42,5%) на большую величину, чем при изменении подачи (0,41-

0,47мкм – 12,7%). Следовательно, натяг ( $x_1$ ) оказывает наибольшее влияние на образование шероховатости поверхности чем величина подачи ( $x_2$ ).

Для исследования влияния факторов  $X_1$  и  $X_3$  на критерий оптимизации, выполнили аналогичные преобразования получили уравнение регрессии (6) и поверхность зависимости отклика (рисунок 3), при этом  $x_1 = 0,44$ ;  $x_3 = - 0,04$ ;  $Y_s = 0,28$  мкм; а гол поворота осей  $\alpha = - 0,6^\circ$ .

$$Y - 0,28 = 0,04 x_1^2 - 0,075 x_3^2 \quad (5)$$

В этом случае коэффициенты  $B_{11}$  и  $B_{33}$  имеют разные знаки. Гиперболы вытянуты по оси  $B_{11}$ , которой соответствует меньшее по абсолютной величине значение коэффициента в каноническом уравнении. В этом случае значение отклика увеличивается от центра фигуры по этой оси и уменьшается – по оси коэффициента  $B_{33}$ . Центр поверхности отклика называется седлом или минимаксом, поверхность отклика – гиперболическим параболоидом.

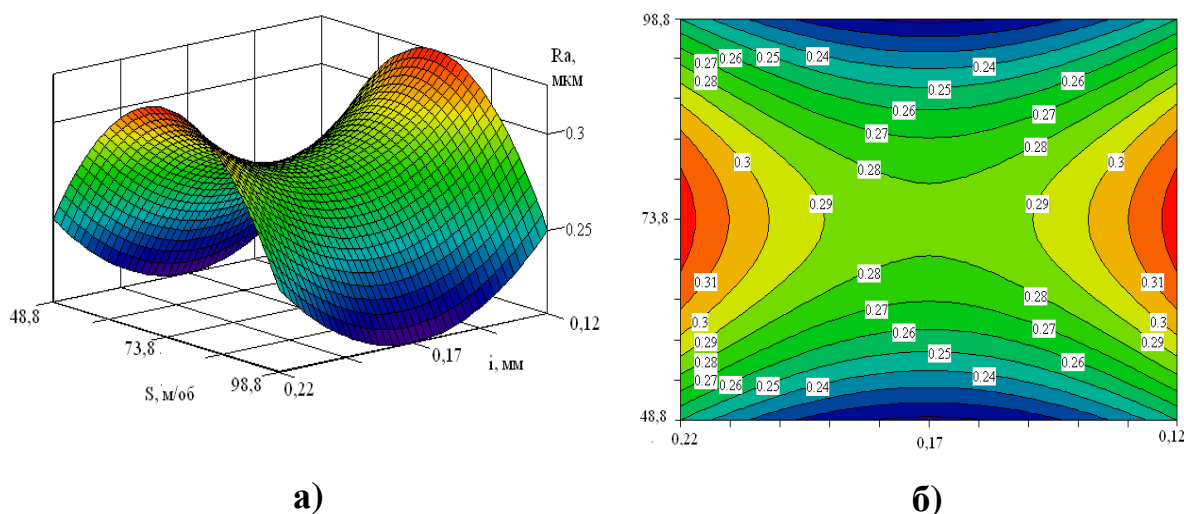


Рисунок 3 – Поверхность отклика  $X_1X_3$  и её двухмерное сечение

Анализ поверхности дает наглядное представление о том, что при изменении величины натяга вправо и влево от центра поверхности отклика, приводит к увеличению высоты шероховатости поверхности (0,15-0,25 мкм, что составляет 40%) на большую величину, чем при изменении скорости резания (0,25-0,33 мкм – 24,2%). Следовательно натяг ( $x_1$ ) оказывает

наибольшее влияние на образование шероховатости поверхности чем скорость резания ( $x_3$ ).

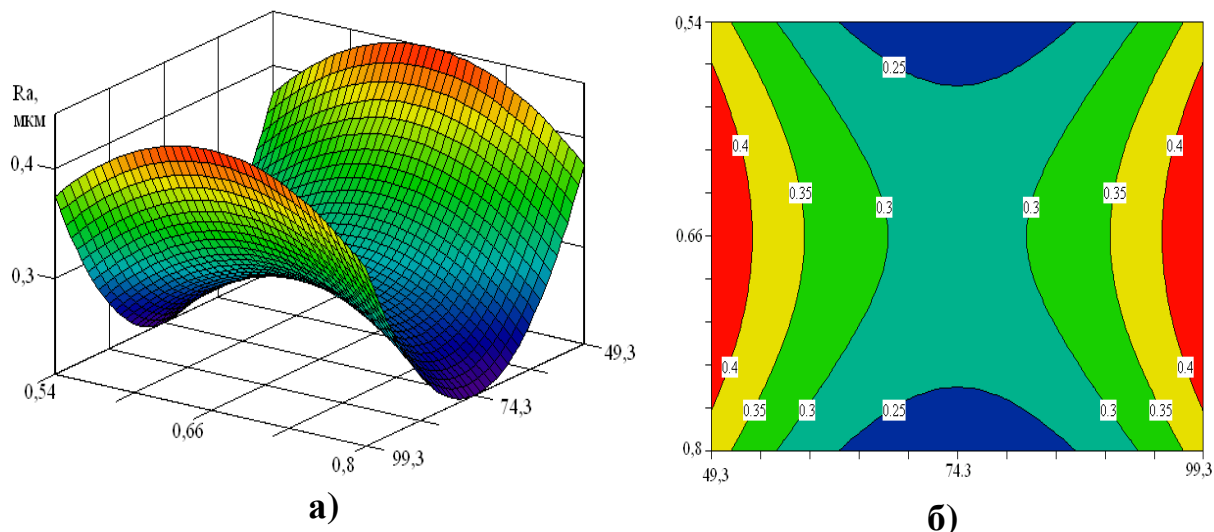


Рисунок 4 – Поверхность отклика  $X_2X_3$  и её двумерное сечение

Изучение влияния скорости резания и подачи на критерий оптимизации проведен аналогично, получили уравнение регрессии (6) и поверхность отклика рисунок 4, центр интервалов варьирования факторов сместился, получили в кодированном виде  $x_2=0,15$ ;  $x_3=-0,02$ ;  $Y_s=0,28$ , угол поворота осей координат  $\alpha=-0,6$ , коэффициенты регрессии  $B_{22} = 0,16$  и  $B_{33} = -0,07$ .

$$Y - 0,28 = 0,16 x_1^2 - 0,075 x_3^2, \quad (6)$$

В этом случае скорость резания оказывает наибольшее влияние на образование высоты неровностей профиля, чем подача.

Каноническое преобразование экспериментальной модели полученной применением симметричного композиционного плана типа  $B_k$  [3, 4] показало, что середины интервалов варьирования исследуемых факторов имеют новые значения в кодированном виде  $x_1 = 0,46$ ,  $x_2 = 0,16$ ,  $x_3 = -0,075$ , при этом высота неровности поверхности по  $Ra = 0,28$  мкм. В натуральном виде величины параметров оптимизации следующие:

– оптимальный натяг  $i = 0,17$  мм;



- оптимальная подача  $S = 0,66$  м/об;
- оптимальная скорость резания  $V = 74,1$  м/мин.

На основании проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

- 1) Наибольшее влияние на шероховатость поверхности в исследуемом диапазоне имеет величина натяга
- 2) Для получения наилучшей шероховатости целесообразно работать с самоподачей роликовой раскатки
- 3) Скорость раскатывания на шероховатость поверхности оказывает наименьшее влияние.

### **Литература**

1. Одинцов, Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. [Текст] / Л. Г. Одинцов – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
2. Папшев, Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием [Текст] / Д.Д. Папшев – М.: Машиностроение, 1978. – 152 с.
3. Адлер, В.А. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / В.А. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 221 с.
4. Цыбулевский, В.В. Оптимизация параметров и режимов работы машин методами планирования эксперимента [Текст] / Г.Г. Маслов, О.Н. Дидманидзе, В.В. Цыбулевский. – М.: ООО УМЦ «Триада», 2007. – 291 с.