

3. Петраков Ю.В. Моделирование процессов резания [Текст]: учебное пособие/ Ю.В. Петраков, О. И. Драчёв. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 240 с.

УДК 519.248:621.923.9

Гончар Н.В., канд. техн. наук, доцент  
 Степанов Д.Н., старший преподаватель  
 Мерлікова Ю. Р., магистр

Запорожский национальный технический университет, [gonchar@zntu.edu.ua](mailto:gonchar@zntu.edu.ua)

### ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПОЛИРОВАНИЯ ДИСКОВЫМИ ПОЛИМЕРНО-АБРАЗИВНЫМИ ЩЕТКАМИ

Общеизвестно, что применение полного факторного эксперимента  $2^k$  значительно уменьшает количество необходимых опытов. Однако высокие коэффициенты корреляции обеспечиваются при близком к линейному характеру изменении изучаемых факторов. При наличии промежуточных оптимумов коэффициент корреляции будет неоправданно низкий. И тогда необходимо применять полный факторный эксперимент  $3^k$ , а иногда стандартные однофакторные эксперименты, что не всегда выгодно или даже возможно. Для таких случаев можно применить так называемый центральный композиционный анализ, который с помощью нескольких дополнительных реплик в центральной точке и «звездных» точек за пределами крайних значений факторов дает возможность получения искомого оптимума.

Целью данной работы был статистический анализ режимов полирования полимерно-абразивными щетками (ПАЩ) с помощью центрального композиционного анализа.

ПАЩ – щеточный инструмент вращательного действия. Представляет собой установленные в ступице полимерно-абразивные волокна (основа которых полимер; по его объему равномерно распределены абразивные частицы определенной зернистости). Обрабатываемые образцы из стали 3 имели различное значение исходной шероховатости, поэтому результирующим показателем качества поверхности был коэффициент улучшения шероховатости, равный отношению значений  $Ra$  до и после полирования щетки:  $\varepsilon_{Ra} = Ra_{исх} / Ra_{пол}$ . Следовательно, чем больше значение  $\varepsilon_{Ra}$ , тем лучше качество полирования ПАЩ.

Изучаемыми переменными факторами были взяты продольная подача  $S=1...8$  м/мин и натяг  $i=1...3$  мм (величина, характеризующая степень прижатия щетки к обрабатываемой поверхности). Постоянные факторы: скорость обработки  $V=17$  м/с, количество двойных ходов  $N=5$  дв.х. и параметры инструмента: диаметр волокон  $d\phi=21$  мм, зернистость F180, материал абразива 63С.

Предварительно был проведен классический полный двухуровневый эксперимент для двух переменных  $i$  и  $S$  (табл. 1). Полученная модель, имеющая коэффициент корреляции  $R=1$ , при экспериментальной проверке контрольных точек показала низкую сходимость с расчетными значениями (ошибка превышала 40%). Поэтому для выполнения центрального компонентного анализа были добавлены 5 реплик в центральной точке и 4 «звездные» точки за пределами  $[-1; +1]$ , т.е. еще 9 опытов (табл. 2).

Таблица 1 – Исходные данные

№ опыта	Фактор 1		Фактор 2		$\varepsilon_{Ra}$
	X1	$i$ , мм	X2	$S$ , м/мин	
1	-1	1	-1	1	3,28
2	-1	1	+1	8	1,94
3	+1	3	-1	1	2,41
4	+1	3	+1	8	1,58

Таблиця 2 – Реплики и «звездные» точки

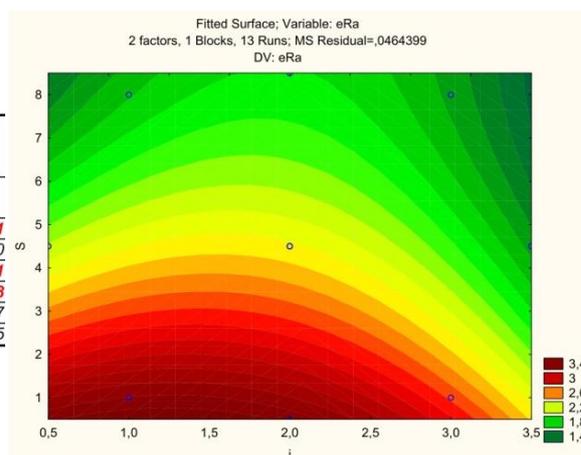
№ точек	Натяг $i$ , мм	Подача $S$ , мм	$\mathcal{E}_{Ra}$
1	реплики в центральной точке	2	2,27
2		2	2,33
3		2	2,35
4		2	2,24
5		2	2,41
1	«звездные» точки	0,5	1,96
2		3,5	1,73
3		2	3,62
4		2	1,58

Расчет проводили с помощью пакета «Statistica». Рассчитанные при дисперсном анализе коэффициенты регрессии полученной модели (рис. 1, а) показывают, что линейная составляющая  $i$  и квадратичная составляющая  $S$  имеют невысокое влияние на отклик системы. Однако при исключении их из модели точка максимума значительно смещается, поэтому модель была оставлена в полном виде (коэффициент корреляции  $R=0,92$ ):

$$\mathcal{E}_{Ra} = 3,372 + 0,5 \cdot i - 0,215 \cdot i^2 - 0,417 \cdot S + 0,017 \cdot S^2 + 0,036 \cdot i \cdot S \quad (1)$$

Полученная поверхность (рис. 1, б) подтверждает наличие оптимума и нелинейное изменение факторов. Экспериментальная проверка контрольных точек показала высокую сходимость с расчетными значениями. Был определен локальный максимум:  $i=1,27$  мм,  $S=0,5$  м/мин ( $\mathcal{E}_{Ra}=3,49$ ). Однако, окончательно рациональным значением подачи была принята  $S=1$  м/мин (на меньшей подаче без применения СОТС возможен перегрев щетки); этому значению соответствует  $i=1,23$  мм ( $\mathcal{E}_{Ra}=3,32$ ). Рациональную величину натяга  $i$  задаем диапазоном 1...1,5 мм для удобства настройки инструмента.

Regr. Coefficients; Var.: eRa; R-sqr=.92507; Adj.: 87156 (Ok_ish Ra.sta) 2 factors, 1 Blocks, 13 Runs; MS Residual=.0464399 DV: eRa						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(7)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	<b>3,372847</b>	<b>0,439404</b>	<b>7,67597</b>	<b>0,000119</b>	<b>2,333822</b>	<b>4,411871</b>
(1)i(L)	0,510212	0,334137	1,52696	0,170610	-0,279896	1,300320
i(Q)	<b>-0,214859</b>	<b>0,073736</b>	<b>-2,91389</b>	<b>0,022535</b>	<b>-0,389217</b>	<b>-0,040501</b>
(2)S(L)	<b>-0,417238</b>	<b>0,102832</b>	<b>-4,05746</b>	<b>0,004825</b>	<b>-0,660397</b>	<b>-0,174078</b>
S(Q)	0,016653	0,008756	1,90185	0,098936	-0,004052	0,037357
1L by 2L	0,036429	0,030786	1,18330	0,275315	-0,036368	0,109225



а) б)

Рис. 1 – Коэффициенты регрессии модели и поверхность отклика.

В результате проведенной работы было установлено, что, проведя центральный компонентный анализ, т.е. добавив к полному двухуровневому факторному эксперименту несколько дополнительных опытов, можно изучать факторы, изменяющиеся нелинейно, и получить математические модели с высоким коэффициентом корреляции. На примере такой статистической обработки результатов полирования стальных образцов полимерно-абразивными щетками были определены рациональные значения режимов обработки.