

Т.Р. Абляз, Е.С. Шлыков

T.R. Ablyaz, E.S. Shlykov

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОВОЛОЧНО-ВЫРЕЗНОЙ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПАКЕТИРОВАННЫХ ЗАГОТОВОК

REGRESSION ANALYSIS OF STACK WIRE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

Проведен регрессионный анализ процесса проволочно-вырезной электроэрозионной обработки пакетированных заготовок с целью выявления зависимостей между режимами резания, количеством заготовок, закрепленных в пакете, и коэффициентом съема материала.

Ключевые слова: проволочно-вырезная электроэрозионная обработка, электрод-инструмент, режимы резания, пакетированная обработка.

This paper presents regression analysis of stack wire-EDM in order to identify relationships between cutting conditions and the number of pieces contained in the package, and their influence on the material removal rate.

Keywords: wire electrical discharge machining, electrode tool, cutting conditions, stack cutting.

В условиях экономического кризиса машиностроительные предприятия находятся в состоянии конкурентной борьбы. Постоянно возрастают требования к точности и надежности изготовления годной продукции. Для увеличения конкурентоспособности предприятиям необходимо постоянное повышение производительности при снижении себестоимости изготавливаемых деталей.

Одним из способов повышения производительности является применение технологии проволочно-вырезной электроэрозионной обработки (ПВЭЭО) пакетированных заготовок. Процесс электроэрозионной обработки (ЭЭО) является бесконтактным методом обработки. Процесс резания осуществляется импульсом тока, проходящим между электродом-инструментом (ЭИ) и электродом-деталью (ЭД). Величина и стабильность импульса тока зависит от большинства параметров: времени включения и выключения импульсов, состояния рабочей жидкости, материала ЭД и ЭИ.

На практике подбор режима резания для обеспечения заданных размеров осуществляется методом предварительных резов. Предварительные резы позволяют оценить величину искрового зазора и внести соответствующую коррекцию при разработке управляющей программы. Данная методика приводит к существенным временным затратам, что неприемлемо в современном машиностроении [1, 2]. Создание математической модели, позволяющей оценить влияние режимов резания на точность обработки, является актуальной задачей.

В работе используется коэффициент съема материала P . Коэффициент съема материала – это вес материала, удаленного с заготовки в процессе резания. Зная зависимость между P и условиями резания, в процессе резания можно обеспечивать заданный искровой зазор.

В работе значение P определялось как разность между весом необработанной заготовки и весом вырезанной заготовки, с остатком после обработки. Для определения P проведен регрессионный анализ процесса ПВЭЭО паке-тированных заготовок.

В качестве ЭИ использовалась латунная проволока BercoCut диаметром 0,25 мм.

Эксперимент проводился на проволочно-вырезном электроэрозионном станке EсоCut. В качестве ЭД выбрана сталь 65Г.

Варьируемыми параметрами в эксперименте являются $T_{\text{он}}$ – время действия импульсов (мкс), $T_{\text{офф}}$ – время бездействия импульсов (мкс) и количество заготовок в пакете (шт.).

Зависимость веса от исследуемых факторов представлена уравнением регрессии степенного вида [3]:

$$P = CT_{\text{он}}^{\alpha} T_{\text{офф}}^{\beta} n^{\gamma}. \quad (1)$$

После логарифмирования уравнение приняло вид

$$\ln p = \ln C + \alpha \ln T_{\text{он}} + \beta \ln T_{\text{офф}} + \gamma \ln n.$$

Если результаты эксперимента выразить полиномом вида

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{23} x_2 x_3 + b_{13} x_1 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (2)$$

где $y = \ln p$, x_1 , x_2 , x_3 – кодированные значения факторов $T_{\text{он}}$, $T_{\text{офф}}$, n , то справедливость зависимости (1) можно установить проверкой адекватности линейной части полинома (2).

Принятые в исследовании уровни факторов и их кодовые обозначения указаны в табл. 1.

Таблица 1

Уровни факторов

Факторы	Кодовое обозначение	Натуральные уровни факторов, соответствующие закодированным		
		Верхний +1	Основной 0	Нижний –1
T_{on}	x_1	10	6	2
T_{off}	x_2	10	6	2
n	x_3	6	4	2

Кодированные значения параметров x_1 , x_2 , x_3 будут равны +1 на верхнем уровне, нулю на основном уровне и –1 на нижнем уровне при натуральных значениях факторов, указанных в табл. 1. Значения параметров будут определяться следующими зависимостями:

$$x_1 = \frac{2(\ln T_{on} - \ln 10)}{\ln 10 - \ln 2} + 1,$$

$$x_2 = \frac{2(\ln T_{off} - \ln 10)}{\ln 10 - \ln 2} + 1,$$

$$x_3 = \frac{2(\ln n - \ln 6)}{\ln 6 - \ln 2} + 1.$$

Для оценки уравнения (2) проведен полный факторный эксперимент вида 2^3 .

Матрица планирования и результаты опытов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Матрица планирования

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y
1	+	–	–	–	+	+	+	–	0,220
2	+	+	–	–	–	–	+	+	0,205
3	+	–	+	–	–	+	–	+	0,230
4	+	+	+	–	+	–	–	–	0,215
5	+	–	–	+	+	–	–	+	0,215
6	+	+	–	+	–	+	–	–	0,217
7	+	–	+	+	–	–	+	–	0,218
8	+	+	+	+	+	+	+	+	0,217

Расчет коэффициентов произведен по формуле

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ij} y_j}{N},$$

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^8 x_{0j} y_j}{8} =$$

$$= \frac{0,220 + 0,205 + 0,230 + 0,215 + 0,215 + 0,217 + 0,218 + 0,217}{8} = 0,217,$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^8 x_{1j} y_j}{8} =$$

$$= \frac{-0,220 + 0,205 - 0,230 + 0,215 - 0,215 + 0,217 - 0,218 + 0,217}{8} = -0,003625.$$

Для остальных коэффициентов получены следующие значения: $b_2 = 0,002875$; $b_3 = 0,00037$, $b_{12} = -0,000375$, $b_{13} = 0,003875$, $b_{23} = -0,002125$, $b_{123} = -0,000375$.

Дисперсия воспроизводимости S_y^2 , вычисленная по результатам четырех опытов в центре плана, равна 0,048.

Дисперсия коэффициентов уравнения регрессии

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{N} = \frac{0,048}{8} = 0,006.$$

Доверительный интервал коэффициентов

$$\Delta b_i = \pm t S_{b_i} = \pm 3,18 \sqrt{0,006} = \pm 0,246,$$

где t – табличное значение критерия Стьюдента, $t = 3,18$. При 5%-ном уровне значимости и при числе степеней свободы $f = 3$ коэффициенты b_{12} , b_{13} , b_{23} , b_{123} по абсолютной величине меньше доверительного интервала, поэтому их можно считать статистически незначимыми и исключить из уравнения регрессии. После исключения незначимых коэффициентов уравнение регрессии приняло вид

$$y = 0,217 - 0,0037x_1 + 0,0029x_2 + 0,0004x_3.$$

Для проверки адекватности уравнения регрессии вычислена дисперсия адекватности

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N y_j^2 - N \sum_{i=0}^k b_i^2}{N - (k - 1)} = \frac{0,375 - 0,047}{4} = 0,082.$$

Адекватность уравнения проверена по F-критерию Фишера.

Расчетное значение F-критерия

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} = \frac{0,082}{0,048} = 1,7.$$

Табличное значение F-критерия $F_t = 9,1$. $F_p < F_t$, линейная модель адекватна. Следовательно, зависимость шероховатости поверхности от исследуемых факторов процесса электроэрозионной обработки с достаточной точностью можно представить найденным уравнением регрессии.

Для перехода от кодированных значений факторов к натуральным в уравнение регрессии подставлены значения факторов x_1, x_2, x_3 :

$$\ln P = 0,217 - 0,0037 \left(\frac{2(\ln T_{on} - \ln 10)}{\ln 10 - \ln 2} + 1 \right) + 0,0029 \left(\frac{2(\ln T_{off} - \ln 10)}{\ln 10 - \ln 2} + 1 \right) + \\ + 0,0004 \left(\frac{2(\ln n - \ln 6)}{\ln 6 - \ln 2} + 1 \right).$$

После преобразований получено уравнение

$$\ln P = 0,202 - 0,005 \ln T_{on} + 0,004 \ln T_{off} + 0,0008 \ln n.$$

Потенцирование уравнения позволяет определить зависимость P и исследуемых факторов:

$$P = 1,22 \frac{T_{off}^{0,004} \cdot n^{0,0008}}{T_{on}^{0,005}}.$$

Данная модель показывает зависимость коэффициента съема материала от режимов работы станка и количества заготовок в пакете. Таким образом, с помощью полученной формулы можно расчетным образом определить P . Величина P позволяет оценить величину искрового зазора без проведения предварительных резов. Таким образом, существенно снижается время, затрачиваемое на разработку управляющей программы. Статистическая проверка доказала адекватность полученной модели.

Список литературы

1. Абляз Т.Р., Ханов А.М., Хурматуллин О.Г. Современные подходы к технологии электроэрозионной обработки материалов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 112 с.

2. Абляз Т.Р., Иванов В.А. Повышение точности обработки деталей на проволочно-вырезном электроэрозионном станке // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – Пермь, 2012. – Т. 14, № 2. – С. 67–71.

3. Лосев В.А. Многофакторное планирование эксперимента: метод. указания по НИРС. – Пермь: Изд-во Перм. политехн. ин-та, 1985. – 28 с.

Получено 18.10.2012

Абляз Тимур Ризович – аспирант, ПНИПУ, МТФ, e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.

Шлыков Евгений Сергеевич – магистрант, ПНИПУ, МТФ, ТМК-12м, e-mail: Kruspert@mail.ru.