

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОВОЛОЧНО-ВЫРЕЗНОЙ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПАКЕТИРОВАННЫХ ЗАГОТОВОК

*В.А. ИВАНОВ, доктор техн. наук, профессор
Т.Р. АБЛЯЗ, аспирант
Е.С. ШЛЫКОВ, магистрант
(ПНИПУ, г. Пермь)*

Статья поступила 10 июля 2012 года

Абляз Т.Р. – 614990, г. Пермь – ГСП, Комсомольский проспект, 29,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru

Представлено моделирование процесса проволочно-вырезной электроэрозионной обработки пакетированных заготовок с целью выявления зависимостей между режимами резания и количеством заготовок, закрепленных в пакете, и их влиянием на коэффициент съема материала.

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

В условиях экономического кризиса машиностроительные предприятия находятся в условиях жесткой конкурентной борьбы. Для поддержания своих позиций на рынке конструкторы прибегают к усложнению формы деталей и механизмов с целью создания более востребованной продукции. Постоянно возрастают требования к точности и надежности изготовления годной продукции.

Для увеличения конкурентоспособности предприятиям необходимо повышение производительности и снижение себестоимости изготавливаемых деталей. Одним из способов повышения производительности является применение технологии проволочно-вырезной электроэрозионной обработки (ПВЭЭО) пакетированных заготовок.

Одним из основных параметров, влияющих на точность получения заданного размера при ПВЭЭО, является коэффициент съема материала. Так как процесс электроэрозионной обработки (ЭЭО) является бесконтактным, подобрать нужные режимы резания без предварительных резов зачастую бывает невозможно. Зачастую для настройки станка на нужный режим необходимо производить несколько пробных резов, что, в свою очередь, приводит к существенным временным затратам. Создание математической модели процесса ПВЭЭО пакетированных заготовок, позволяющей без пробных резов рассчитывать величину коэффициента съема материала, является актуальной задачей [1,2].

В работе проведен регрессионный анализ процесса ПВЭЭО пакетированных заготовок. В качестве электрода-инструмента (ЭИ) использовалась латунная проволока VercoCut диаметром 0,25 мм. Эксперимент проводился на проволочно-вырезном электроэрозионном станке EcoCut. Варьируемыми параметрами в эксперименте являются T_{on} – время действия импульсов (мкс), T_{off} – время бездействия импульсов (мкс) и количество заготовок в пакете (шт.).

В качестве измеряемого параметра выбрана разность между весом заготовки до обработки и весом вырезанной заготовки (с остатком) после обработки. Данная разность в работе названа коэффициентом съема материала. Предположим, что зависимость веса от исследуемых факторов можно представить уравнением регрессии степенного вида [3]:

$$P = C T_{on}^{\alpha} T_{off}^{\beta} n^{\gamma}. \quad (1)$$

После логарифмирования уравнение (1) принимает вид

$$\ln P = \ln C + \alpha \ln T_{on} + \beta \ln T_{off} + \gamma \ln n.$$

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_{on}, T_{off}, 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

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 единице на верхнем уровне, нулю – на основном уровне и минус единице – 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.

Расчет коэффициентов производится по формуле

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^8 x_{0i} y_i}{8} = \frac{0,220 + 0,205 + 0,230 + 0,215 + 0,215 + 0,217 + 0,218 + 0,217}{8} = 0,217$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^8 x_{1i} y_i}{8} = \frac{-0,220 + 0,205 - 0,230 + 0,215 - 0,215 + 0,217 - 0,218 + 0,217}{8} = -0,003625$$

и т. д.

Таблица 2

Номер опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	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

Для остальных коэффициентов получим 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 S_y^2 воспроизводимости, 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 %-м 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 примет вид

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

Для проверки адекватности уравнения регрессии вычисляем дисперсию $S_{ад}^2$

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

Адекватность уравнения проверяем по F -критерию Фишера.

Находим расчетное значение F -критерия:

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

Табличное значение F -критерия $F_t = 9,1$. Так как $F_p < F_t$, то 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 подставим значения факторов X_1, X_2, X_3 :

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

После преобразований получим

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

Потенцируя это выражение, находим зависимость веса заготовки и детали после обработки резанием от исследуемых факторов:

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

Данная модель показывает зависимость коэффициента съема материала от режимов работы станка и количества заготовок в пакете. Таким образом, с помощью полученной формулы можно управлять значением коэффициента съема материала, обеспечивая при этом заданный размер. Статистическая проверка доказывает 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. *Журин А.В.* Методы расчета технологических параметров и электродов-инструментов при электроэрозионной обработке: дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. – Тула: ТГУ, 2005. – 132 с.
3. *В.А. Лосев.* Многофакторное планирование эксперимента: метод. указ. по НИРС.– Пермь: Изд-во Перм. политехн. ун-та, 1985. – 28 с.

Modeling of stack wire electrical discharge machining

V.A. Ivanov, T.R. Ablyaz, E.S. Shlikov

This paper presents modeling 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.

Key words: wire electrical discharge machining, the electrode tool, cutting conditions, stack cutting.