

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ОПЕРАЦИИ УЗ-СВАРКИ НА НАДЁЖНОСТЬ МОНТАЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Невлюдов И.Ш.<sup>1</sup>, Андрусевич А.А.<sup>2</sup>, Стародубцев Н.Г.<sup>1</sup>, Невлюдова В.В.<sup>1</sup>,  
Малая И.А.<sup>3</sup>

1. Харьковский национальный университет радиоэлектроники
2. Криворожский колледж национального авиационного университета «Краусс»
3. Государственное предприятие «Южный государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности»

A regression model of the process of mounting radio electronic products by means of ultrasonic micro-welding is developed. Its parameters are evaluated based on the results of the full factorial experiment of type  $2^3$ , the optimum regimes are determined under which the maximum reliability of the mounting joints is ensured. As a criterion for evaluating the reliability of joints, their peel strength was chosen.

Основными достоинствами метода моделирования процессов при помощи факторного эксперимента являются простота и возможность отыскания экстремальной точки (с какой-то погрешностью), если неизвестная поверхность достаточно гладкая и нет локальных экстремумов.

Для экспериментальных исследований был взят двухслойный алюминий-полиимидный тестовый образец гибкой коммутационной платы (ТО ГКП).

Качество и надёжность получаемых монтажных соединений (обозначенная как  $y$  (г)) в основном зависит от следующих технологических режимов (факторов): выходной мощности УЗ-генератора  $x_1$  (Вт), времени сварки  $x_2$  (мс), усилия, прилагаемого к рабочему инструменту  $x_3$  (г) [1]. Необходимо с помощью ПФЭ найти математическое описание процесса монтажа, в окрестностях базовой точки с координатами  $x_{01}=2$  Вт,  $x_{02}=350$  мс,  $x_{03}=40$  г.

Решение общей задачи было разбито на несколько этапов:

- а) вычисление построчного среднего значения функции отклика и дисперсий отклика в каждой точке плана эксперимента;
- б) проверка однородности построчных дисперсий;
- в) определение коэффициентов математической модели;
- г) определение дисперсии воспроизводимости;
- д) оценка статистической значимости коэффициентов модели;

е) оценка адекватности модели и данных экспериментов, формирование выводов о возможности применения разработанной модели.

При проведении ПФЭ задались начальными условиями, приведенными в табл. 1.

Таблица 1– Основные характеристики плана эксперимента

Характеристика	$x_1$ , Вт	$x_2$ , мс	$x_3$ , Г
Основной уровень	2	350	40
Интервал варьирования	1	100	20
Верхний уровень	3	450	60
Нижний уровень	1	250	20
Область допустимых значений факторов	(0,025-16)	(0,15-0,55)	(15-80)

На основе исходных данных (табл. 1-2) и результатов натурных испытаний построена матрица планирования ПФЭ  $2^3$  (табл. 2).

Таблица 2 – Матрица планирования ПФЭ  $2^3$

№ точки плана	Факторы эксперимента (режимы УЗ-сварки)								Отклики (прочность монтажных соединений)			
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	$y_{1i}$	$y_{2i}$	$y_{3i}$	$\bar{y}_i$
1	+	-	-	-	+	+	+	-	16	16,5	16,8	16,43
2	+	-	-	+	+	-	-	+	18,5	18,3	18,9	18,57
3	+	-	+	-	-	+	-	+	15,9	16,3	16,7	16,3
4	+	-	+	+	-	-	+	-	18,9	18,4	19	18,77
5	+	+	-	-	-	-	+	+	15,9	16	16,2	16,04
6	+	+	-	+	-	+	-	-	19,3	19,5	19,8	19,54
7	+	+	+	-	+	-	-	-	17	17,2	17,5	17,24
8	+	+	+	+	+	+	+	+	19,9	20	20,4	20,1

Вычисление построчного среднего значения функции отклика и дисперсий отклика в каждой точке плана эксперимента. Для любой  $i$ -й точки среднее значение выходной величины вычисляется по формуле

$$\bar{y}_i = \sum_{u=1}^m \tilde{y}_{iu} / m \quad (1)$$

Оценка построчной дисперсии выходной величины определяется выражением

$$S^2\{y_i\} = \sum_{u=1}^m (y_{iu} - \bar{y}_i)^2 / (m-1) \quad (2)$$

Результаты расчёта среднего значения выходной величины  $\bar{y}_i$  в каждой точке (для каждой строки  $m = 3$ ) приведены в табл. 2.

Определим построчную дисперсию выходной величины  $\bar{y}_i$  в каждой точке (для каждой строки  $m = 3$ ), используя выражение (2):

$$S^2\{y_1\} = 0,1634 ; S^2\{y_2\} = 0,0934 ; S^2\{y_3\} = 0,16 ; S^2\{y_4\} = 0,1034 ;$$

$$S^2\{y_5\} = 0,0234 ; S^2\{y_6\} = 0,0634 ; S^2\{y_7\} = 0,0634 ; S^2\{y_8\} = 0,07 .$$

Определено расчетное значение коэффициента Кохрена

$$G_p = S^2\{y_i\}_{\max} / \sum_{i=1}^N S^2\{y_i\} .$$

Расчетное значение коэффициента Кохрена сравнили с критическим значением  $G$ -критерия  $G_T$  [2-3]. Так как условие  $G_p < G_T$  выполняется, с выбранным уровнем статистической значимости  $\alpha = 0,05$  все построчные дисперсии признаны однородными.

Проверив построчные дисперсии на однородность, определили оценки коэффициентов модели по формуле

$$b_k = \sum_{i=1}^N \bar{y}_{ik} x_{ik} / N \quad (3)$$

где  $k$  – номер вектор-столбца (табл. 1).

Полученные коэффициенты:  $b_0 = 17,87$  ;  $b_1 = 0,3563$  ;  $b_2 = 0,2288$  ;  $b_3 = 1,3713$  ;  
 $b_{12} = 0,2113$  ;  $b_{13} = 0,2188$  ;  $b_{23} = -0,0388$  ;  $b_{123} = -0,1213$  .

Оценка дисперсии воспроизводимости (оценка усреднённых построчных дисперсий) в соответствии с результатами вычислений определялась согласно выражению

$$S_B^2 = \sum_{i=1}^N S^2\{y_i\} / N = 0,0926 . \quad (4)$$

Определение дисперсии коэффициента  $b_k$  .

Ввиду свойства нормировки оценки коэффициентов найдены с одинаковой дисперсией

$$S^2\{b_k\} = S_B^2 / N \cdot m,$$

$$S^2\{b_k\} = 0,0926/8 \cdot 3 = 0,0039; S^2\{b_k\} = 6 \cdot 10^{-3} = 0,0624.$$

Влияние  $k$ -го фактора, отклонение оценки  $k$ -го коэффициента от нуля учитывается следующим коэффициентом [2]

$$t_k = |b_k| / S\{b_k\}. \quad (5)$$

При выбранном уровне статистической значимости ( $\alpha = 0,05$ ) по таблицам распределения Стьюдента [3] находится табличное значение коэффициента  $t_T$ . Найденное табличное значение сравнивается с расчетным значением коэффициента. Если выполняется неравенство

$$t_T > t_k \quad (6)$$

то принимается нуль-гипотеза.

Неравенство (6) выполняется для следующих коэффициентов  $t_k: t_{23}, t_{123}$ . Следовательно, можно предположить, что указанные выше коэффициенты являются статистически незначимыми и их следует исключить из уравнения регрессии.

Таким образом, уравнение регрессии технологической операции УЗ-микросварки, содержащее статистически значимые коэффициенты, будет (в кодированной системе) иметь вид

$$\hat{y} = 17,87 + 0,3563 x_1 + 0,2288 x_2 + 1,3713 x_3 + 0,2113 x_1 x_2 + 0,2188 x_1 x_3. \quad (7)$$

Полученное уравнение регрессии проверено на адекватность исследуемому объекту при помощи критерия Фишера [2], проверка показала, что полученная модель (7) является адекватной и достаточно хорошо аппроксимирует полученные экспериментальные данные.

### Литература

1. Борщов В.Н., Невлюдов И.Ш., Проценко М.А., Тымчук И.Т., Хатнюк И.С. Исследование и выбор оптимальных технологических режимов сварки для автоматизации монтажа гибких алюминий-полиимидных микрокабелей // Технологія приладобудування. 2011. - Вип. № 1. - С. 3-8.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 277 с.
3. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде. Количественный подход / В.Д. Ногин. – М.: Физматлит, 2002. – 215 с.