

УДК 681.2.002.2

Н. Д. КОШЕВОЙ, З. Э. ЧИСТИКОВА

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РУЧНОЙ АРГОННО-ДУГОВОЙ СВАРКИ

Проведен полный факторный эксперимент по изучению технологического процесса ручной аргонно-дуговой сварки, на основании которого выданы рекомендации относительно оптимальных режимов работы при сварке. Построены математические модели, характеризующие зависимость количества дефектов при сварке от силы тока и диаметра присадочной проволоки. Выполнена оптимизация методом крутого восхождения (мысленные опыты). Подтверждена эффективность реализации мысленных опытов с помощью механических испытаний лучших образцов на растяжение. Некоторые из реализованных опытов дали лучший результат по сравнению с наилучшим опытом полного факторного эксперимента, что дало возможность еще больше повысить качество сварного шва.

Ключевые слова: планирование эксперимента, полный факторный эксперимент, параметр оптимизации, количество дефектов, режимы работы, крутое восхождение.

Введение

Постановка проблемы. Каркас фонаря кабины лётчика Ан-74, выполненный из сплава 30ХГСА, содержит 94 шва. По статистическим данным после сварки 50% швов имеют большое количество недопустимых дефектов. Устранить эту проблему можно путём оптимизации технологического процесса ручной аргонно-дуговой сварки после проведения полного факторного эксперимента.

Анализ последних исследований и публикаций. Известны методы, основанные на: легировании металла шва наночастицами WC при аргонно-дуговой сварке [1]; покрытии зоны сварного шва гальваническим никелем или медью [2]. В известных источниках в явном виде не приведены математические модели процесса аргонно-дуговой сварки. Для оптимизации технологического процесса данного вида сварки целесообразно использовать метод планирования эксперимента [3], с помощью математических моделей выполнить крутое восхождение и проверить эффективность реализации серии мысленных опытов.

Цель работы: уменьшить количество дефектов в изделиях авиационной техники, выполненных методом ручной аргонно-дуговой сварки. Минимизировать время и затраты на устранение дефектов уже после изготовления вышеуказанных изделий.

Основные результаты исследований

В качестве параметра оптимизации выберем количество дефектов. Определим факторы, с помощью которых можно воздействовать на оптимизи-

руемый объект. Выбор факторов очень ответственный этап при подготовке к планированию эксперимента, от удачного выбора которых зависит успех оптимизации. В технологическом процессе приведены основные параметры дуговой сварки: сила тока, напряжение дуги, диаметр вольфрамового электрода, диаметр присадочной проволоки. Такие параметры как диаметр вольфрамового электрода и напряжение дуги оставались неизменными в ходе всего эксперимента.

Модель исследуемого процесса, которую будем использовать на первом этапе планирования эксперимента – это алгебраический полином первой степени:

$$Y^* = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2,$$

где X_1 – диаметр присадочной проволоки;

X_2 – сила тока;

b_0, b_1, b_2 – неизвестные коэффициенты модели.

Первый этап планирования экспериментов для получения линейной модели основан на варьировании факторов на двух уровнях. План и результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Здесь Y_1 – количество дефектов для стыкового соединения деталей толщиной 5 мм (рис.1); Y_2 – количество дефектов для таврового соединения деталей толщиной 5 мм (рис. 2); Y_3 – количество дефектов для стыкового соединения деталей толщиной 3 мм (рис. 3); Y^* – оценка качества шва по 10-тибальной шкале (10 баллов означает отсутствие дефектов); +1 – верхний предел диапазонов величин силы тока и диаметра присадочной проволоки; -1 – нижний предел диапазонов величин силы тока и диаметра присадочной проволоки.

Таблиця 1

План полного факторного эксперимента и результаты исследования

№ п/п	X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₁ [*]	Y ₂	Y ₂ [*]	Y ₃	Y ₃ [*]
1	+1	+1	5	5	3	7	0	10
2	-1	+1	3	7	0	10	0	10
3	-1	-1	0	10	2	8	0	10
4	+1	-1	0	10	0	10	4	6

С целью минимизации количества дефектов на данном этапе проведения эксперимента можно дать следующие рекомендации: величина силы тока должна составлять 110 А, диаметр проволоки – 1 мм или 2 мм для стыкового соединения деталей толщиной 5 мм; сила тока должна иметь для проволоки диаметром 2 мм значение 110 А, а для проволоки диаметром 1 мм – 150 А при тавровом соединении деталей толщиной 5 мм; нельзя использовать проволоку диаметром 2 мм с величиной силы тока, составляющей 70 А для стыкового соединения деталей толщиной 3 мм.

По результатам эксперимента найдем значение неизвестных коэффициентов модели. Оценки коэффициентов вычислим по формуле:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{N}, \quad j=0,1, \dots, k,$$

где N – число опытов;
j – номер фактора.

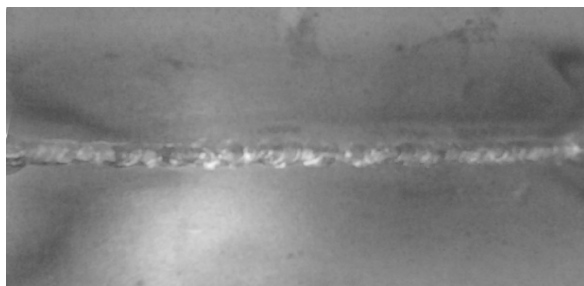


Рис. 1. Образец сварного стыкового соединения толщиной 5 мм, полученного при следующих значениях факторов: X₁=1 мм, X₂=110А



Рис. 2. Образец сварного таврового соединения толщиной 5 мм, полученного при следующих значениях факторов: X₁=2 мм, X₂=110А



Рис. 3. Образец сварного стыкового соединения толщиной 3 мм, полученного при следующих значениях факторов: X₁=1 мм, X₂=70А

После вычисления получим математические модели:

$$Y_1^* = 8 + 0,5X_1 + 2X_2,$$

$$Y_2^* = 8,75 + 1,25X_1 + 0,25X_2,$$

$$Y_3^* = 9 - X_1 + 4X_2,$$

где Y₁^{*} – математическая модель для стыкового соединения толщиной 5 мм;

Y₂^{*} – математическая модель для таврового соединения толщиной 5 мм;

Y₃^{*} – математическая модель для стыкового соединения толщиной 3 мм соответственно.

Коэффициенты при независимых переменных указывают на силу влияния факторов на параметр оптимизации.

Для оптимизации качества сварного шва проведём кругое восхождение (мысленные опыты), т.е. движение в направлении градиента функции отклика [4]. В таблицах 2, 3 приведены параметры планирования серии мысленных опытов до тех пор, пока оценка качества шва Y^{**} ≥ 20 баллов.

Из-за отсутствия присадочной проволоки диаметром, рассчитанным теоретически, не удалось провести на практике все мысленные опыты. Результаты некоторых из них приведены в таблице 4.

Здесь Y^{**} – теоретическая оценка качества шва.

Для того, что бы сравнить качество сварного шва образцов первой и второй серии опытов необходимо провести механические испытания лучших образцов на растяжение. Результаты испытаний указаны в таблицах 5, 6.

Таблица 2

Исходные данные для проведения кругого восхождения

Вид соединения	Стыковое соединение толщиной 5 мм (--)		Тавровое соединение толщиной 5 мм (⊥)		Стыковое соединение толщиной 3 мм (--)	
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂
Параметры плана	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂
Основной уровень	1,50	130	1,50	130	1,5	85
Интервал варьирования I _j	0,50	20	0,50	20	0,5	15
Верхний уровень	2,0	150	2,0	150	2,0	100
Нижний уровень	1,0	110	1,0	110	1,0	70
b _j	0,50	2	1,25	0,25	-1,0	4,0
b _j × I _j	0,25	40	0,62	5,0	-0,5	60
Шаг	0,10	16	0,50	4,0	-0,1	12

Таблица 3

План оптимизации технологического процесса ручной аргоно-дуговой сварки методом кругого восхождения (мысленные опыты)

Вид соединения	Стыковое соединение толщиной 5 мм			Тавровое соединение толщиной 5 мм			Стыковое соединение толщиной 3 мм		
	X ₁	X ₂	Y ₁ **	X ₁	X ₂	Y ₂ **	X ₁	X ₂	Y ₃ **
№ опыта	X ₁	X ₂	Y ₁ **	X ₁	X ₂	Y ₂ **	X ₁	X ₂	Y ₃ **
1	1,6	146	9,70	2,0	134	9,80	1,4	97	12,45
2	1,7	162	11,40	2,50	138	11,35	1,3	109	15,80
3	1,8	178	13,10	3,0	142	12,90	1,2	121	19,20
4	1,9	194	14,80	3,50	146	14,45	1,1	133	22,60
5	2,0	210	16,50	4,0	150	16,0	1,0	145	25,90
6	2,1	226	18,20	4,50	154	17,55	0,9	157	29,30
7	2,2	242	19,90	5,0	158	19,10	-	-	-
8	2,3	258	21,60	5,50	162	20,65	-	-	-
9	-	-	-	6,0	166	21,45	-	-	-

Таблица 4

Результаты практической реализации некоторых мысленных опытов

Соединение	X ₁	X ₂	Y**	Y*
--5 мм	1,8	178	13,1	10
--5 мм	2,0	210	16,5	9
⊥5 мм	3,0	142	12,9	10
--3 мм	1,2	121	19,2	10

Таблица 5

Результаты исследования лучших образцов на растяжение, полученных при реализации мысленных опытов

Соединение	X ₁	X ₂	Y**	Y*	P, кгс	σ, кгс/мм ²
--5 мм	1,8	178	13,1	10	2085,5	41,71
⊥5 мм	3,0	142	12,9	10	2025	40,50
--3 мм	1,2	121	19,2	10	441,72	24,56

Здесь P – усилие, прикладываемое для разрыва образца; σ – предел прочности.

Таблица 6

Результаты исследования лучших образцов на растяжение, полученных при реализации полного факторного эксперимента

Соединение	X ₁	X ₂	Y*	P, кгс	σ, кгс/мм ²
--5 мм	1,0	110	10	2035	40,70
--5 мм	2,0	110	10	2060	41,20
⊥5 мм	2,0	110	10	2020	40,40
⊥5 мм	1,0	150	10	2044	40,88
--3 мм	2,0	150	10	430	23,89
--3 мм	1,0	110	10	434,34	24,13
--3 мм	1,0	150	10	441	24,50

Выводы

С учетом результатов исследования необходимо придерживаться следующих режимов работы: для стыкового соединения толщиной 5 мм сила тока должна иметь значение 178 А, диаметр присадочной проволоки – 1,8 мм; для таврового соединения толщиной 5 мм величина силы тока должна составлять

150 А, диаметр присадочной проволоки – 1,0 мм; для стыкового соединения толщиной 3 мм диаметр присадочной проволоки должен иметь значение – 1,2 мм, сила тока – 121 А.

Литература

1. Исследование структуры металла на основе Ni3Al, полученного аргонно-дуговой сваркой [Текст] / Ю. Н. Дубцов [и др.] // Известия Волгоград. гос. техн. ун-та. Серия 7, Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. – 2013. – № 6. – С. 147–151.

2. Аргонно-дуговая сварка высокопрочной цементуемой стали ВНС-63 [Электронный ресурс] /

В. И. Лукин, И. П. Банас, В. Г. Ковальчук, Е. В. Голев. – Режим доступа: http://viam-works.ru/articles?art_id=121. – 01.08.2013.

3. Данилишина, З. Э. Оптимизация режимов сварки [Текст] / З. Э. Данилишина // Сварка и родственные технологии: тез. докл. VII научно-технической конференции молодых ученых и специалистов, Киев, 22 – 24 мая 2013г. – К., 2013. – С. 238.

4. Кошевой Н. Д. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента [Текст]: моногр. / Н. Д. Кошевой, Е. М. Костенко. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2013. – 317 с.

Поступила в редакцию 26.01.2014, рассмотрена на редколлегии 12.02.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. информатики М. Л. Угрюмов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РУЧНОГО АРГОННО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

М. Д. Кошовий, З. Е. Чистикова

Проведено повний факторний експеримент з вивчення технологічного процесу ручного аргонно-дугового зварювання, на підставі якого видано рекомендації щодо оптимальних режимів роботи при зварюванні. Побудовано математичні моделі, що характеризують залежність кількості дефектів при зварюванні від сили струму і діаметра присадного дроту. Виконано оптимізацію методом крутого сходження (уявні досліди). Підтверджено ефективність реалізації уявних дослідів за допомогою механічних випробувань кращих зразків на розтяг. Деякі з реалізованих дослідів дали кращий результат порівняно з найкращим досвідом повного факторного експерименту, що дало можливість ще більше підвищити якість зварного шва.

Ключові слова: планування експерименту, повний факторний експеримент, параметр оптимізації, кількість дефектів, режими роботи, круте сходження.

STUDY AND OPTIMIZATION PROCESS MANUAL ARGON ARC WELDING

N. D. Koshevoj, Z. E. Chystikova

The recommendations about the optimum modes of welding work were issued based on full factorial technological process of manual argon arc welding experiment that had been performed. The mathematical models that define the quantity of defects dependence on the current strength and the diameter of filler wire were made. Adequacy of linear models was tested. Steep ascent (mental experiences) was made. The effectiveness of the mental experiments was confirmed by mechanical stretching tests of the best models was proved. Some of the experiments gave best results, than the best test of the factorial experiment, which gives an opportunity to up-grade welding seam.

Keywords: experimental design, a full factorial experiment, optimizing the parameter, the number of defects, modes of operation, a steep climb.

Кошевой Николай Дмитриевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой авиационных приборов и измерений, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: kafedraapi@rambler.ru.

Чистикова Златослава Эдуардовна – аспирант кафедры авиационных приборов и измерений, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.