

А.А. Бородулин, Ю.Л. Петров, И.А. Бородулин,

В.В. Каратыш, В.М. Язовских

A.A. Borodulin, U.L. Petrov, I.A. Borodulin, V.V. Karatish, V.M. Yazovskih

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА НАПЛАВКИ ПОД ФЛЮСОМ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПЛАВЛЕННЫХ ВАЛИКОВ

THE RESEACH OF INFLUENCE OF SURFACING PARAMETERS UPON GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF WELDED BEADS

Проведена экспериментальная наплавка под слоем флюса. Сделаны замеры параметров режима наплавки. Приготовлены макрошлифы наплавленных валиков. Проведены замеры геометрических параметров наплавленных валиков. Построены математические модели, описывающие влияние параметров режима наплавки на геометрические характеристики наплавленных валиков.

Ключевые слова: наплавка под слоем флюса, параметры режима наплавки, математическая модель, геометрические параметры наплавленного валика, многофакторный эксперимент.

The work carried out under the cladding layer of flux. Been measured mode parameters surfacing. Prepared macrosection weld beads. Been measured geometrical parameters of weld beads. Based on these data the mathematical models describing the effect of the profile, surfacing on the geometric characteristics of weld beads.

Keywords: surfacing under the flux layer, surfacing mode parameters, mathematical model, geometrical parameters of weld beads, multifactorial experiment.

Изучение справочной литературы позволило сделать заключение о том, что параметры режима наплавки (сварки) зачастую носят рекомендательный характер. Геометрические параметры полученного сварного шва при заданных параметрах режима если и указаны, то в широком диапазоне значений. Отсутствуют математические зависимости, отображающие совместное влияние основных параметров режима сварки на геометрию шва. На практике перед сваркой изделия всегда производится подбор оптимального режима пу-

тем изготовления большого количества контрольных образцов, что означает затраты времени и материальных ресурсов. Подбор режимов наплавки по математическим моделям в условиях производства позволит снизить трудоемкость и затраты материала.

Для изучения влияния параметров режима наплавки под слоем флюса на геометрические параметры сварного шва был проведен ряд опытов методом планирования многофакторного эксперимента [1].

Для проведения экспериментальной наплавки под флюсом использовали пластины 300×250×16 мм из низколегированной стали 10Г2ФБЮ ТУ 14-1-5339-96 [2], сварочный флюс АН-348А ГОСТ 9087-81, сварочная проволока Св-08А ГОСТ 2246-70. Наплавка производилась сварочным автоматом КА-1 УР. В качестве источника питания использовался сварочный выпрямитель марки GTN-1002 [3].

Приготовление макрошлифов осуществлялось в несколько этапов. Образцы для металлографических исследований обрабатывались в шлифовально-полировочной установке Лесо с использованием шкурки разной зернистости, а после механической обработки образцы подвергались химическому травлению в растворе соляной кислоты. Для определения геометрических параметров макрошлифов использовался микроскоп STEMI SV8.

Условия эксперимента (верхний, нижний и основной уровни факторов) для наплавки под слоем флюса проволокой диаметром 4 мм приведены в табл. 1. На основе данной таблицы строилась матрица планирования полного факторного эксперимента [4].

Таблица 1

Условия эксперимента

Параметр режима	$X_1 (I)$, А	$X_2 (U)$, В	$X_3 (V)$, м/ч
Основной уровень	500	35	21
Верхний уровень	600	40	27
Нижний уровень	400	30	15
Интервал варьирования	100	5	6

В ходе работы было использовано 5 пластин-образцов. Валики наплавлялись на пластины согласно схеме на рис. 1. После наплавки 20 валиков образцы были разрезаны для приготовления макрошлифов, на которых определялись геометрические параметры наплавленных валиков (рис. 2).

Результаты замеров B , H и b представлены в табл. 2.

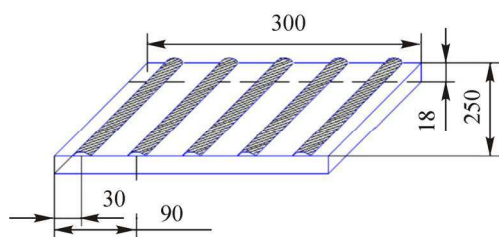


Рис. 1. Схема наплавки валиков

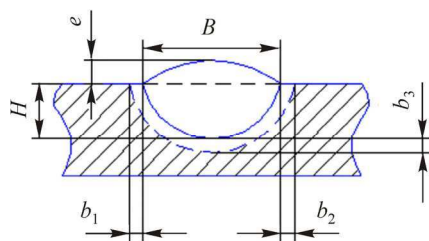


Рис. 2. Эскиз макрошлифа: B – ширина напавленного валика, мм; e – высота усиления валика, мм; H – глубина проплавления, мм; b_1, b_2, b_3 – ширина ЗТВ

Таблица 2

Геометрические параметры напавленных валиков

Номер режима	Ширина валика B , мм	Глубина проплавления H , мм	Высота усиления e , мм	Ширина ЗТВ b , мм
1	23,6	6,5	2,0	2,0
2	16,2	5,6	2,4	1,6
3	19,5	6,7	2,7	1,7
4	17,6	3,1	1,7	1,4
5	33,3	8,2	2,5	2,7
6	23,3	5,2	2,5	3,0
7	27,1	7,5	3,9	3,4
8	21,3	4,8	2,6	2,0
9	24,8	9,4	2,5	3,8
10	14,2	2,8	1,7	1,8
11	25,1	5,2	2,3	2,2
12	18,5	5,8	2,9	1,6
13	18,2	4,7	1,9	1,7
14	31,8	6,6	2,2	4,3
15	24,7	6,5	1,6	2,5
16	23,9	5	2,6	2,0
17	21,9	6,1	3,1	1,9
18	24,2	4,9	2,8	2,3
19	22,4	4,9	2	1,9
20	23,6	5,2	1,9	1,9

В ходе эксперимента также были записаны осциллограммы тока и напряжения дуги (рис. 3).

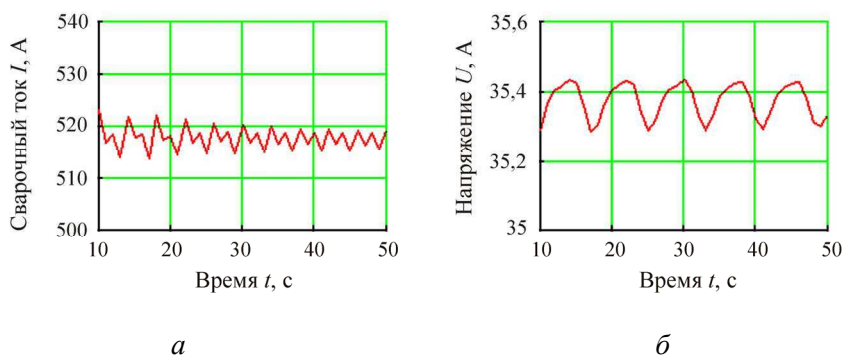


Рис. 3. Осциллограммы сварочного тока (а) и напряжения (б)
режим № 19: основной уровень: $I = 500$ А, $U = 35$ В, $V = 21$ м/ч

После выполнения всех замеров были построено уравнение регрессии, описывающее зависимость ширины шва от основных параметров режима.

В общем виде уравнение регрессии второго порядка для трехфакторного эксперимента имеет вид

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2.$$

Получение уравнения регрессии можно разделить на три этапа: первый – вычисление коэффициентов регрессии, второй – оценка их статистической значимости, третий – проверка адекватности полученного уравнения.

После проведения всех расчетов получили уравнение следующего вида (уравнение описывает совместное влияние параметров режима наплавки на ширину шва):

$$B = 23,1 + 3,14 \cdot I + 1,61 \cdot U - 3,73 \cdot V + 1,21 \cdot IU - 0,81 \cdot IV - 1,2 \cdot I^2 + 0,75 \cdot V^2.$$

На рис. 4–6 приведены графики зависимости ширины шва от основных параметров сварки.

Так же было построено уравнение регрессии, описывающее зависимость глубины проплавления от основных параметров режима наплавки.

Общий вид линейного уравнения регрессии

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3.$$

Зависимость глубины проплавления от основных параметров режима наплавки описывается уравнением

$$h = 5,87 + 1,23 \cdot I + 0,43 \cdot U - 0,48 \cdot V.$$

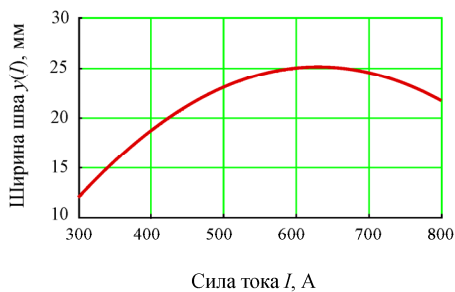


Рис. 4. Зависимость ширины шва от силы сварочного тока ($U = 35$ В, $V = 21$ м/ч)

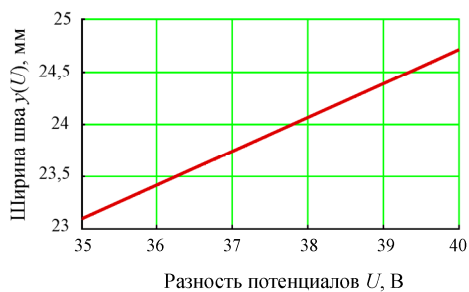


Рис. 5. Зависимость ширины шва от напряжения на дуге ($I = 500$ А, $V = 21$ м/ч)

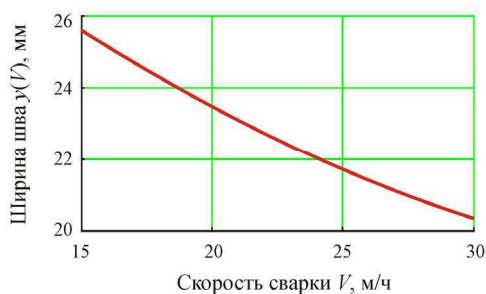


Рис. 6. Зависимость ширины шва от скорости наплавки ($I = 500$ А, $U = 35$ В)

Исходя из графиков, приведенных на рис. 4–9, можно сделать следующее заключение: в области малых токов (300–600 А) с увеличением сварочного тока ширина валика увеличивается. При токе свыше 600 А ширина наплавленного валика начинает уменьшаться. С ростом напряжения на дуге наблюдается увеличение ширины шва, в случае со скоростью сварки ее влияние оказывается противоположным.

Представленные графические зависимости свидетельствуют о том, что наибольшее влияние на глубину проплавления оказывает величина сварочного тока. Напряжение и скорость сварки оказывают незначительное влияние. Однако определенная закономерность прослеживается – с ростом напряжения происходит увеличение проплавления, в случае со скоростью сварки наблюдается обратно пропорциональная зависимость.

Для режимов № 3, 7 и 17 провели расчет ширины и глубины наплавленного валика. На рис. 10 приведена фотография макрошлифа наплавленного валика (режим № 3).

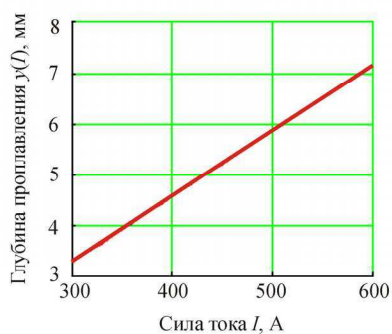


Рис. 7. Зависимость глубины проплавления от силы сварочного тока ($U = 35$ В, $V = 21$ м/ч)

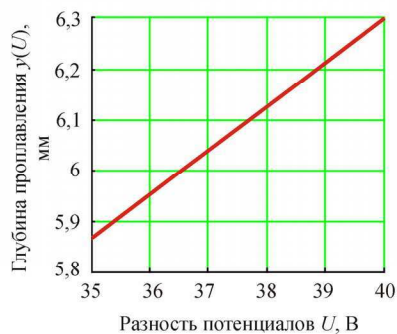


Рис. 8. Зависимость глубины проплавления от напряжения на дуге ($I = 500$ А, $V = 21$ м/ч)

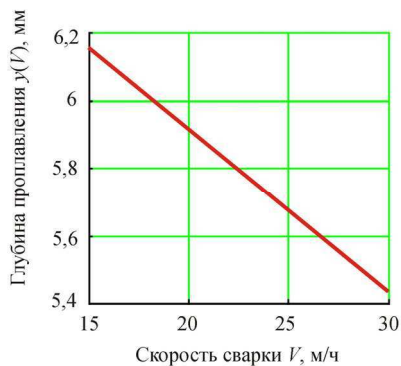


Рис. 9. Зависимость глубины проплавления от скорости сварки ($I = 500$ А, $U = 35$ В)

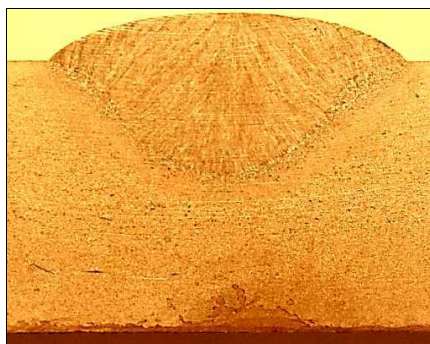


Рис. 10. Макрошлиф наплавленного валика

Сравнивая опытные данные с расчетными, получили следующий результат (табл. 3):

Таблица 3

Геометрические параметры валика

Номер режима	Ширина шва, мм			Глубина проплавления, мм		
	расчетная	опытная	ошибка, %	расчетная	опытная	ошибка, %
3	21,4	19,5	8,9	6,4	6,7	4,5
7	25,9	27,1	4,4	7,0	7,5	6,7
17	23,1	21,9	5,1	5,8	6,1	5,2

На основе экспериментальных данных были построены математические модели, с помощью которых можно определить ширину, глубину проплавления, а также высоту усиления сварного валика с достаточной точностью. Разработанные модели являются адекватными. Ошибка в определении ширины валика не превышает 6,2 %, глубины проплавления – 5,6 %. Полученные зависимости могут быть использованы для расчета размеров валика при наплавке под слоем флюса на марганцовистые низколегированные стали с карбидным упрочнением толщиной (16 ± 1) мм.

Список литературы

1. Каратыш В.В., Язовских В.М., Михальский А.С. Исследование влияния режимов сварки на форму шва при сварке под слоем флюса и в углекислом газе // Перспективные технологии и материалы: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Пермь, 24 ноября 2008 г. / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2008. – С. 258–266.
2. Язовских В.М. Свариваемость легированных сталей: учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2004. – 204 с.
3. Рабинович И.Я. Оборудование для дуговой электрической сварки. Источники питания дуги. – М.: Машгиз, 1958. – 380 с.
4. Язовских В.М. Математическое моделирование и инженерные методы расчета в сварке: в 2 ч. Ч 1. Статистическая обработка и планирование эксперимента: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 127 с.

Получено 18.10.2012

Бородулин Андрей Алексеевич – магистрант, ПНИПУ, МТФ, ТСП-11м, e-mail: ka_ban-@mail.ru.

Петров Юрий Леонидович – магистр, ПНИПУ, МТФ, e-mail: Maestro@mail.ru

Бородулин Иван Алексеевич – студент, ПНИПУ, МТФ, ТСП-11-1, e-mail: Borodylin_@mail.ru

Каратыш Виктор Васильевич – кандидат технических наук, доцент, ПНИПУ, МТФ, e-mail: VKaratysh@mail.ru.