

УДК 621.791

Жариков С. В., Гринь А. Г., Васильева Л. В.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ НАПЛАВКИ САМОЗАЩИТНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ С ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СМЕСЬЮ

В настоящее время на Украине для сварки и наплавки широко используются самозащитные порошковые проволоки (СПП), являющиеся одним из наиболее универсальных сварочных материалов, применяемых в промышленном производстве и на монтаже [1–3]. СПП, за счет введения в состав сердечника газошлакообразующих компонентов, обеспечивают создание надёжной защиты металла, необходимую степень раскисления и легирования, что способствует получению металла шва требуемого состава и свойств. Однако низкая электропроводность сердечника, по сравнению с металлической оболочкой, приводит к отставанию плавления сердечника от оболочки проволоки, что является одним из недостатков этой группы электродных материалов [4].

Одним из способов обеспечения равномерного плавления сердечника и оболочки СПП является увеличение тепловложения в сердечник порошковой проволоки, за счет дополнительного подогрева, что достигается введение в состав ее шихты экзотермических смесей [5–7]. Введение экзотермической смеси в состав сердечника порошковой проволоки оказывает влияние на ее сварочно-технологические свойства и параметры сварного шва. Поэтому исследование влияния экзотермической смеси на характеристики плавления проволоки и характер формирования сварного шва при разработке СПП с экзотермической смесью является важной задачей. Данные о таких исследованиях в литературе немногочисленны.

В качестве экзотермической смеси в сварочных материалах широко используется смесь окиси алюминия и алюминиевого порошка [5, 8, 9]. Применение такой смеси обеспечивает равномерность плавления оболочки и сердечника СПП, повышает производительность процесса сварки и наплавки, расширяет диапазон температур и полноту диссоциации газообразующих компонентов сердечника, в результате чего следует ожидать повышения эффективности защиты металла от взаимодействия с воздухом в начальной стадии этого процесса.

Целью данной работы является определение оптимальных режимов наплавки самозащитной порошковой проволокой с экзотермической смесью.

Определение технологически приемлемой области параметров режима наплавки, обеспечивающей получение максимального значения коэффициента наплавки при минимальных потерях электродного металла, производилось методом математического планирования эксперимента и статистической обработки данных. Исследовалось влияние величины сварочного тока $I_{св}$, напряжение на дуге U_d , коэффициента заполнения порошковой проволоки K_3 и соотношения содержания в сердечнике проволоки окиси алюминия и алюминиевого порошка β на характеристики плавления порошковых проволок с экзотермической смесью в составе наполнителя: коэффициент наплавки – α_n , коэффициент расплавления – α_p , и коэффициент общих потерь – ψ .

Для исследований были изготовлены СПП с экзотермической смесью диаметром 4 мм. В качестве газошлакообразующих компонентов применена наиболее часто используемая шлаковая основа самозащитных порошковых проволок: мрамор – плавиковый шпат – рутил. Содержание экзотермической смеси в шихте наполнителя проволок составляло 40 массовых процентов. Коэффициент заполнения порошковой проволоки K_3 изменялся за счет применения ленты различной ширины, при толщине 0,5 мм. Однопроходная наплавка валиков на пластины из низкоуглеродистой стали ВСт3пс размером 10×100×200 мм выполнялась на сварочном автомате А-874.

Для анализа результатов и статистической обработки данных использовалась программа Statistica 6.

При статистической обработке данных за основу принят симметричный не композиционный трехуровневый план второго порядка Бокса – Бенкена [10]. Эти планы позволяют получать максимальное количество объективной информации о влиянии изучаемых факторов на процесс с помощью наименьшего числа опытов. Они представляют собой сочетание двухуровневого (-1, +1) полного факторного эксперимента с неполно-блочным сбалансированным планом. Область планирования – гиперкуб, причем каждый из факторов принимает значения на трех уровнях: 1, 0 и 1.

Зависимость функции отклика от независимых переменных X_i находили в виде полинома второго порядка:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2$$

Данные полученные в результате исследований представлены в виде графиков Statistica 6.

Матрица планирования эксперимента приведена в табл. 1.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

Уровень факторов и интервал варьирования	Изменяемые параметры			
	Ісв, А	Uд, В	Отношение Fe ₂ O ₃ /Al=β	Кз, %
Нулевой уровень x=0	400	30	4	37
Интервал варьирования	50	2	1	3
Нижний уровень, x=-1	450	28	3	34
Верхний уровень, x= + 1	350	32	5	40
Кодовое обозначение переменных	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄

С учетом значимости коэффициентов модели для всех факторов математическое описание поверхности отклика следующее:

$$\begin{aligned} \alpha_p &= -168,72 + 0,201 I_{св} + 7,135 U_d + 18,64 \beta + 0,231 K_3 - 0,006 U_d I_{св} + \\ &+ 0,12 K_3 I_{св} + 0,1375 \beta U_d - 0,055 \beta K_3 - 0,000058 I_{св}^2 - 0,093 U_d^2 - 2,89 \beta^2 \\ \alpha_n &= -184,11 + 0,242 I_{св} + 8,608 U_d + 14,575 \beta + 0,135 K_3 + 0,0065 \beta I_{св} + 0,0024 K_3 I_{св} + 0,295 \\ &\beta U_d - 0,0024 U_d K_3 - 0,000205 I_{св}^2 - 0,146 U_d^2 - 3,315 \beta^2 \\ \Psi &= -17,75 + 0,191 I_{св} - 2,138 U_d + 9,025 \beta - 2,125 K_3 - 0,0147 U_d I_{св} + 0,0275 \beta I_{св} - 0,81 U_d \beta + \\ &0,0963 U_d K_3 + 0,000124 I_{св}^2 + 0,183 U^2 + 0,6165 \beta^2 \end{aligned}$$

Графическое изображение поверхностей отклика представлено на рис. 1 и рис. 2.

Анализ полученных регрессионных и графических зависимостей, построенных по результатам расчетов, показал увеличение коэффициента расплавления α_p с ростом $I_{св}$ (рис. 1, а), что связано с повышением производительности процесса наплавки, и уменьшение α_p с увеличением U_d , при росте которого увеличиваются потери электродного металла на разбрызгивание.

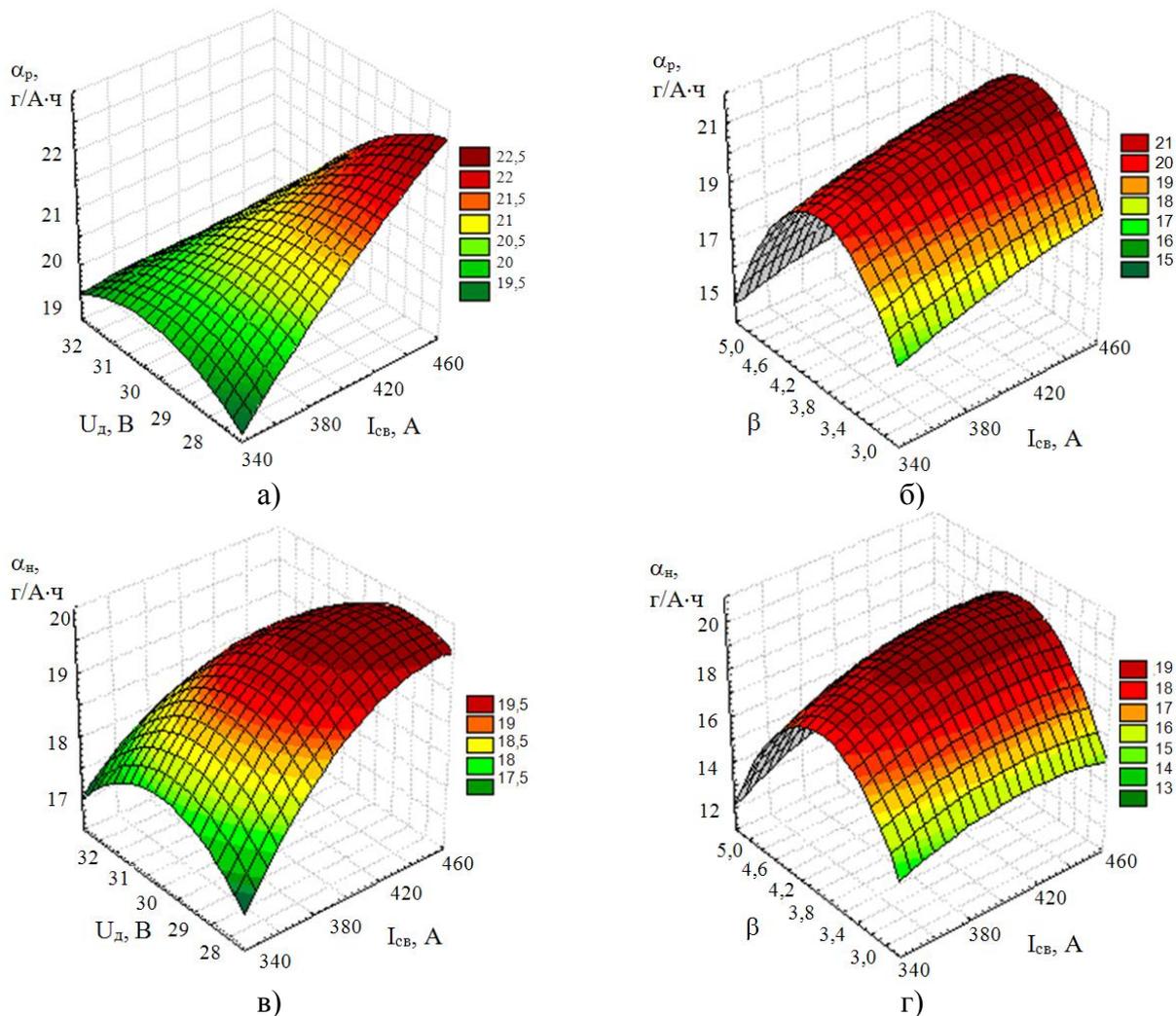


Рис. 1. Графіческие зависимости α_p и α_n от величин сварочного тока $I_{св}$, напряжения на дуге U_d и соотношения окалины и алюминиевого порошка β :
 а – зависимость α_p от U_d и $I_{св}$; б – зависимость α_p от β и $I_{св}$; в – зависимость α_n от U_d и $I_{св}$; г – зависимость α_n от β и $I_{св}$

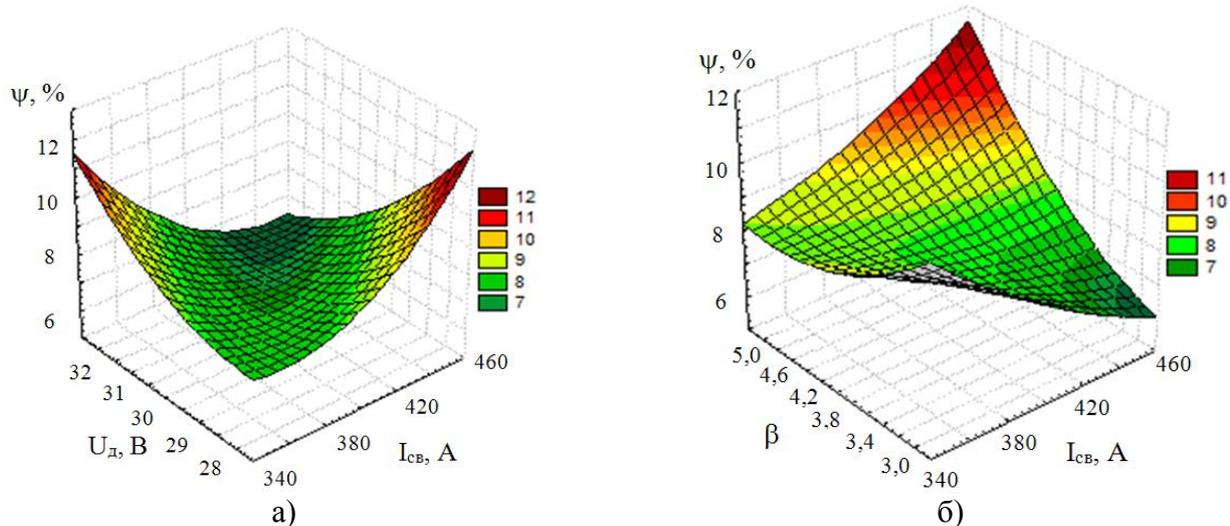


Рис. 2. Графіческие зависимости ψ от величин сварочного тока $I_{св}$, напряжения на дуге U_d и соотношения окалины и алюминиевого порошка β :
 а – зависимость ψ от U_d и $I_{св}$; б – зависимость ψ от β и $I_{св}$

При увеличении соотношения содержания окислы и алюминийового порошка β в составе шихты сердечника порошковой проволоки наблюдается экстремальное изменение α_p во всем диапазоне величин сварочного тока (рис. 1, б). Это объясняется тем, что увеличение содержания окислы, при достаточном количестве раскислителя – алюминия, приводит к повышению количества выделяемого тепла в результате протекания экзотермической реакции и повышению количества восстановленного железа. Максимальное значение α_p получено при $\beta = 4$. Дальнейшее уменьшение α_p связано со снижением скорости расплавления порошковой проволоки, что обусловлено наличием значительного количества окислы без достаточного количества раскислителя.

Влияние величины сварочного тока $I_{св}$, напряжения на дуге U_d и соотношения окислы и алюминийового порошка β на коэффициент наплавки α_n (рис. 1, в, г) аналогично их влиянию на коэффициент расплавления α_p . Большой градиент α_n , по сравнению с α_p , при средних значениях тока и напряжения связан с уменьшением потерь электродного металла на угар и разбрызгивание.

Коэффициент общих потерь Ψ увеличивается с увеличением $I_{св}$ при малых значениях U_d (рис. 2, а). Это связано с тем, что при малой тепловой мощности дуги не происходит заметное развитие экзотермической реакции, а только незначительно улучшается равномерность плавления сердечника и оболочки порошковой проволоки. Увеличение тока приводит к повышению потерь электродного металла на угар, а следовательно и общих потерь Ψ . Увеличение коэффициента общих потерь Ψ с ростом напряжения U_d , при низких значениях сварочного тока $I_{св}$ (рис. 2, а), также связано с малой тепловой мощностью дуги и увеличением потерь на разбрызгивание с возрастанием напряжения.

Увеличение U_d при высоких значениях $I_{св}$ и повышение $I_{св}$ при высоком U_d приводит к уменьшению коэффициента общих потерь в связи с более интенсивным протеканием экзотермической реакции на торце проволоки и стадии капли, что интенсифицирует и способствует более полной диссоциации карбонатов до попадания в каплю и сварочную ванну, усиливает протекание восстановительных реакций и улучшает защиту зоны дугового разряда. При этом дуговой разряд протекает более стабильно, без взрывного отделения электродных капель.

Уменьшение коэффициента общих потерь Ψ при увеличении соотношения окислы и алюминия β , при малых значениях $I_{св}$ и постоянном значении напряжения (рис. 2, б), связано с повышением количества выделяемого тепла в результате протекания экзотермической реакции. При этом дуговой разряд протекает более стабильно, без взрывного отделения электродных капель. Увеличение Ψ с увеличением β , при больших значениях $I_{св}$, обусловлено значительным увеличением тепловой мощности, и связанным с этим интенсивным испарением электродного металла.

Увеличение коэффициента заполнения порошковой проволоки приводит к увеличению коэффициента наплавки, уменьшению коэффициента общих потерь и практически не оказывает влияния на коэффициент расплавления.

Таким образом, исходя из анализа уравнений регрессии и рис. 1 и рис. 2, наиболее приемлемыми являются такие параметры режима наплавки: $I_{св}=380\dots400$ А, $U_d=29\dots30$ В, $\beta=4$, $K_3=37\%$, при которых достигаются следующие значения показателей плавления самозащитной экзотермической порошковой проволоки: $\alpha_p=19,5\dots21$ г/А·ч; $\alpha_n=18\dots19$ г/А·ч; $\Psi = 7\dots8$ %.

ВЫВОДЫ

1. Применение методов статистической обработки результатов эксперимента позволило установить технологически приемлемую область параметров режима наплавки: $I_{св} = 380...400$ А, $U_{д} = 29...30$ В, $\beta = 4$, $K_3 = 37\%$.

2. Наплавка на полученных режимах обеспечивает следующие показатели плавления СПП с экзотермической смесью: коэффициент расплавления $\alpha_p = 19,5...21$ г/А·ч; коэффициент наплавки $\alpha_n = 18...19$ г/А·ч; коэффициент общих потерь $\Psi = 7...8\%$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами / И. К. Походня [и др]. – К. : Наукова думка, 2004. – 448 с.*
2. *Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях / Р. Розерт // Автоматическая сварка. – 2014. – №6–7. – С. 60–64.*
3. *Гринь А. Г. Отделимость шлаковой корки при наплавке самозащитной порошковой проволокой / А. Г. Гринь, В. М. Карпенко, И. В. Бойко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – №5. – С. 169–173.*
4. *Походня И.К. Сварка порошковой проволокой / И.К. Походня, А.М. Суптель, В.Н. Шлепаков. – Киев: Наукова думка, 1972 – 224 с.*
5. *Зареченский А. В. Особенности плавления порошковых лент с термитными смесями / А. В. Зареченский, Л. К. Лецинский, В. В. Чигарев // Сварочное производство. – 1985. – №8. – С. 39–41.*
6. *Иоффе О. М. Влияние титано-термитной смеси, входящей в электродное покрытие, на повышение производительности сварки / И. С. Иоффе, О. М. Кузнецов, В. М. Питецкий // Сварочное производство. – 1980. – №3. – С. 26–28.*
7. *Жариков С. В. Влияние экзотермической смеси, входящей в состав наполнителя самозащитной порошковой проволоки на повышение производительности наплавки / С. В. Жариков, В. М. Карпенко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2002. – №7 (53). – С. 133–137.*
8. *Власов А. Ф. Нагрев и плавление электродов с экзотермической смесью в покрытии / А. Ф. Власов, Н. А. Макаренко, А. М. Куций // Автоматическая сварка. – 2014. – №6–7. – С. 151–154.*
9. *Кориунов В. В. Исследование тепловых эффектов экзотермических реакций при термодиффузионном упрочнении деталей сельхозмашин / В. В. Кориунов, Г. В. Гурьянов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – №3 (31). – С. 61–66.*
10. *Маркова Е. В. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей / Е. В. Маркова, А. Н. Лысенков. – М. : Наука, 1973. – 219 с.*