

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОЗИЦИИ КАРБОНАТОВ СЕРДЕЧНИКА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ НАПЛАВКИ

Жариков С. В., Гринь А. Г., Богуцкий А. А.

В статье исследовано влияние соотношения композиции карбонатов, используемых в качестве газообразующих составляющих сердечника самозащитной экзотермической порошковой проволоки, на растворимость азота в наплавленном металле. Было исследовано 15 составов сердечника порошковых проволок с различным соотношением композиции карбонатов. Используя симплексно-центроидный план эксперимента с 4 факторами и специальную кубическую модель, получена математическая модель влияния соотношения композиции карбонатов на содержание азота в наплавленном металле. Для анализа результатов исследования и построения математической модели применена программа Statistica 6.

У статті досліджено вплив співвідношення композиції карбонатів, які використовуються в якості газотвірних складових осердя самозахисного екзотермічного порошкового дроту, на розчинність азоту у наплавленому металі. Було досліджено 15 складів осердя порошкових дротів з різним співвідношенням композиції карбонатів. Використовуючи симплексно-центроїдний план експерименту з 4 факторами і спеціальну кубічну модель, отримано математичну модель впливу співвідношення композиції карбонатів на вміст азоту в наплавленому металі. Для аналізу результатів дослідження і побудови математичної моделі застосована програма Statistica 6.

The article investigated the influence of the composition ratio of carbonate used as gassing components of the core self-shielded exothermic powder wires, the solubility of nitrogen in the deposited metal. It has been investigated 15 compositions of the core powder wires with different ratios of composition of carbonates. Using the simplex- centroid plan an experiment with 4 factors and special cubic model, the mathematical model of the influence of the composition ratio of carbonates for the content of the nitrogen in the deposited metal is received. To analyze the results of the investigation and construction of a mathematical model program Statistica 6 is used.

Жариков С. В.

Гринь А. Г.

Богуцкий А. А.

ст. преп. каф. ОиТСП ДГМА
mf@dgma.donetsk.ua
канд. техн. наук,
доц. каф. ОиТСП ДГМА
sp@dgma.donetsk.ua
доц. каф. ОиТСП ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.791

Жариков С. В., Гринь А. Г., Богуцкий А. А.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОЗИЦИИ КАРБОНАТОВ СЕРДЕЧНИКА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ НАПЛАВКИ

В современном промышленном производстве в Украине и за рубежом для восстановления и упрочнения штампового инструмента широко применяются самозащитные порошковые проволоки (СПП), являющиеся одним из наиболее универсальных присадочных материалов для механизированной и автоматизированной электродуговой наплавки [1, 2].

Важным резервом улучшения характеристик плавления СПП является введение в состав их шихты экзотермических смесей [3, 4]. Однако при разработке самозащитной экзотермической порошковой проволоки (СЭПП) одной из проблем является ограничение объема вводимых компонентов шихты. Применение в составе наполнителя СЭПП достаточно большого количества легирующих элементов, в виде порошков отдельных элементов или ферросплавов, и экзотермической смеси, создает предпосылку к оптимизации газошлаковой составляющей наполнителя проволоки. Введение необходимого количества легирующих элементов и экзотермической смеси может быть достигнуто за счет уменьшения количества газошлакообразующих материалов в сердечнике порошковой проволоки. Вместе с тем это может привести к ухудшению газошлаковой защиты металла шва, появлению дефектов типа пор и общему снижению показателей его механических свойств. Кроме того недостатком СПП является неизбежная пористость ее сердечника. До 20% объема сердечника порошковой проволоки занимают пустоты. При наплавке такой проволокой в дугу вводится достаточно большое количество кислорода и азота, что увеличивает склонность наплавленного металла к порам [1]. Поэтому усовершенствование состава газошлакообразующей части сердечника СЭПП, обеспечивающей надежную защиту от взаимодействия с воздухом является важной задачей.

В работах [1, 5] указывается, что азот, а не кислород воздуха вызывает пористость сварного шва. Поэтому, предотвращение пористости возникающей при наплавке СПП, во многом будет зависеть от эффективности защиты жидкого металла от азота воздуха. Снижение содержания азота в металле наплавки достигается в результате рационального выбора состава газо-шлакообразующей части и нитридообразующих сердечника порошковой проволоки [2, 5].

Для сохранения защитных свойств СЭПП, снижения содержания газов в металле и обеспечения необходимой степени легирования ряд авторов [1, 6–8] использует в качестве газообразующих компонентов сердечника композицию карбонатов щелочных и щелочноземельных металлов, основной оксид которых, после разложения карбоната, участвует в образовании шлака. Для созданных композиций стремятся обеспечить равномерное выделение защитных газов в широком диапазоне температур от 400°C до 1500°C. Это гарантирует создание надежной защиты расплавленного металла от воздуха. Использование композиций карбонатов позволяет снизить количество газошлакообразующих веществ в наплавочных СПП до 6...8 % [7].

Варьирование содержанием композиции газошлакообразующих позволяет влиять на кинетику газообразования, равномерность и полноту разложения газообразующих компонентов шихты порошковой проволоки, как на ее вылете так и на стадии плавления. Данные о таких исследованиях с наплавочными материалами в литературе ограничены.

Целью данной работы является исследование влияния количества и соотношения композиции карбонатов металлов на поглощение азота наплавленным металлом.

На основе результатов расчёта объема выделяющегося CO_2 при диссоциации карбонатов [9] и данных [10] по температуре их диссоциации в качестве объекта исследования была взята композиция карбонатов MgCO_3 , CaCO_3 , Li_2CO_3 , Na_2CO_3 , как газообразующая часть сердечника.

Для получения математической модели, отражающей влияние соотношения компонентов композиции карбонатов на содержание азота в наплавленном металле. Исследовалось 15 вариантов состава сердечника СЭПП с различным соотношением карбонатов. Карбонаты вводились в шихту наполнителей порошковых проволок при оптимальном соотношении газошлакообразующих компонентов – плавикового шпата и рутилового концентрата. Количество газошлакообразующих компонентов в шихте наполнителя составляло 24 массовых процента, что составляет 9 % состава СЭПП. Доля композиции карбонатов в составе газошлакообразующей части шихты составляла 20 %. Содержание экзотермической смеси в шихте наполнителя СПП составляло 40 массовых процентов. Для определения содержания газов производилась многослойная наплавка, из которой изготавливались образцы диаметром 4 мм, массой $0,45 \pm 0,05$ г. Содержание азота в наплавке определяли на газоанализаторе ТС-136 фирмы «Лесо». Наплавку образцов осуществляли СЭПП на режиме $I_{\text{СВ}} = 380 \dots 400$ А, $U_{\text{д}} = 29 \dots 30$ В, $V_{\text{СВ}} = 19,3$ м/ч. Определение газов на газоанализаторе проводили не позже 36 часов после наплавки.

Для анализа результатов и построения математической модели использовалась программа Statistica 6. При создании математической модели за основу принят симплексно-центроидный план эксперимента с 4 факторами, рандомизированный порядок опытов и специальная кубическая модель [11].

Исследовали влияние соотношения компонентов композиции карбонатов на содержание азота. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты проведения экспериментов

№	Содержание карбонатов, относительных единиц				Среднее значение содержания азота в наплавке [N], %
	CaCO_3	MgCO_3	Na_2CO_3	Li_2CO_3	
1	1	0	0	0	0,0363
2	0	1	0	0	0,0325
3	0	0	1	0	0,0377
4	0	0	0	1	0,028
5	0,5	0,5	0	0	0,0332
6	0,5	0	0,5	0	0,0375
7	0,5	0	0	0,5	0,0326
8	0	0,5	0,5	0	0,0339
9	0	0,5	0	0,5	0,0298
10	0	0	0,5	0,5	0,0335
11	0,334	0,333	0,333	0	0,0355
12	0,334	0,333	0	0,333	0,0318
13	0,334	0	0,333	0,333	0,034
14	0	0,334	0,333	0,333	0,0329
15	0,25	0,25	0,25	0,25	0,0336

Величина значимости при проверке адекватности данной модели $p=0,011$, следовательно полученная модель адекватна с уровнем доверия 98,9 %. Оценка значимости коэффициентов регрессии производится по критерию Стьюдента. Статически значимыми по критерию Стьюдента коэффициенты модели для различных факторов считаются при уровне значимости $p < 0,05$. Если $p > 0,05$, то коэффициент считается незначимым и исключается из модели [11].

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

$$\begin{aligned}
 [N] = & 0,0363 \cdot \text{CaCO}_3 + 0,0325 \cdot \text{MgCO}_3 + 0,0377 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 + 0,028 \cdot \text{Li}_2\text{CO}_3 - \\
 & - 0,004784 \text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 - 0,004784 \text{MgCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 + \\
 & + 0,002616 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{Li}_2\text{CO}_3 + 0,022296 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 - \\
 & - 0,01972 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{Li}_2\text{CO}_3 + 0,01608 \cdot \text{MgCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{Li}_2\text{CO}_3
 \end{aligned} \quad (1)$$

Для моделей, у которых компонентов смеси больше трех, построение поверхностей отклика производится при некоторых дискретных значениях остальных компонентов. В качестве базового компонента исследуемой композиции карбонатов в нашей модели взят карбонат кальция CaCO_3 , как наиболее применяемый в качестве газообразующего компонента наполнителей самозащитных порошковых проволок [1, 7, 12], обеспечивающий защиту зоны сварочной дуги и стабильность дугового процесса. Кроме того, основной оксид CaO по сравнению с остальными оксидами, образующимися при диссоциации данной композиции карбонатов, в наибольшей степени способствует рафинированию металла шва, связывая серу и особенно фосфор и облегчая их переход в шлак.

Поверхности отклика получаем при фиксированных значениях CaCO_3 и изменении трех остальных факторов.

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

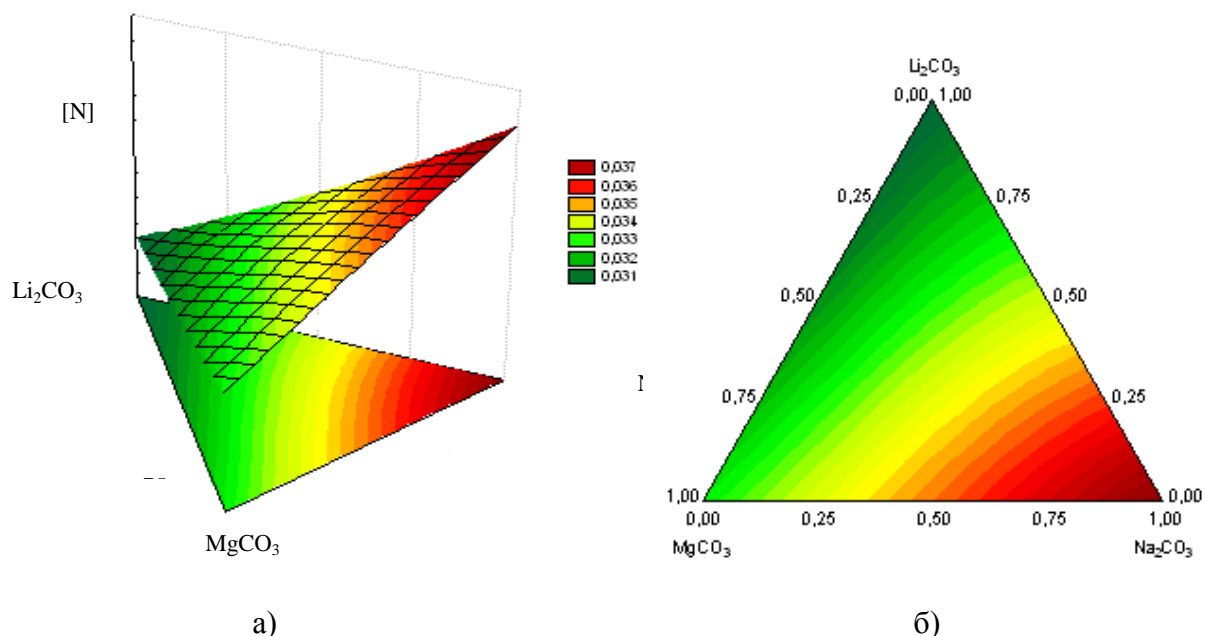


Рис. 1 Графические изображения полученной модели:

а – трехмерное изображение ($\text{CaCO}_3=0,25$); б – контурное изображение ($\text{CaCO}_3=0,25$)

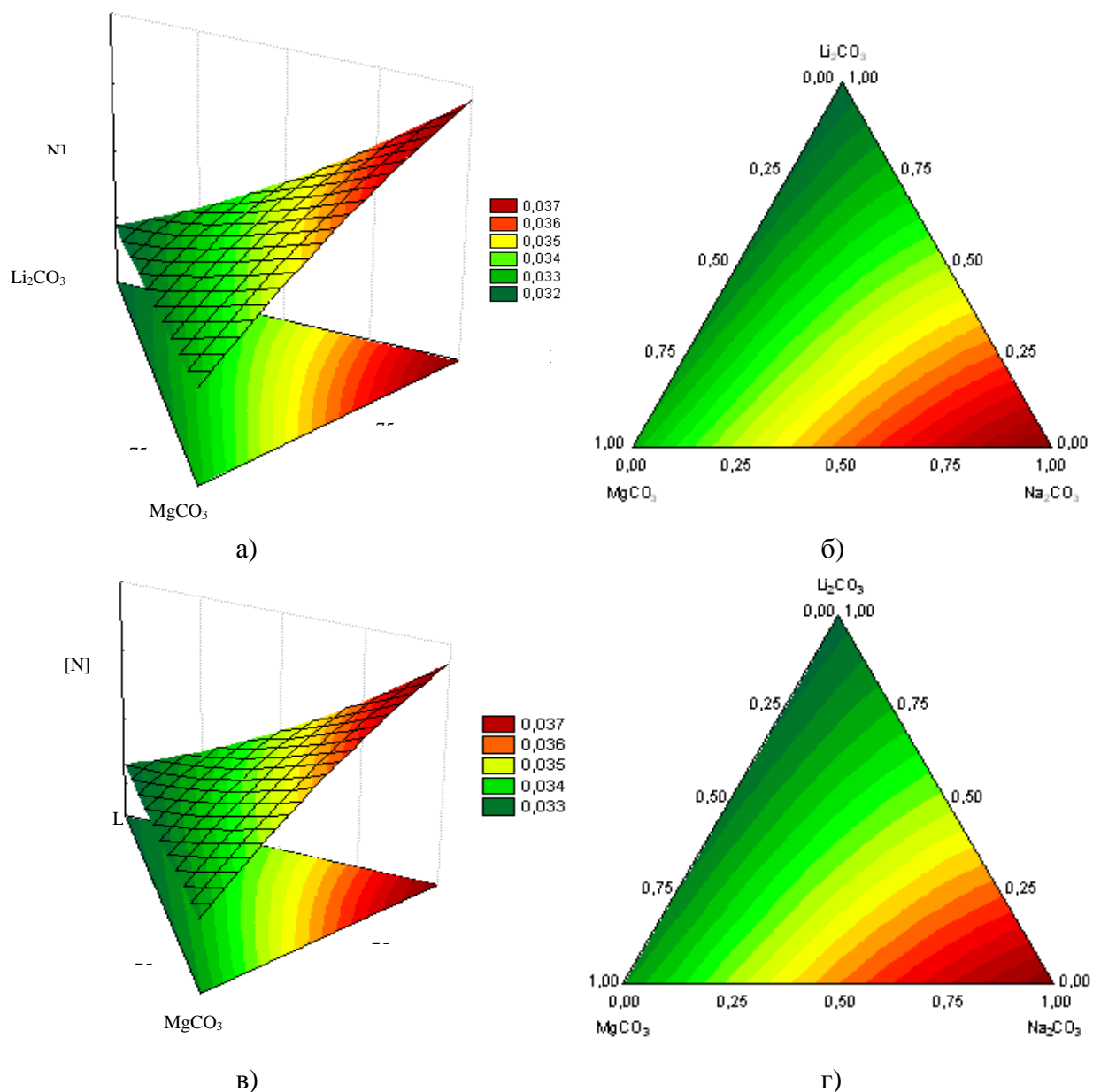


Рис. 2. Графические изображения полученной модели:
 а – трехмерное изображение ($\text{CaCO}_3=0,4$); б – контурное изображение ($\text{CaCO}_3=0,4$);
 в – трехмерное изображение ($\text{CaCO}_3=0,5$); г – контурное изображение ($\text{CaCO}_3=0,5$)

Анализ графических изображений поверхностей отклика проводился при минимальном содержании азота в наплавленном металле $[\text{N}] = 0,032 \dots 0,033 \%$. Установлено, что наиболее эффективные соотношения композиции карбонатов лежат в области:

- при содержании $\text{CaCO}_3 = 25\%$, содержание остальных компонентов: $\text{Li}_2\text{CO}_3 = 22 \dots 38\%$, $\text{MgCO}_3 = 18 \dots 41\%$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 11 \dots 18\%$;
- при содержании $\text{CaCO}_3 = 40\%$, содержание остальных компонентов: $\text{Li}_2\text{CO}_3 = 30 \dots 40\%$, $\text{MgCO}_3 = 10 \dots 25\%$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 5 \dots 10\%$;
- при содержании $\text{CaCO}_3 = 50\%$, содержание остальных компонентов: $\text{Li}_2\text{CO}_3 = 30 \dots 40\%$, $\text{MgCO}_3 = 5 \dots 17\%$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 3 \dots 5\%$.

Полученные соотношения составляющих композиции за счет полной и поэтапной диссоциации обеспечивают качественную защиту дуги и расплавленного металла. Наиболее низкую температуру диссоциации имеет карбонат магния [10], он полностью диссоциирует при подходе к дуговому промежутку и обеспечивает газовую защиту при относительно низ-

ких температурах. Наиболее высокую температуру начала диссоциации имеет карбонат натрия, в дуговом промежутке при избыточном содержании в композиции он диссоциирует не полностью [1] и продолжает диссоциировать в сварочной ванне, способствуя образованию пористости в наплавленном металле. Карбонаты кальция и лития начинают диссоциировать при более низких температурах, чем карбонат натрия, за счет чего обеспечивается их более полная диссоциация непосредственно в дуговом промежутке, приводящая к повышению стойкости наплавленного металла против пор.

Таким образом, на основе анализа графических зависимостей и приведенных литературных данных в качестве наиболее эффективной композиции карбонатов, обеспечивающей низкое содержание азота в металле шва, принято следующее соотношение композиции карбонатов $\text{CaCO}_3 = 40\%$, $\text{Li}_2\text{CO}_3 = 30\text{...}40\%$, $\text{MgCO}_3 = 10\text{...}25\%$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 5\text{...}10\%$. Данное соотношение обеспечивает надежную защиту металла от азота за счет равномерного выделения защитных газов в широком температурном интервале, повышает стойкость наплавленного металла против пор и улучшает физические и технологические свойства шлаков.

ВЫВОДЫ

1. Полученная математическая модель, может быть использована при оптимизации газошлакообразующей части самозащитных порошковых проволок и отражает влияние соотношения компонентов композиции карбонатов на содержание азота в наплавленном металле.

2. Установлено, что оптимальный состав композиции карбонатов газообразующей части наполнителя СЭПП: $\text{CaCO}_3 = 40\%$, $\text{Li}_2\text{CO}_3 = 30\text{...}40\%$, $\text{MgCO}_3 = 10\text{...}25\%$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 5\text{...}10\%$, при котором в наплавленном металле минимальное содержание азота $[\text{N}] \leq 0,034\%$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами / И. К. Походня и др. – К. : Наукова думка, 2004. – 448 с.*
2. *Гринь А. Г. Отделимость шлаковой корки при наплавке самозащитной порошковой проволокой / Гринь А. Г., Карпенко В. М., Бойко І. В. // Вісник ДДМА. – Краматорськ, 2006. – №5. – С. 169–173.*
3. *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.*
4. *Жариков С. В. Влияние экзотермической смеси, входящей в состав наполнителя самозащитной порошковой проволоки на повышение производительности наплавки / С. В. Жариков, В. М. Карпенко // Науковий журнал: Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ, СНУ, 2002. – Вип. 7(53).*
5. *Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / А. А. Ерохин. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.*
6. *Пат. № 26651 Україна, МКІ^В В 23 К 35/365. Склад електродного покриття / Єфіменко М. Г., Калін М. А. – № 93111486; заявл. 10.01.1993; опубл. 12.11.1999, Бюл. № 7. – 8 с.*
7. *Котельчук А. С. Разработка порошковой проволоки для сварки вертикальных стыковых соединений низколегированных сталей с принудительным формированием швов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.06 / Котельчук А. С. – Киев, 1999. – 22 с.*
8. *Shlepakov V. N. Kinetics of gas generation in flux-cored wire welding / V. N. Shlepakov, S. A. Suprun, A. S. Kotel'chuk // Intern. Inst. of Welding; Doc. XII – 1046-87. – 1987. – P. 15*
9. *Определение газовой выделенности карбонатами металлов при плавлении самозащитных порошковых проволок / С. В. Жариков, А. Г. Гринь, А. А. Богуцкий, Р. С. Недодай // Науковий вісник ДДМА. – Краматорськ, 2014. – № 3 (15Е). – С. 22–26.*
10. *Лидин Р. А. Химические свойства неорганических веществ / Р. А. Лидин, В. А. Молочко, Л. Л. Андреева. – М. : Химия, 1997. – 480 с.*
11. *Математическое моделирование систем и процессов : учебное пособие / сост. : П. А. Гавриш, Л. В. Васильева. – Краматорск : ДГМА, 2007. – 100 с.*
12. *Пат. 36226 Україна, МПК⁷ В 23 К 35/30. Склад для самозахисного порошкового дроту / Гринь О. Г., Бойко І. О. – № 200714790; заявл. 26.12.2007; опубл. 27.10.2008, Бюл. № 20. – 2 с.*