

УДК 621.791

Гринь А. Г., Жариков С. В., Бойко И. А., Трембач Б. А., Трембач И. А.

**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛА ПРОТИВ ПОРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ НАПЛАВКЕ**

Замена вышедшего из строя инструмента для обработки металла давлением и последующая наладка оборудования занимают значительное время, что снижает производительность труда, а увеличение расхода инструмента резко повышает затраты и, как следствие, себестоимость конечного продукта. Поэтому проблема удешевления такого инструмента и повышение его стойкости имеет большое технико-экономическое значение.

Одним из путей решения данной проблемы является упрочняющая и восстановительная наплавка рабочего инструмента самозащитной порошковой проволокой (СПП).

СПП является одним из наиболее универсальных присадочных материалов для механизированной и автоматизированной электродуговой наплавки [1–4]. Составной частью сердечника порошковой проволоки является газошлакообразующая композиция, определяющая тип проволоки. Количество неметаллических материалов в сердечнике такой проволоки выше, чем у проволок, используемых для сварки с дополнительной защитой.

СПП для наплавки строятся, в основном, на основе шлаковых систем карбонатно-флюоритного типа, при плавлении которых образуются шлаки основного характера системы  $\text{CaO} - \text{CaF}_2 - \text{TiO}_2$  [1–3, 5–6]. Наличие основных окислов в шлаке способствует удалению из металла серы и фосфора. Газообразующую основу сердечника составляют карбонаты щелочноземельных и щелочных элементов, основной окисел которых после разложения карбоната участвует в образовании шлака. Проволоки с сердечником карбонатно-флюоритного типов позволяют использовать большие значения сварочного тока и благодаря этому обладают высокими показателями производительности наплавки. Эти проволоки в широком диапазоне составов легирующей части обеспечивают хорошее формирование валиков и отделимость шлаковой корки, умеренное разбрызгивание [1, 3].

Недостатком порошковой проволоки является неизбежная пористость ее сердечника. До 20 % объема сердечника порошковой проволоки занимают пустоты. При наплавке такой проволокой в дугу вводится довольно большое количества кислорода и азота, что увеличивает склонность наплавленного металла к порам [1, 7–8]. Поэтому оптимизация шлаковой системы надежно защищающей металл от взаимодействия с воздухом является важной задачей при разработке новых сварочных материалов.

В работе [1, 2, 7] 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. Качество защиты обеспечивает газо-шлакообразующая часть сердечника порошковой проволоки. Снижение содержания азота в металле наплавки достигается в результате рационального выбора состава газо-шлакообразующей части сердечника порошковой проволоки [3, 6–7]. В связи с высокими скоростями плавления порошковых проволок наблюдается малое время пребывания компонентов их сердечника в зоне нагрева. Это сказывается на полноте диссоциации карбонатов на различных стадиях дугового процесса. При наплавке СПП защита электродных капель и сварочной ванны от азота воздуха менее надежна, чем при плавлении проволоки в защитных газах или сварке штучными электродами. Выделение азота, поглощенного жидким металлом во время кристаллизации сварочной ванны, в ряде случаев является основной причинной возникновения пористости [1, 2, 7].

Целью данной работы является исследование влияния соотношения компонентов шлаковой системы на поглощение азота наплавленным металлом.

При разработке СПП для наплавки рабочего инструмента обработки металла давлением перспективным является применение следующей шлаковой основы наполнителя: мрамор, плавиковый шпат, перовскитовый или рутиловый концентрат.

Варьирование содержанием комплекса газшлакообразующих материалов позволяет влиять на кинетику газообразования, равномерность и полноту разложения газобразующих компонентов шихты порошковой проволоки, как на ее вылете так и на стадии плавления.

Процесс горения дуги на токе прямой полярности протекает более спокойно и устойчиво [1]. В связи с тем, что малоподвижное анодное пятно расположено на ванне, то при повышении напряжения на дуге шлак и окисные пленки меньше оттесняются из высокотемпературной области сварочной ванны, и условия ее защиты не ухудшаются. При наплавке на обратной полярности расположение малоподвижного пятна соответственно меняется. При сварке СПП основного класса каплями вносится до 40–70 % азота, а ванной поглощается 30–50 % азота в наплавленный металл [5], поэтому газшлакообразующая составляющая проволоки должна ограничить поглощение азота не только на стадии капли, но и ванны.

В работе [5, 6] указывается, что содержание азота изменяется незначительно и определяется только шлаковой фазой. Увеличение содержания газобразующих компонентов в порошковой проволоке ( $\text{CaCO}_3$ ) ведет к увеличению основности шлака и, соответственно, к уменьшению степени поглощения азота металлом ванны и росту количества азота вносимого каплями. Оптимизация основности шлака является одним из путей улучшения сварочно-технологических свойств порошковой проволоки. Увеличение содержания карбонатов кальция в газшлакообразующей части шихты порошковой проволоки свыше 25...30 % приводит к значительным потерям на разбрызгивание.

Температурное поле при наплавке порошковой проволокой неоднородно. Воздействию максимальных температур (до 2500 К) подвергается капля на торце проволоки, капля пролетающая столб дугового разряда, а также передняя часть сварочной ванны, во всех случаях расплавленный металл покрыт пленкой жидкого шлака. Меньшее значение температур характерно для кристаллизующейся части сварочной ванны, где шлак является единственным источником защиты металла. В этих условиях неоднородности температурного поля на различных стадиях образования слоя наплавленного металла доминирующая роль газовой и шлаковой фаз может меняться, но способствуют уменьшению количества азота в металле шва. В силу невозможности создания направленного газового потока, омывающего зону сварки СПП, (подобно образующемуся при плавлении штучного электрода) и ограниченности количества вводимых газобразующих компонентов, газовая фаза при диссоциации этих минералов является вспомогательным средством защиты от адсорбции азота.

При постоянном уровне газовой защиты, обеспечиваемой содержанием мрамора, влияние основности шлака, зависимой от отношения  $\text{CaF}_2/\text{TiO}_2$  – значительно. Так, увеличение этого соотношения с 0,25 до 4 приводит к уменьшению общего количества азота в металле шва на 25–30 %. Можно предположить, что увеличение основности шлака ведет к повышению содержания азота в капле. Что может быть объяснено увеличением жидкотекучести шлака на поверхности капли, размеров переходящих капель, следовательно, и их поверхностью взаимодействующей с газовой фазой. Уменьшение основности приводит к снижению степени поглощения азота металлом капли и ванны за счет повышения эффективности защитных свойств шлаковой фазы. Регулируя содержание фторидов ( $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{NaF}$ ) в шлаковой фазе и ее основность, можно изменять площадь взаимодействия жидкого металла на стадии капли и ванны с азотом воздуха в зоне сварки.

В соответствии с исследованиями, проводимыми Карпенко В.М. и другими исследователями [3–4] установлено, что при содержании плавикового шпата более 3 % состава шихты сердечника порошковой проволоки шлаковая корка полностью покрывает поверхность наплавленного валика и сравнительно легко отделяется при хорошем формировании металла

шва. При сниженні содержания плавикового шпата и повышении содержания мрамора ухуджується смачиваемость металла шва жидким шлаком и ухуджується відделимость шлакової корки.

Для получения математической модели, отражающей влияние газошлакообразующей составляющей порошковой проволоки на содержание азота в наплавленном металле, исследовалось 10 вариантов состава с различными соотношениями компонентов: плавиковый шпат  $\text{CaF}_2$ , рутиловый концентрат  $\text{TiO}_2$ , мрамор  $\text{CaCO}_3$  (табл. 1). Количество газошлакообразующих компонентов в шихте наполнителя составляло 13 массовых процентов. Легирующая часть шихты каждого наполнителя рассчитывалась на получение наплавленного металла типа 40X12ГСВЗФ. Остальную часть шихты наполнителя составлял железный порошок. Коэффициент заполнения проволоки изменялся в пределах 0,32–0,35. Для определения азота производилась многослойная наплавка из которой изготавливались образцы диаметром 4 мм, массой 0,45 г. Наплавку образцов осуществляли на режиме  $I_{CB} = 230\text{--}240$  А,  $U_D = 24\text{--}25$  В,  $V_{CB} = 18$  м/ч. Определение газов на газоанализаторе проводили не позже 36 часов после наплавки.

Для анализа результатов и построения математической модели использовалась программа Statistica 6. Данные полученные в результате исследований представлены в виде графиков и таблиц Statistica 6.

Таблица 1

## Результаты статистического анализа

№	Состав газошлакообразующей части сердечника самозащитной порошковой проволоки, относительных единиц			Среднее значение содержания азота в наплавке $N$ , %
	$\text{CaF}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaCO}_3$	
1	0,2	0,8	0	0,025
2	0,175	0,7	0,125	0,02
3	0,155	0,622	0,223	0,016
4	0,35	0,525	0,125	0,018
5	0,311	0,467	0,222	0,017
6	0,525	0,35	0,125	0,017
7	0,467	0,311	0,222	0,015
8	0,8	0,2	0	0,022
9	0,7	0,175	0,125	0,016
10	0,6	0,4	0	0,022

При создании математической модели учитывалось то, что за основу принят симплексно-центроидный план эксперимента и рандомизированный порядок опытов [9].

Получена математическая модель следующего вида:

$$N = 0,02379 \cdot \text{CaF}_2 + 0,02894 \cdot \text{TiO}_2 + 0,06565 \cdot \text{CaCO}_3 - 0,01711 \cdot \text{CaF}_2 \cdot \text{TiO}_2 - 0,13568 \cdot \text{CaF}_2 \cdot \text{CaCO}_3 - 0,12344 \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{CaCO}_3 + 0,17075 \cdot \text{CaF}_2 \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{CaCO}_3. \quad (1)$$

Графическое изображение поверхности отклика представлено на рис. 1.

Значимость полученной модели определяли по критерию Стьюдента, при 5 % уровне значимости:

$$\frac{Y_q - \bar{Y}}{S^2_i} \leq t, \quad (2)$$

где  $S^2_i$  – рассчитывается по формуле (3):

$$S^2_i = \frac{\sum_{q=1}^n (Y_q - \bar{Y})^2}{n-1}, \quad (3)$$

де  $Y_q$  – результаты отдельного опыта;

$\bar{Y}$  – среднееарифметическое с численности опытов;

$n$  – количество опытов.

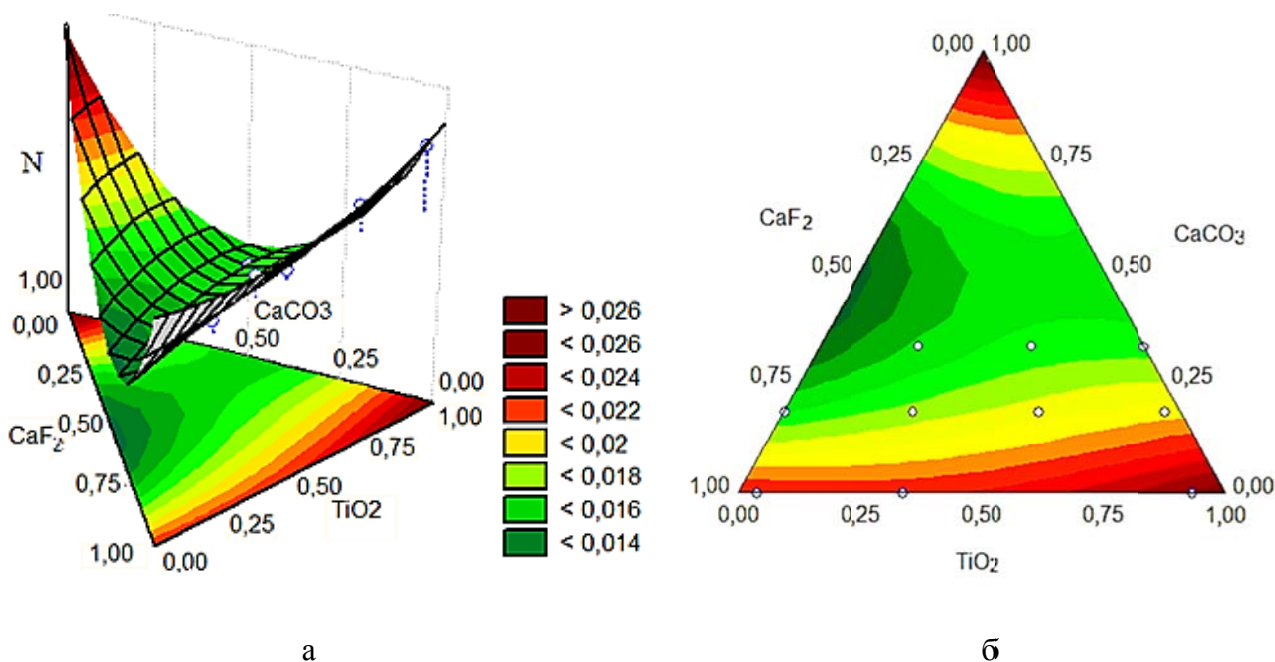


Рис. 1. Графические изображения полученной модели:  
а – трехмерное изображение; б – контурное изображение

Величина критерия Стьюдента  $t = 0,00856$ , так как полученная величина критерия Стьюдента меньше 0,05, то коэффициенты значимы.

Адекватность полученной модели проверяем по критерию Фишера:

$$F = \frac{S^2_{ad}(y)}{S^2(y)}, \quad (4)$$

где  $S^2(y)$  – дисперсия опыта, которая определяется по формуле:

$$S^2(y) = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S^2_u, \quad (5)$$

где  $S^2_{ad}(y)$  – дисперсия адекватности, которая определяется по формуле:

$$S_{ad}^2(y) = \frac{m}{N-l} \sum_{u=1}^N (y_u - y'_u)^2, \quad (6)$$

где  $l$  – число значимых коэффициентов регрессии;

$N$  – число опытов;

$y_u$  – расчетное значение отклика модели;

$y'_u$  – среднее значение отклика из  $N$  параллельных опытов.

Расчетный коэффициент  $F = 31,01$  больше 1, следовательно, отношение дисперсий для нашей модели значимо [9].

Данная математическая модель может быть использована при разработке газошлакообразующих систем самозащитных порошковых проволок с заданным содержанием компонентов шлаковой системы в шихте порошковой проволоки.

Из построенной модели видно, что отсутствие какого-либо из компонентов в системе, равно как и его добавка, более 80 % приводит к резкому росту содержания азота в металле шва. Это может быть объяснено изменением физических свойств шлака и уровнем газовой защиты расплавленного металла.

## ВЫВОДЫ

Полученная математическая модель может быть использована при оптимизации газошлакообразующей части самозащитных порошковых проволок, при плавлении которых образуются шлаки основного характера системы  $\text{CaO} - \text{CaF}_2 - \text{TiO}_2$ .

Установлено, что оптимальный состав гозашлакообразующей части самозащитной порошковой проволоки, при котором в наплавленном металле наименьшее содержание азота, можно обеспечить следующим соотношением:  $\text{CaF}_2$  0,7...0,75,  $\text{TiO}_2$  0,1...0,15,  $\text{CaCO}_3$  0,25...0,3. Отсутствие какого-либо из компонентов в системе, равно как и его содержание выше 80 %, приводит к резкому увеличению азота в металле шва.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Походня И. К. *Металлургия дуговой сварки* / И. К. Походня. – К. : Наукова думка, 2004. – 430 с.
2. Ерохин А. А. *Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности* / А. А. Ерохин. – М. : Машиностроение, 1973. – 448 с.
3. Прохоров Н. Н. *Физические процессы в металлах при сварке* / Н. Н. Прохоров. – М. : Металлургия, Т. 2, 1976. – 599 с.
4. Кирилук Г. А. *Взаимодействие металла электрода и сварочной ванны с азотом при наплавке самозащитной порошковой проволокой* / Г. А. Кирилук, Ю. А. Юзвенко // *Автоматическая сварка*. – 1983. – № 3. – С. 46–47, 65.
5. Иоффе И. С. *Влияние поглощения азота ванной на образование пор при сварке порошковой проволокой* / И. С. Иоффе // *Автоматическая сварка*. – 1976. – № 9. – С. 12–14.
6. Иоффе И. С. *Газовая и шлаковая защита от образования азота при сварке самозащитными порошковыми проволоками* / И. С. Иоффе, В. И. Зеленова // *Сварочное производство*. – 1986. – № 8. – С. 32–35.
7. *Отделимость шлаковой корки при наплавке самозащитной порошковой проволокой* / Гринь А. Г., Карпенко В. М., Бойко И. В. // *Вісник ДДМА : зб. наук. праць*. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – № 5. – С. 169–173.
8. Жариков С. В. *Состав и свойства шлака, образовавшегося при наплавке штампового инструмента экзотермической порошковой проволокой* / С. В. Жариков // *Захист металургійних машин від поломок : збірник наукових праць*. – Маріуполь, 2008. – Вип. 10. – С. 270–273.
9. Тараричкін І. О. *Статистичні методи забезпечення якості продукції зварювального виробництва* / І. О. Тараричкін. – Луганськ : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2002. – 336 с.

Статья поступила в редакцию 16.11.2011 г.