

УДК 621.791.927:669.018.25

*В. Б. Литвиненко-Арков, Г. Н. Соколов, Ф. А. Кязымов, В. И. Лысак, С. С. Гуц***ЛЕГИРОВАНИЕ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА АЗОТОМ
ЧЕРЕЗ НАПОЛНИТЕЛЬ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК*****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: naplavka34@yandex.ru

Изложены результаты исследования процесса легирования наплавленного металла системы С-Fe-Cr-Ni-Mo азотом, вводимым в наполнитель порошковых проволок в составе азотированного хрома. Показано, что превышение предела растворимости азота в перегретом расплаве электродного металла может стать причиной нарушения стабильности существования капель на торце электрода.

Ключевые слова: наплавка, наплавленный металл, порошковые проволоки, азот.

The results of investigation nitrogen alloying of C-Fe-Cr-Ni-Mo weld metal by chrome nitrided powder in filler wire are reviewed. It is shown that the excess of the solubility limit of nitrogen in the superheated molten electrode metal may violate of the stability of the existence of drops at the end of the electrode.

Keywords: surfacing, weld metal, cored wires, nitrogen.

Введение

Азот в наплавочных сплавах на основе железа обеспечивает их твердорастворное и дисперсионное упрочнение, а также, являясь активным аустенизатором, дает возможность экономить никель и марганец. Он способствует уменьшению интенсивности процесса обратного $\alpha \rightarrow \gamma$ мартенситного превращения в металле при повышенных температурах [1, 2], и, в отличие от большинства сплавов с карбидным упрочнением, дисперсные нитриды распределяются в матрице очень равномерно [3].

Проблема легирования такого типа наплавленного металла азотом из газовой или шлаковой фазы связана с большим количеством факторов, определяющих его количественный переход в наплавленный металл: температурой металла, парциальным давлением газа в атмосфере дуги, степенью диссоциации и возбуждения в дуге молекул азота, а также кинетическими параметрами плавления и переноса расплавленного металла, площадью поверхности взаимодействия фаз и др. [4]. Уменьшить количество факторов и упростить задачу легирования наплавленного металла азотом можно путем введения азотированных материалов непосредственно в наплавочную проволоку.

Цель работы – исследовать особенности легирования наплавленного металла азотом через наполнитель порошковых проволок.

Материалы и методики исследований

Для исследования особенностей легирования наплавленного металла азотом через наполнитель порошковых проволок (ПП) была

выбрана система легирования С-Fe-Cr-Ni-Mo, по содержанию основных элементов соответствующая ряду промышленных сплавов, масс. %: углерода – 0,06–0,10; хрома – 12–14; никеля – 3–4; молибдена – 1,0–2,5; а также кремния – 0,4–0,8; марганца – 0,4–0,8 и примесей серы и фосфора менее 0,03.

Экспериментальные ПП диаметром 2,6 мм изготавливали по известной технологии. Наполнитель проволок состоял из микропорошков чистых металлов, процентное содержание которых в ПП (с учетом коэффициентов перехода и доли основного металла) обеспечивало получение наплавленного металла с заданным химическим составом уже в первом технологическом проходе наплавки.

Для легирования наплавленного металла азотом использовали микропорошок (100–160 мкм) хрома азотированного (ТУ 0840-024-21600649-2009), содержащий до 16 масс.% азота [5].

Аргонодуговую наплавку экспериментальных образцов из стали Ст3пс осуществляли колеблющимся электродом в один проход при следующих параметрах режима: постоянный сварочный ток – 220–250 А, полярность обратная, напряжение на дуге – 25–26 В, скорость поперечных перемещений электрода – 4,2 см/с, размах колебаний электрода – 25–30 мм, скорость наплавки – 0,2–0,3 см/с, вылет электрода – 35–40 мм, расход аргона – 15–18 л/мин. Получали хорошо сформированный наплавленный металл с высотой и шириной валика соответственно 4–5 мм, 30–35 мм при доле участия металла основы 32–35 %.

Химический состав наплавленного металла контролировали методом искровой оптико-эмиссионной спектроскопии на специализированном приборе РМ1 «MASTER Pro». Содержа-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 12-08-33103 мол_а_вед, №13-08-01282_а.

ние азота в образцах наплавленного металла определяли по ГОСТ 12359–99. Контроль качества наплавленного металла осуществляли радиографическим методом по ГОСТ 7512–82. Анализ общей структуры наплавленного металла производили на химически травленных микрошлифах с использованием оптического микроскопа *Axiovert 40 MAT*.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Результаты химического анализа образцов наплавленного металла показали, что с увеличением количества азота в наполнителе проволок

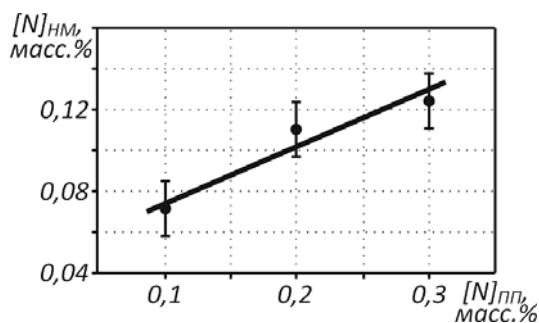


Рис. 1. Зависимость содержания азота в наплавленном металле $[N]_{НМ}$ от количества азота в наполнителе экспериментальных проволок $[N]_{ПП}$

увеличивается и его содержание в наплавленном металле, достигая предела растворимости в сплаве (рис. 1). Его количество в металле, наплавленном проволокой с содержанием 0,3 масс. % азота, составляет около 0,125 масс.%. Дальнейшее увеличение азота в наполнителе ПП вызывает образование пор в наплавленном металле.

Анализ осциллограмм процесса наплавки показал, что с увеличением содержания азота в наполнителе ПП изменяется характер процесса их плавления, что выражается в увеличении амплитуды колебаний сварочного тока (рис. 2).

Известно [4, 6], что растворимость азота в металлическом расплаве определяется его химическим составом и температурой, поэтому на разных стадиях процесса наплавки растворимость азота может быть различной. Условно можно выделить две стадии существования металлического расплава: стадию капли, включающую ее образование, рост и падение, а также стадию ванны. Обе стадии характеризуются различной температурой, скоростью массообмена и химическим составом металлического расплава.

По данным [4], при плавлении высоколегированных проволок сплошного сечения Св-Х18Н9 с диаметром 2 мм на постоянном токе обратной

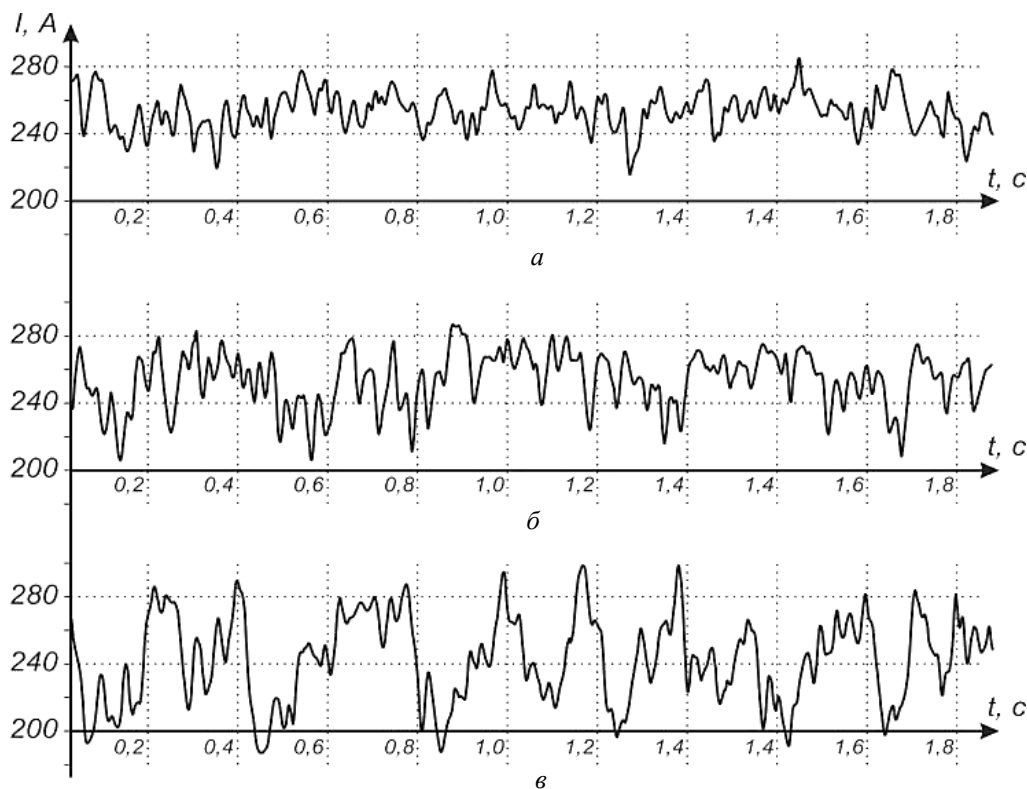


Рис. 2. Временные зависимости сварочного тока I при содержании азота 0 (а), 0,3 (б) и 0,6 масс. % (в) в наполнителе порошковых проволок

полярности ($I = 200\text{--}300\text{ А}$) в среде аргона температура капель ($T_{\text{кmax}}$) составляет $2650\text{--}2950\text{ }^\circ\text{C}$. Температура металлического расплава в объеме сварочной ванны неоднородная. В реакционной зоне (вблизи дуги) она может достигать $T_{\text{вmax}} = 2000 \pm 100\text{ }^\circ\text{C}$, плавно уменьшаясь к хвостовой части ванны до температуры, близкой к температуре плавления $T_{\text{пл}} = 1450\text{--}1500\text{ }^\circ\text{C}$.

Для обеспечения уже в первом технологическом проходе наплавки заданного химиче-

ского состава наплавленного металла наполнитель экспериментальных ПП содержал повышенные количества основных легирующих компонентов. Расчетное содержание хрома, никеля и молибдена в каплях электродного металла составляло 23–25, 6–8 и 4–5 масс.% соответственно (рис. 3). Химический состав расплава сварочной ванны можно условно считать однородным и соответствующим составу наплавленного металла.

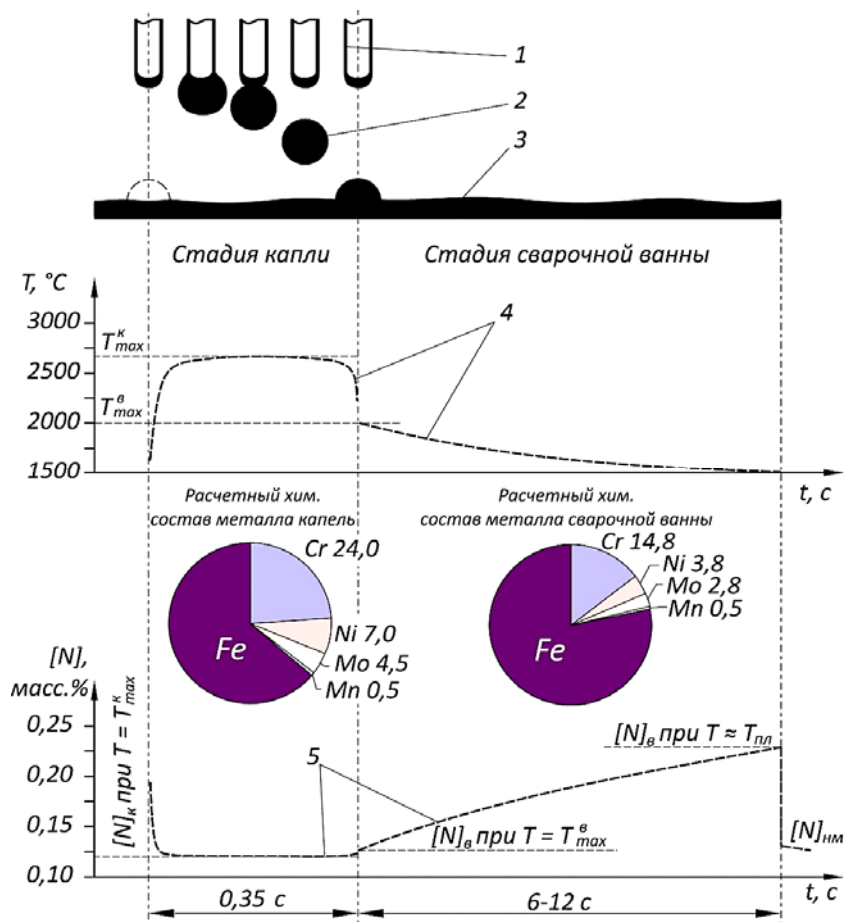


Рис. 3. Влияние температуры, химического состава расплавов капель электродного металла и сварочной ванны на растворимость азота в них при наплавке сплава системы С-Fe-Cr-Ni-Mo: 1 – ПП; 2 – капля электродного металла; 3 – поверхность сварочной ванны; 4 и 5 – линии предполагаемой закономерности изменения температуры расплава и растворимости азота в нем соответственно; $T_{\text{кmax}}$ и $T_{\text{вmax}}$ – максимальные температуры капель электродного металла и реакционной зоны сварочной ванны [6]

По данным осциллографирования установлено, что средняя частота отрыва капель составляла $2,86\text{ с}^{-1}$. Длина сварочной ванны при наплавке на приведенном режиме $1,2\text{--}2,0\text{ см}$. С учетом известной величины скорости наплавки максимальная продолжительность существования расплавленного металла сварочной ванны $t_{\text{max}} = 6\text{--}12\text{ с}$.

На основании расчета растворимости азота в расплаве капель $[N]_{\text{к}}$ и сварочной ванны $[N]_{\text{в}}$, выполненного по данным работы [6], была построена диаграмма (рис. 3), анализ которой позволил сделать вывод, что превышение предела растворимости азота в перегретом расплаве капель электродного металла может являться причиной нарушения стабильности их существ-

воания на торце электрода. Это происходит в результате дегазации из расплава избыточного азота. Избыточный азот, попадая в атмосферу дуги, может адсорбироваться на поверхности сварочной ванны и поглощаться ею [7]. Такое перераспределение азота в реакционной зоне сварки (рис. 3) дает возможность объяснить образование пор в наплавленном металле при увеличении содержания азота в наполнителе ПП более 0,3 масс. %.

Выводы

1. Показано, что устойчивое существование дуги в аргоне, стабильный перенос капель, качественное формирование наплавленного металла и отсутствие в нем пор от азота достигаются при его содержании в наполнителе проволоки не более 0,3 масс. %.

2. Превышение предела растворимости азота в высокотемпературном расплаве электродного металла способствует нарушению стабильности существования капель на торце электрода в результате дегазации из них избыточного азота.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кондратьев, И. А.* Исследование свойств наплавленного металла типа мартенситостареющих сталей / И. А. Кондратьев, И. А. Рябцев, Я. П. Черняк // Автоматическая сварка. – 2004. – № 10. – С. 16–18.
2. Effect of oxygen and nitrogen on the structure and properties of weld metal in welding type 01 Kh14N5MF low-carbon hardening steels / Zh. A. Lepilina etc. // Welding International. – 1990. – № 4. – P. 743–745.
3. Effect of N on microstructure and mechanical properties of 16Cr5Ni1Mo martensitic stainless steel / X.P. Ma etc. // Materials and Design. – 2012. – Vol. 34. – P. 74–81.
4. *Походня, И. К.* Газы в сварных швах / И. К. Походня. – М. : Машиностроение, 1972. – 256 с. : ил.
5. *Браверман, Б. Ш.* Получение нитрида хрома и его использование для изготовления высокоазотистых покрытий / Б. Ш. Браверман, О. К. Лепакова, Ю. Н. Сараев [и др.] // Сварочное производство. – 2000. – № 12. – С. 8–10.
6. *Wada, H.* Solubility of nitrogen in liquid Fe-Cr-Ni alloys containing manganese and molybdenum / H. Wada, Pehlke R. D. // Metallurgical Transactions B. – 1977. – Vol. 8b. – P. 675–682.
7. *Йоффе, И. С.* Влияние поглощения азота ванной на образование пор при сварке порошковой проволокой / И. С. Йоффе // Автоматическая сварка. – 1976. – № 9. – С. 12–14.