

Г. Н. Соколов

УДК 621.791.92: 620.3

Г. Н. Соколов, д-р техн. наук,

А. С. Трошков, асп.,

В. И. Лысак, д-р техн. наук

(Волгоградский государственный технический университет),

А. В. Самохин, канд. техн. наук,

Ю. В. Благовещенский, канд. техн. наук,

Н. В. Алексеев, канд. техн. наук,

Ю. В. Цветков, д-р техн. наук

(Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН)

gnsokolov@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ КАРБИДОВ WC И НИКЕЛЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА¹

Исследовано влияние введенных в основное покрытие сварочных электродов микрогранул никеля, содержащих нанодисперсный карбид WC, на структуру и хладостойкость низкоуглеродистого наплавленного металла. Показано, что при содержании в покрытии электродов УОНИ-13/45 композиционных микрогранул никеля в количестве около 3 % массы электрода ударная вязкость сварных образцов КСУ при 18 – 20 °С и -60 °С возрастает соответственно до 20 и 65 % по сравнению с образцами, сваренными стандартными электродами.

Ключевые слова: никелевые гранулы, нанодисперсные карбиды, сварочные электроды, основное покрытие, модифицирование, диспергирование структуры, хладостойкость.

Введение. В связи с активным освоением природных ресурсов в районах Крайнего Севера РФ и техническим оснащением добывающей промышленности (производство сварных резервуаров, трубопроводов и других агрегатов и сварных конструкций ответственного назначения) повышение качества сварочных материалов отечественного производства представляет актуальную задачу. Вместе с тем, производство покрытых электродов, порошковых проволок и керамических флюсов с использованием исходного сырья невысокого качества не обеспечивает выпуск конкурентоспособной на мировом рынке продукции [1].

Улучшить металлургические и технологические свойства сварочных материалов можно как путем введения в их состав никеля [2], так и тугоплавких нанодисперсных компонентов, способствующих модифицированию наплавленного металла² [3 – 5].

Цель работы – исследование влияния введенных в покрытие сварочных электродов микрогранул никеля, содержащих нанодисперсные частицы монокарбида WC, на структуру, ударную вязкость и твердость низкоуглеродистого наплавленного металла.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке государственного контракта № 16.740.11.0017 Министерства образования и науки РФ.

² Патент 2350441 (РФ).

Методика проведения исследований. В экспериментах использовали нанопорошок монокарбида вольфрама WC, изготовленный в ИМЕТ им А. А. Байкова РАН по разработанной плазмохимической технологии, которая включает получение наноразмерной многокомпонентной композиции системы W–C при взаимодействии триоксида вольфрама с метаном в потоке водородсодержащей плазмы электродугового плазмотрона [6, 7] и ее последующую термохимическую обработку³. Нанопорошок монокарбида вольфрама имеет удельную поверхность 7 м²/г и состоит из частиц размером менее 0,1 мкм.

Материалом, транспортирующим нанопорошок WC, являлся порошок никеля (99,9 % Ni) с размером частиц до 50 мкм, в который при совместной обработке в планетарной мельнице внедряли карбид вольфрама. В результате формировались композиционные микрогранулы никеля, в которых содержалось около 30 % частиц WC.

Экспериментальные электроды изготавливали путем введения в основное покрытие промышленных электродов УОНИ-13/45 (ГОСТ 9466–75) диаметром 3 мм композиционных микрогранул⁴. В процессе сварки такими электродами микрогранулы из покрытия, частично оплаваясь на границе высокотемпературной зоны плазмы дуги, попадают в сварочную ванну.

³ Патент 2349424 (РФ).

⁴ Патент 2407617 (РФ).

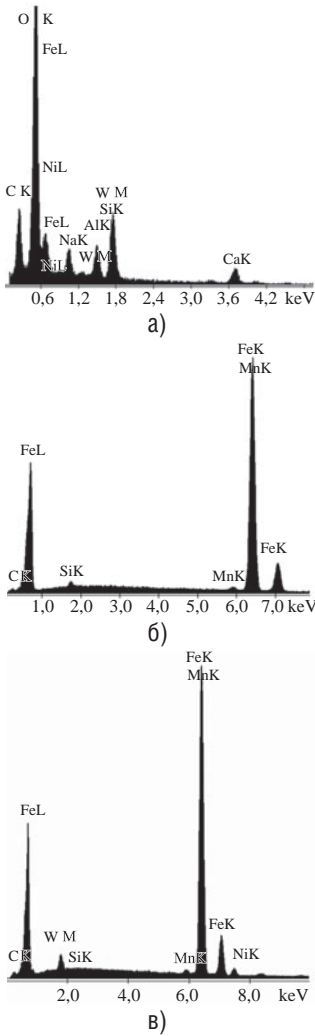
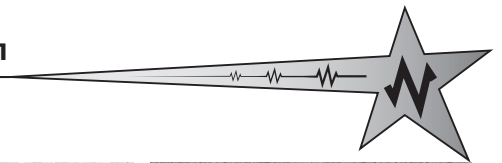


Рис. 1. Спектрограммы шлаковой корки (а) и металла, наплавленного стандартным (б) и экспериментальным (в) электродами

Исходную структуру однопроходного валика наплавленного металла ферритно-перлитная, характерная для низкоуглеродистой стали (рис. 2, а). Введение в состав покрытий электродов композиционного порошка никеля приводит к измельчению исходной структуры металла и выделению небольшого количества низкотемпературных продуктов ее распада (рис. 2, б). Можно предположить, что никель, смещая область $\gamma - \alpha$ -превращения в направлении низких температур, влияет на формирование в наплавленном металле нижнего бейнита высокой дисперсности и однородности. Нанодисперсные частицы карбида WC, имея большую поверхностную энергию, способствуют изменению морфологии и измельчению структурных составляющих в наплавленном металле. Количество неметаллических включений (в их состав входят кислород, железо, кремний, марганец, титан, никель) сокращается примерно на 20 %.

Включения приобретают глобулярную форму и более равномерно распределяются в сплаве (рис. 3), что предполагает улучшение механических свойств.

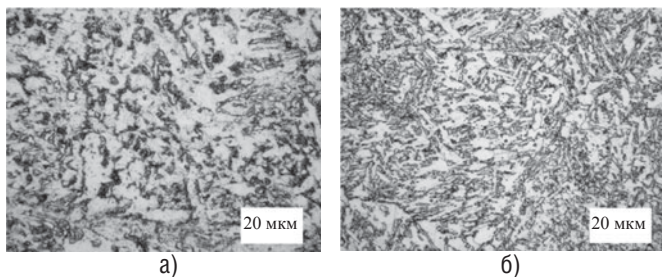


Рис. 2. Микроструктура металла, наплавленного стандартным (а) и экспериментальным (б) электродами. $\times 1000$

Наплавку контрольных образцов стандартного типа, изготовленных из стали Ст3 с V-образной разделкой кромок по ГОСТ 6996–66 и 9466–75, выполняли при обратной полярности постоянного тока силой 115–120 А. Формирование наплавленного металла осуществляли в несколько проходов при напряжении дуги 25–26 В. Массу материалов измеряли на электронных аналитических весах ВЛС-60/0,1 А с точностью до 0,1 мг, твердость наплавленного металла – твердомером ТН-500. Ударную вязкость сварных образцов при отрицательной температуре исследования на образцах типа VI (ГОСТ 6996–66).

Структуру, микроморфологию и элементный состав наплавленного металла изучали с применением оптического (Axiovert 40 MAT) и электронного (Quanta 3D FEG) микроскопов. Содержание легирующих элементов в структурных составляющих определяли при сканировании шлифов в локальном объеме металла до $0,5 \text{ мкм}^3$ в режиме использования сигналов электронов обратного рассеивания (энергодисперсионный анализатор EDAX).

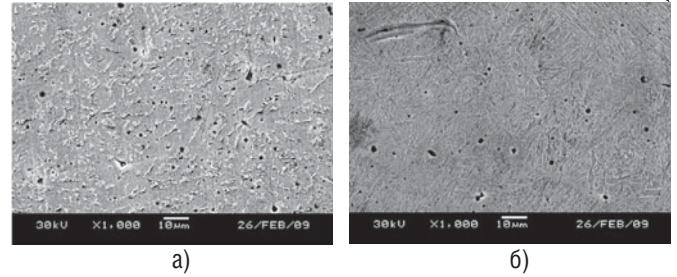


Рис. 3. Неметаллические включения в металле, наплавленном стандартным (а) и экспериментальным (б) электродами

В процессе анализа результатов металлографических исследований наплавленного металла, а также шлаковых корок установлено, что композиционные никелевые микрогранулы, переходя через газошлаковую среду реакционной зоны сварки, частично застревают в вязком шлаке, а их большая часть попадает в металлический расплав и легирует его. При этом вольфрам, никель и углерод распределяются между структурными составляющими наплавленного металла относительно равномерно. Их содержание в локальных микрообъемах сплава зависит от размера композиционных никелевых гранул, а также количества и распределения внедренных в них частиц карбидов WC (рис. 1).

Исходная структура однопроходного валика наплавленного металла ферритно-перлитная, характерная для низкоуглеродистой стали (рис. 2, а). Введение в состав покрытий электродов композиционного порошка никеля приводит к измельчению исходной структуры металла и выделению небольшого количества низкотемпературных продуктов ее распада (рис. 2, б). Можно предположить, что никель, смещая область $\gamma - \alpha$ -превращения в направлении низких температур, влияет на формирование в наплавленном металле нижнего бейнита высокой дисперсности и однородности. Нанодисперсные частицы карбида WC, имея большую поверхностную энергию, способствуют изменению морфологии и измельчению структурных составляющих в наплавленном металле. Количество неметаллических включений (в их состав входят кислород, железо, кремний, марганец, титан, никель) сокращается примерно на 20 %.

Включения приобретают глобулярную форму и более равномерно распределяются в сплаве (рис. 3), что предполагает улучшение механических свойств.

В процессе анализа спектрограмм и структуры экспериментальных образцов установлено, что для обеспечения процесса модифицирования в покрытие электрода достаточно ввести около 3 % композиционных гранул никеля. При таком легировании твердость наплавленного

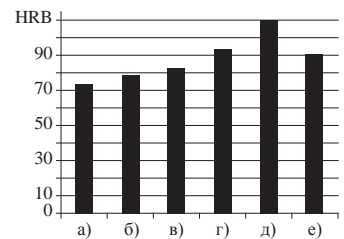


Рис. 4. Твердость основного металла (а), металла, наплавленного стандартным электродом в один (б) и два (в) прохода, а также экспериментальным электродом в один (г) и два (д) прохода, металл многопроходного сварного шва (е)

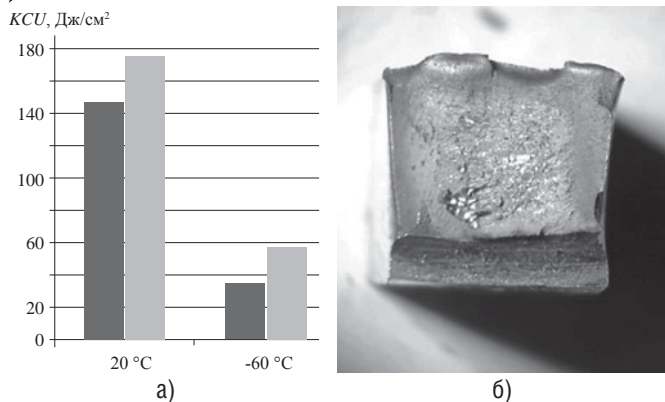
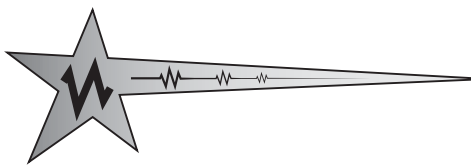


Рис. 5. Ударная вязкость образцов, сваренных стандартными (темные) и экспериментальными (светлые) электродами (а) и макроструктура поверхности излома после испытаний при температуре $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б)

металла увеличивается (рис. 4), что можно объяснить влиянием наноразмерных карбидов на процессы зернограничного и дисперсионного упрочнения, сопровождающиеся диспергированием структуры.

Испытаниями стандартных сварных образцов на ударную вязкость при 20 и $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ установлено, что вязкость металла шва возрастает соответственно на 20 и 65 % по сравнению с результатами, полученными при сварке экспериментальных образцов стандартными электродами (рис. 5). Диспергированная структура сваренного многопроходным способом низкоуглеродистого металла шва, состоящая из гомогенной бейнитно-ферритной смеси, а также поверхность излома образцов с участками следов пластической деформации, свидетельствуют о повышенной стойкости сварного соединения против хрупкого разрушения при отрицательных значениях температуры.

Выводы

1. Введение в основное покрытие сварочных электродов композиционных микрогранул никеля, содержащих нано-

дисперсный монокарбид WC, является эффективным способом модифицирования низкоуглеродистого наплавленного металла.

2. Содержание в покрытии электрода микрогранул Ni+WC (около 3 % его массы) обеспечивает повышение ударной вязкости металла сварного шва по сравнению с образцами, сваренными стандартными электродами УОНИ-13/45.

Список литературы

1. Палиевская Е. А., Сидлин З. А. Проблемы сырьевой базы производства сварочных материалов // Сварочное производство. 2009. № 9. С. 25 – 31.
2. Влияние никеля на структуру и механические свойства шва, выполненного электродами с основным покрытием / И. К. Походня, В. Д. Макаренко, А. О. Корсун, С. С. Миличенко // Автоматическая сварка. 1986. № 2. С.1 – 5.
3. Применение нанодисперсных порошков тугоплавких соединений в процессе лазерной сварки углеродистых сталей // Е. Д. Головин, А. А. Батаев, А. Н. Черепанов и др. // Российские нанотехнологии. 2009. Т. 2. № 3-4. С. 36 – 57.
4. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама / Г. Н. Соколов, В. И. Лысак, А. С. Трошков и др. // Физика и химия обработки материалов. 2009. № 6. С.18 – 25.
5. Влияние ультрадисперсных карбидов в порошковых проволоках на свойства теплоустойчивого наплавленного металла / И. А. Рябцев, И. А. Кондратьев, Н. Ф. Гадзыра и др. // Автоматическая сварка. 2009. № 6. С. 13 – 16.
6. Цветков Ю. В. Термическая плазма в нанотехнологиях // Наука в России. 2006. № 2. С. 4 – 9.
7. Самохин А. В., Алексеев Н. В., Цветков Ю. В. Плазмохимические процессы создания нанодисперсных порошковых материалов // Химия высоких энергий. 2006. Т. 40. № 2. С. 120 – 126.