

## СВАРКА МЕТАЛЛОВ

УДК 621.791.92: 620.3

*А. С. Трошков, Г. Н. Соколов, С. С. Сычева, В. И. Лысак***СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОГО МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОД КЕРАМИЧЕСКИМ ФЛЮСОМ, СОДЕРЖАЩИМ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МИКРОГРАНУЛЫ Ni-НАНОДИСПЕРСНЫЙ WC\*****Волгоградский государственный технический университет**

(e-mail: nanomaterial-vstu@yandex.ru)

Разработан состав керамического флюса для сварки конструкций, эксплуатирующихся при температуре  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Исследовано влияние нанодисперсных компонентов на структуру и свойства сварных соединений из низкоуглеродистой стали.

*Ключевые слова:* керамический флюс, нанодисперсные компоненты, ударная вязкость при низких температурах, легирование, модифицирование, композиционные микрогранулы, хладостойкость.

The composition of the ceramic flux for welding of structures operated at a temperature of  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The effect of nanosized components of the structure and properties of welded joints of mild steel.

*Keywords:* ceramic flux, nanodispersed components, impact strength at low temperatures, alloying, modification, composite microspheres, cold resistance.

**Введение**

В настоящее время в связи с увеличением потребности промышленности в сварочных материалах, обеспечивающих высокие показатели ударной вязкости сварных швов при температурах до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , актуальной является задача разработки новых сварочных электродов [1] и флюсов для автоматической сварки и наплавки. Особенно актуальны исследования в области создания новых составов керамических флюсов, с использованием которых можно не только управлять металлургическими процессами, но и легировать металл. Целью работы является исследование влияния введенных во флюс наноразмерных тугоплавких частиц на структуру низкоуглеродистого металла шва и его ударную вязкость при температуре  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Материалы и методика проведения исследований**

В работе использовали нанопорошок монокарбида вольфрама WC, состоящий из частиц с размером менее  $0,1\text{ }\mu\text{m}$  и удельной поверхностью  $7\text{ m}^2/\text{g}$ .

Материалом, транспортирующим нанопорошок WC, служил порошок никеля (99,9 % Ni) (ГОСТ 9722–97) с размером частиц до  $50\text{ }\mu\text{m}$ , в который внедрен карбид вольфрама. Композиционные микрогранулы никеля содержали до 30 масс. % частиц WC. Также в качестве легирующей части керамического флюса использовали порошки ферромарганца (ГОСТ 4755–91) и электролитического никеля.

Шлаковую основу флюса формировали в системе  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$ . В качестве исходных компонентов шихты использовали плавленый шпат (ГОСТ 29220–91), карбонат кальция (ГОСТ 8253–79), глинозем (ГОСТ 30558–98), полевой шпат (ГОСТ 4422–73) и магнезит (ГОСТ 1216–87). Связующим веществом служило жидкое калий-натриевое стекло.

Флюсы изготавливали по известной технологии [2]. Исследовали свойства металла, наплавленного как под флюсом, не содержащими композиционные микрогранулы, так и под флюсами с различным содержанием легирующих компонентов.

Наплавку образцов производили на сталь 20 на постоянном токе обратной полярности с использованием проволоки Св-08А (ГОСТ 2246–70). Ударную вязкость сварных образцов при

\* Работа выполнена при финансовой поддержке государственного контракта Минобрнауки № 16.740.11.0017.

отрицательных температурах оценивали согласно ГОСТ 9454–78.

Структуру, микроморфологию и элементный состав наплавленного металла изучали с помощью оптической (цифровой микроскоп Axiovert 40 MAT) и электронной (растровый двухлучевой электронный микроскоп Quanta 3D FEG) микроскопии.

### Результаты исследований и их обсуждение

Исследованиями выявлено, что микрогранулы никеля в частицах флюса распределены достаточно равномерно (рис. 1). Это способствует повышению однородности легирования наплавленного металла.

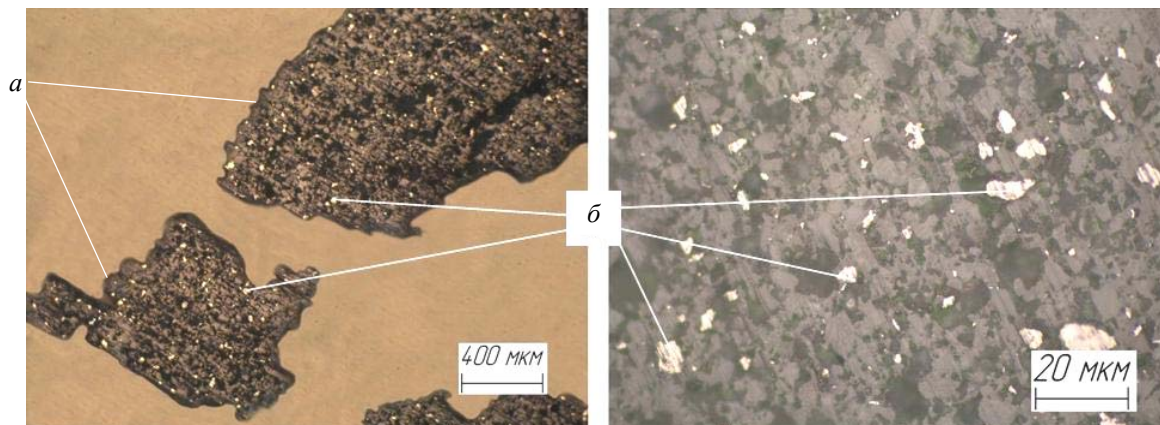


Рис. 1. Частицы флюса (а) с композиционными микрогранулами никеля (б)

#### Состав исследуемых флюсов

№	Количество легирующих элементов, масс. %							
	CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO	MgCO <sub>3</sub>	FeMn	Ni	WC
1							–	–
2	50–60	10–20	20–25	3–6	1–3	до 1	1,5	–
3							1,5	1,5

При изучении микроструктуры металла, наплавленного под флюсом состава 1 (см. таблицу), установлено, что она 80–90 % состоит из крупнозернистого феррита, остальная фаза – перлит (рис. 2, а, б). При добавлении во флюс порошка никеля и композиционных микрогранул размер зерна в металле уменьшается на 3–4 единицы (рис. 2, в, г). Также выявлено, что в образцах (рис. 2, б, г, е), сваренных флюсом, содержащим никель (состав 2, таблица) количество перлита на 40 % больше, чем в металле образцов, сваренных под флюсом, не содержащим никель (состав 1, таблица). Это связано с тем, что никель, способствуя повышению термодинамической активности углерода, влияет на его перераспределение в структуре и образование цементита.

Структура металла, наплавленного под флюсом состава 3 (см. таблицу), содержащим композиционные микрогранулы, заметно отличается от остальных. Она имеет строгую столб-

чатую направленность кристаллитов. Тонкие зерна перлита располагаются по границе колоний, которые состоят из игольчатого феррита (рис. 2, д, е).

ДюрOMETрические исследования показали, что твердость образцов, наплавленных под различными флюсами, почти не изменяется и составляет около 60 HRB. Это связано с тем, что изменение морфологии и характера распределения структурных составляющих в низкоуглеродистом наплавленном металле мало влияет на его сопротивление деформированию. Исследования ударной вязкости при температуре –60 °С образцов, сваренных под флюсом, содержащим композиционные микрогранулы, показали двукратное превышение ее значений для образцов, полученных сваркой под флюсом, не содержащим наноразмерные карбиды вольфрама. Из рис. 3 видно, что разрушение образцов происходит по основному металлу.

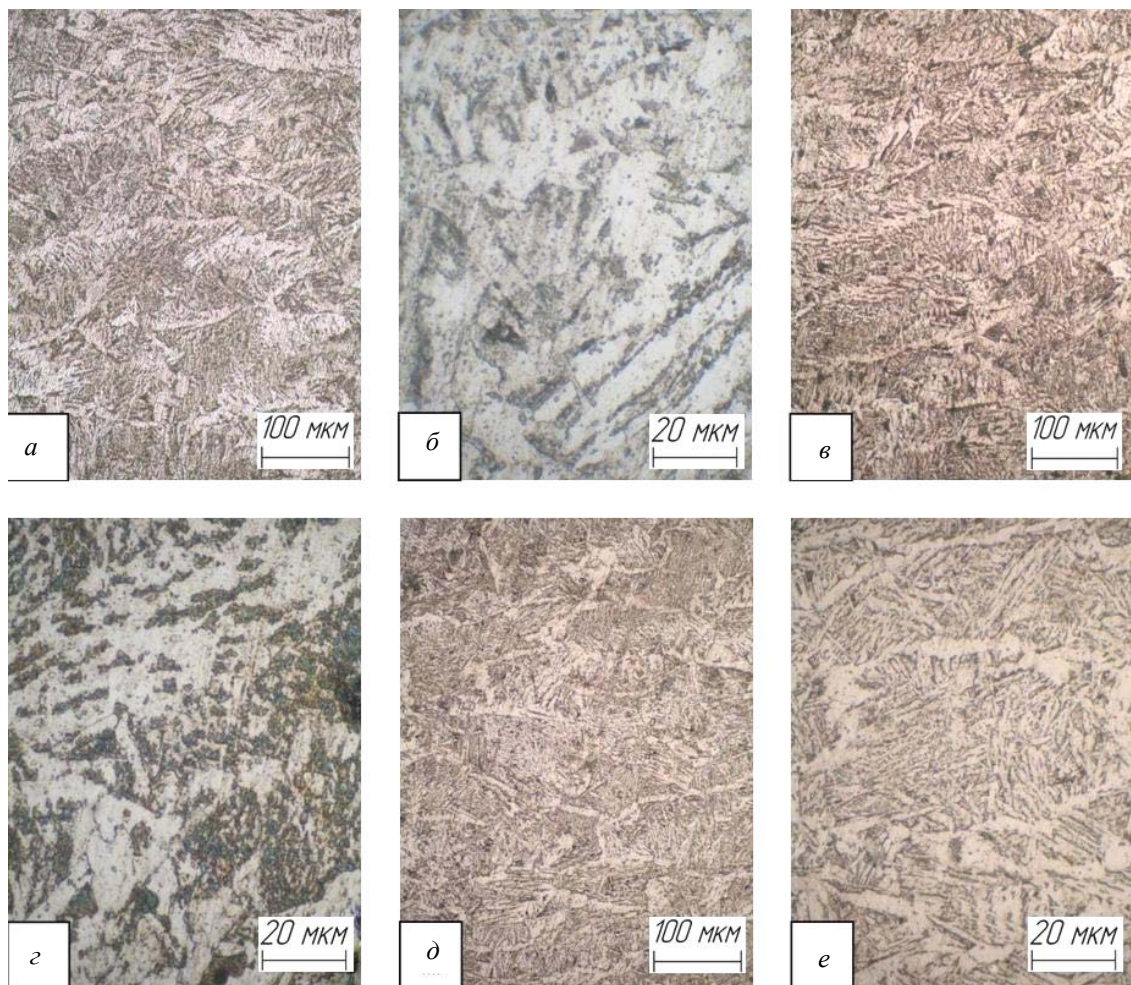


Рис. 2. Микроструктуры металла, наплавленного под керамическим флюсом: а, б; в, г; д, е – составы флюсов соответствуют номерам 1, 2 и 3, показанным в таблице



Рис. 3. Сварные образцы после испытаний на ударную вязкость при  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ : по ГОСТ (а) и натурные образцы (б)

Можно предположить, что наноразмерные компоненты, обладающие высокой термодинамической устойчивостью, подвергаясь незначительному растворению, переходят из флюса в расплав сварочной ванны, а формирующиеся из них группировки, являясь центрами кристаллизации, обеспечивают модифицирование металла сварного шва. Высокая дисперсность порошка тугоплавких частиц многократно усиливает модифицирующий эффект. В результате структура металла значительно измельчается

(номер зерна увеличивается с 8 до 13), что способствует повышению его пластичности и ударной вязкости. Кроме того, количество неметаллических включений в металле шва сокращается примерно на 20 %. При этом включения приобретают глобулярную форму и более равномерно распределяются в объеме металла, что также улучшает его свойства.

**Вывод**

Введение в состав керамического флюса композиционных микрогранул Ni+WC в количестве до 1,5 масс. % способствует модифицированию структуры низкоуглеродистого металла сварного шва, что приводит к повышению в 2 раза его ударной вязкости при температуре  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Влияние нанодисперсных карбидов WC и никеля на структуру и свойства наплавленного металла / Г. Н. Соколов, А. С. Трошков, В. И. Лысак, А. В. Самохин, Ю. В. Бла-

говещенский, Н. В. Алексеев, Ю. В. Цветков // Сварка и Диагностика. – 2011. – № 3. – С. 36–38.

2. *Багрянский, Ю. В.* Электродуговая сварка и наплавка под керамическими флюсами / К. В. Багрянский. – Техника, 1976. – 184 с.

3. Состояние и перспективы развития производства и применения сварочных флюсов в отечественной промышленности / Ю. С. Волобуев, Н. Н. Потапов, Е. Г. Старченко, О. С. Волобуев // Сварочное производство. – 2008. – № 12. – С. 29–32.