

**ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ-МОДИФИКАТОРОВ НА  
КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ  
ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА**

*М.А. Кузнецов, Е.А. Зернин, к.т.н., доц., Д.С. Карцев*

*\*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8(38451)5-09-06*

*E-mail: kuznechik\_85@mail.ru*

В сварных соединениях высоколегированных, коррозионно-стойких сталей, вследствие высокой электрохимической гетерогенности, обусловленной неоднородностью химического состава металла шва, структуры, свойств и напряженного состояния происходят наиболее интенсивные коррозионные разрушения по сравнению с основным металлом [1,2].

Основные трудности свариваемости данных сталей обусловлены многокомпонентностью их легирования и разнообразием условий эксплуатации сварных конструкций. Главной и общей особенностью сварки является склонность к образованию в металле шва и околшовной зоне горячих трещин, имеющих межкристаллитный характер [3, 4, 5].

Для повышения стойкости против коррозионного износа, а также восстановление работоспособности оборудования, работающих в коррозионно-активных средах необходим комплексный подход, включающий создание и освоение новых методов восстановления работоспособности оборудования. В процессе эксплуатации происходит активный коррозионный износ, протекающий особенно интенсивно в зонах сварных соединений [6]. Для повышения коррозионной стойкости сварных соединений применяют несколько способов [3,6,7, 8].

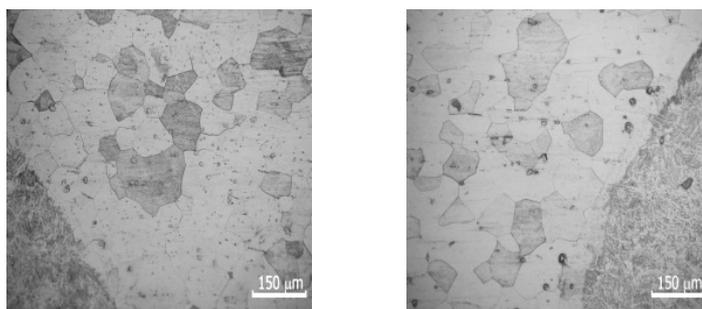
В работе предлагается исследовать влияние наноструктурированных порошков-модификаторов на коррозионную стойкость сварных соединений из высоколегированной стали аустенитного класса. Наноструктурированные порошки-модификаторы подавали в сварочную ванну через защитный газ в помощи устройства [9].

Для экспериментальных исследований использовались образцы из стали 12X18H10T в виде пластин толщиной 5 мм, сваренные плавящимся электродом в среде аргона сварочной проволокой марки 12X18H9T согласно ГОСТ 14771-76. Образцы наплавлялись по четырем различным вариантам: №1 – наплавка в среде аргона проволокой сплошного сечения; №2 – наплавка в среде аргона проволокой сплошного сечения с добавлением Мо в защитный газ; №3 – наплавка в среде аргона проволокой сплошного сечения с добавлением  $Al_2O_3$  в защитный газ; №4 – наплавка в среде аргона проволокой сплошного сечения с добавлением W в защитный газ.

Наноразмерные порошки вольфрама и молибдена были получены по методу электрического взрыва проводника [10], а нановолокна AlOON в процессе термогидролиза наноразмерного электровзрывного порошка Al. Методика получения нановолокон AlOON, используемых в данной работе, описана в [11].

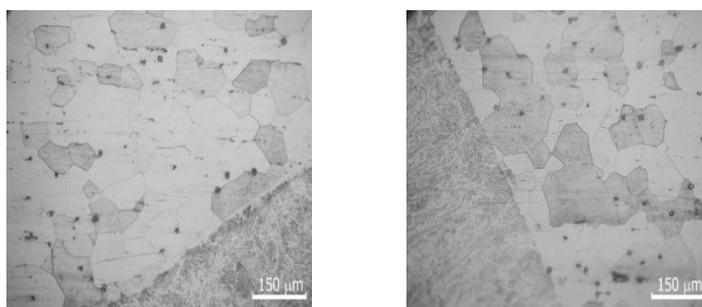
Для проведения испытаний экспериментальных образцов на коррозионную стойкость применяли метод АМУФ ГОСТ 6032, в котором испытания образцов проводятся в растворе серной кислоты и серноокислой меди в присутствии металлической меди и фтористого натрия или фтористого калия. Реактив и режим воздействия был выбран из приложения Г ГОСТ 6032, согласно рекомендациям для данной марки стали. Продолжительность испытания составила 2 часа. После окончания испытаний проводилась аттестация на стойкость к межкристаллитной коррозии (МКК) металлографическим методом, для чего были приготовлены металлографические шлифы из контрольных образцов, не подвергавшихся испытанию, и образцов после испытания. Плоскость шлифа была перпендикулярна сварному шву и включала металл шва, зону термического влияния и основной металл. Микроструктура выявлялась травлением в рекомендованном ГОСТ 6032 электролите при времени воздействия до появления границ зерен. Для регистрации результатов металлографического исследования использовались микроскоп оптический НЕОРНОТ-21 и микроскоп конфокальный лазерный сканирующий LEXTOLS4000.

Анализ микроструктур показал, что у всех образцов выявляется зеренная аустенитная структура с примерно одинаковым размером зерна. Однако, при одном и том же времени воздействия наиболее интенсивно вытравливались границы зерен у образцов №1 и №3 (Рис.1 и 2).



а) б)

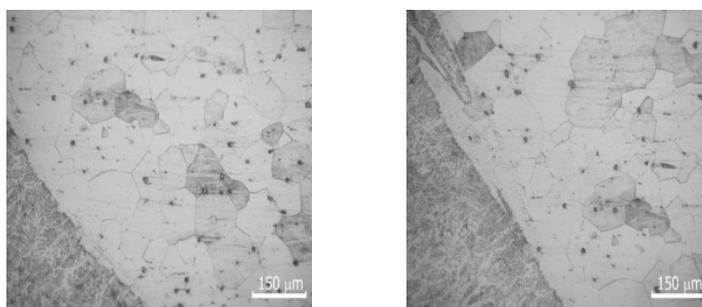
Рис. 1. Микроструктура металла сварного соединения (образец №1):  
а – после испытаний; б – контрольный образец



а) б)

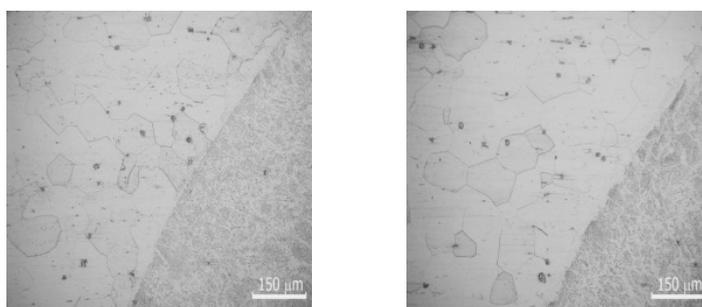
Рис. 2. Микроструктура металла сварного соединения (образец №3):  
а – после испытаний; б – контрольный образец

Наиболее слабо травились образцы №2 и №4 (рис 3 и 4).



а) б)

Рис. 3. Микроструктура металла сварного соединения (образец 2):  
а – после испытаний; б – контрольный образец



а) б)

Рис.4. Микроструктура металла сварного соединения (образец 4):  
а – после испытаний; б – контрольный образец

Для определения глубины разрушения границы зерна выборочно была исследована структура образца после коррозионных испытаний с помощью лазерно-конфокального микроскопа. Результаты представлены на рис. 5. Они подтверждают отсутствие признаков коррозии по границам зерен чрезвычайно малой высотой z-координаты.

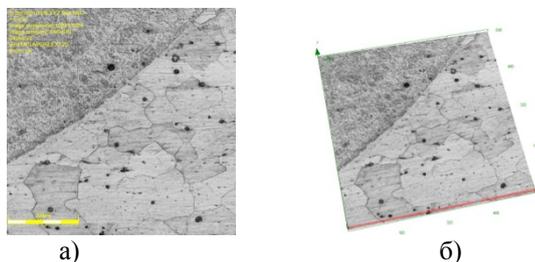


Рис. 5. Микроструктура образца (образец №2) после испытаний на МКК:  
а - 2D-изображение; б - 3D-изображение

Оценка склонности к МКК производилась путем определения количества зерен с четко выявленными границами, ширина которых могла достигать 30 мкм. Проведенные исследования не обнаружили зерен с такой шириной границ. Самые тонкие границы зерен были у образца №4, в данном случае отмечена и наибольшая схожесть общего вида микроструктуры контрольного образца и образца после испытаний в агрессивной среде.

Границы зерен в зоне термического влияния не вытравливаются. Это значит, что при стандартном испытании на коррозионную стойкость проявлений межкристаллитной коррозии действительно нет ни у одного образца. Процесс травления происходил не по границам зерен, а по всей плоскости зерен. В зависимости от ориентации зерен их поверхность стравливалась сильнее или слабее. Таким образом, между зернами образовывались ступеньки. Средняя высота этих ступенек на разных образцах различна: №1 – 200 нм, №2 – 275 нм, №3 – 320 нм, №4 – 250 нм. Микроструктура образцов представлена на рисунке 6.

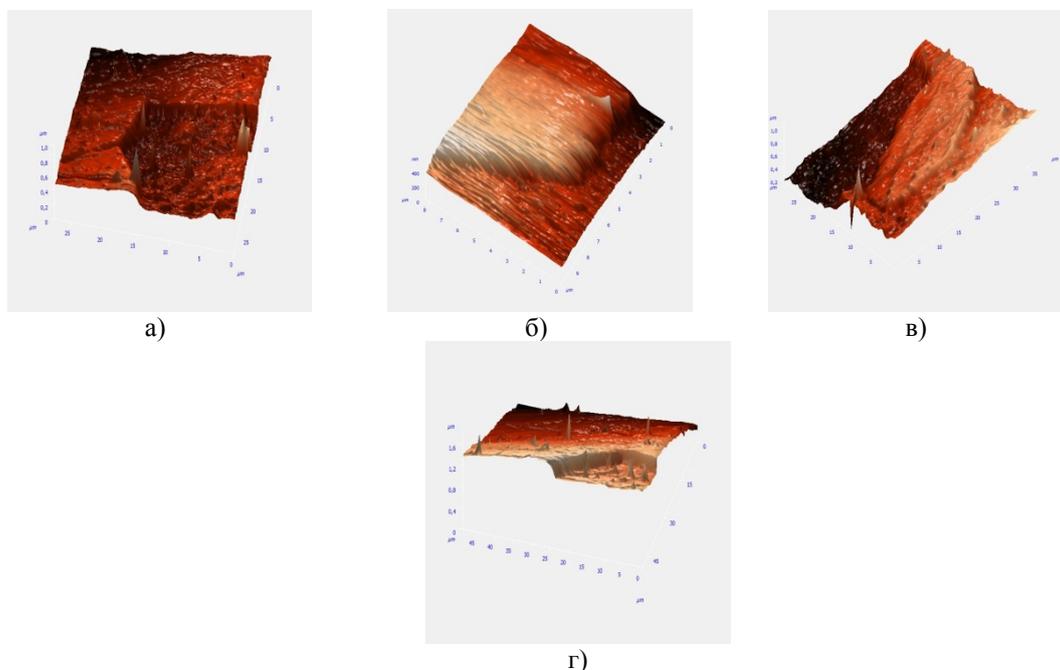


Рис. 6. Микроструктура образцов: а – образец №1; б – образец №2; в – образец №3; г – образец №4

#### Выводы:

1. Природа нанопорошков влияет на коррозионную стойкость образцов сварных соединений. Самые коррозионностойкие образцы получены при использовании нанопорошков молибдена и вольфрама.

2. Самые тонкие границы зерен были обнаружены у образца, в который при сварке добавлялся нанопорошок вольфрама.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (Российский фонд фундаментальных исследований) в рамках проекта «Исследование строения, морфологии и дисперсности металла, наплавленного сваркой, в присутствии наноструктурированных модификаторов», проект № 14-38-50297-мол\_нр.*

Литература.

1. В.И. Махненко, О.В. Махненко, С.С. Козлитина, Л.И. Дзюбак Сварные конструкции из аустенитной стали типа 10X18H10T в условиях радиационного набухания. // Автоматическая сварка, №2, 2012, с. 7-12.
2. Е.А. Кривоносова, Е.А. Синкина, А.И. Горчаков Влияние типа покрытия электрода на коррозионную стойкость металла шва стали 08X18H10T. // Сварочное производство, №4, 2012, с. 38-41.
3. D.P. Pyaschenko, D.A. Chinakhov, Y.M. Gotovschik. Investigating the influence of the power supply type upon the properties of the weld joints under manual arc welding // Advanced Materials Research. - 2014 - Vol. 1040. - p. 837-844.
4. Павлов Н. В. , Крюков А. В. , Зернин Е. А. , Домнина Е. Г. Формирование структуры хромоникелевых аустенитных сталей при сварке с импульсной подачей проволоки в смеси газов // Технология металлов. - 2013 - №. 2. - С. 22-25.
5. Е.В. Коломийцев Коррозионно усталостная прочность тавровых соединений стали 12X18H10T и методы ее повышения. // Автоматическая сварка, №12, 2012, с. 41-43.
6. А.Г. Александров Коррозионная стойкость сварных швов аустенитно-ферритных сталей в щелочных средах. // Сварочное производство, № 8, 1990, с. 15-16.
7. Ю.Н. Сараев, Ю.В. Селиванов Оценка производительности и качества выполнения ремонтно-восстановительных работ оборудования из стали типа 12X18H10T. // Сварочное производство №1, 2011, с. 17-22.
8. А.Г. Александров Коррозионная стойкость сварных соединений хромоникелевых сталей в щелочных средах (обзор). // Сварочное производство, № 5, 1990, с. 12-13.
9. А.Н. Сафонов, Р.Д. Радченко Структура и коррозионная стойкость сварных соединений сталей аустенитного класса после лазерной обработки поверхности. // Сварочное производство, № 7, 1998, с. 5-9.
10. M.A. Kuznetsov, S.P. Zhuravkov, E. A. Zernin, D.E. Kolmogorov, N.A. Yavorovsky Influence of Nanostructured Powder Modifiers on the Structure of a Welding Bead // Advanced Materials Research. - 2014 - Vol. 872. - p. 118-122.
11. Яворовский Н.А. Получение ультрадисперсных порошков методом электрического взрыва // Известия Высших учебных заведений. Физика. – 1996. – № 4. – с. 114 – 136.
12. Яворовский Н.А., Шиян Л.Н., Савельев Г.Г., Галанов А.И. Модифицирование полимерных мембран нановолокнами оксигидроксида алюминия // Нанотехника. – 2008. – №3 (15). – С.40-45.

### **НАПЛАВКА КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ НЕЗАВИСИМОЙ ТРЕХФАЗНОЙ ДУГОЙ**

*А.А. Безруких, ст. преподаватель, С.А. Готовко, к.т.н., доцент, Р.А. Мейстер, к.т.н., доцент.  
ФГАОУ ВПО Сибирский Федеральный Университет Политехнический институт, г. Красноярск  
660074 г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26 корп. Г, оф. 2-62, тел.8(3912)-912-562  
E-mail: politex\_1999@bk.ru*

Наплавка, как и сварка, связана с нагревом металлов в широком интервале температур и последующим охлаждением нагретых зон с разными скоростями. Это приводит к сложным структурным и фазовым изменениям, имеющим определяющее значение для указанных выше свойств. Наплавленный металл образуется при кристаллизации жидкого электродного и оплавленного основного металла, приобретая литое строение. Оно зависит от условий плавления и кристаллизации расплавленного металла при наплавочном цикле, от химического состава и типа диаграммы состояния данного сплава, от диффузионных процессов в жидком и твердом состоянии, от структурных и фазовых превращений при охлаждении в твердом состоянии, а также от напряжений и деформаций [1].