

## Структура и свойства металла наплавленного высокохромистой порошковой проволокой легированной карбидом бора

Бородихин С.А., Еремин Е.Н., Лосев А.С., Пономарев И.А., Кузьмин Н.О., Семко В.И.

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

*В данной статье рассматривается влияние карбида бора на структуру и свойства наплавленного металла высокохромистой порошковой проволокой. Установлено, что использование карбида бора, позволяет получать металл композитного типа. Наплавленный металл, легированный 2,0% В<sub>4</sub>С обладает высокой износостойкостью и высокой твердостью 55 ... 58 HRC и может быть использован для наплавки упрочняющих коррозионных покрытий.*

*Ключевые слова: наплавка, покрытия, хромистая сталь, карбид бора, твердость, износостойкость*

В промышленности широкое распространение нашли технологии повышения эксплуатационных свойств поверхностным упрочнением деталей машин, работающих в сложных условиях эксплуатации. Одной из таких технологий упрочнения является наплавка рабочих поверхностей износостойкими порошковыми проволоками.

Широкая номенклатура деталей различных производств, изготавливается из нержавеющей сталей на железо-хромовой основе, сочетающих в себе достаточно высокую прочность и коррозионную стойкость [1].

Основой подавляющего большинства хромистых сталей является система Fe-Cr. Именно на этой основе разработаны порошковые наплавочные проволоки, содержащие 13-17% хрома [2-4]. В то же время износостойкость таких сталей в условиях трения металла о металл незначительна из-за их относительно невысокой твердости и отсутствием в них упрочняющих фаз. Одним из направлений улучшения свойств наплавленного металла является дисперсионное упрочнение за счет введения в него боридных соединений [5-10]. Использование карбида бора в качестве легирующего элемента открывает новые возможности в упрочняющих технологиях [7, 8, 11, 12]. Однако особенности упрочнения хромистой стали наплавленной порошковой проволокой легированной карбидом бора изучены ещё недостаточно.

В связи с этим в работе исследовано влияние карбида бора на структуру и свойства хромистой стали, полученной наплавкой.

В качестве объекта исследования была выбрана хромистая сталь 10X15, полученная наплавкой порошковой проволокой, легированной 2 % карбида бора. Для сравнения исследовали аналогичную сталь без боридов.

Исследовался металл в состоянии после наплавки опытными порошковыми проволоками диаметром 2,4 мм в аргоне в три слоя.

Эффективность легирования хромистой стали карбидом бора подтверждается при сопоставлении твёрдости наплавленного металла. Результаты распределения твёрдости по высоте наплавленного валика приведены на рис. 1.

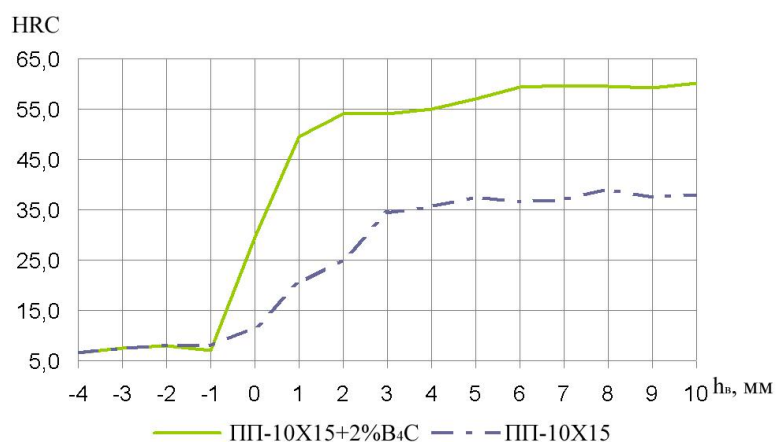


Рис. 1. Зависимость изменения твердости от расстояния от линии сплавления (0) при наплавке проволоками исследуемых составов

Из диаграммы видно, что твёрдость сравниваемых составов как с боридами так и без них практически равномерно распределяется по высоте покрытия, что, по-видимому, обусловлено неизменностью получаемой в нём структуры, вследствие малой доли участия основного металла. Установлено, что твердость металла, легированного 2,0% В<sub>4</sub>С по поперечному сечению покрытия стабильна и находятся в пределах 55...58 HRC и существенно превосходят твёрдость металла без бора, находящейся в пределах 35...38 HRC.

Для выявления причин, установленных различий проведены металлографические исследования. Установлено, что наплавленный металл без карбида бора имеет ферритно-мартенситную структуру. По границам зерен наблюдаются значительные выделения  $\delta$ -феррита. Наличие ферритно-мартенситной матрицы,  $\delta$ -феррита и карбидов подтверждаются результатами исследования микротвердости структурных составляющих такого металла (рис.2, табл.1). Твердость матрицы невысока и составляет 408...429 HV. Твердость  $\delta$ -феррита ещё меньше 358...376 HV, а карбидов 551...609 HV.

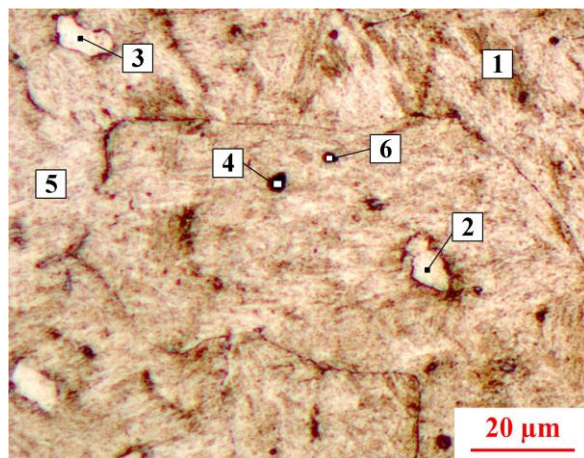


Рисунок 2. Микроструктура и области замеров микротвердости структурных составляющих металла, наплавленного порошковой проволокой без бора

Таблица 1

Микротвердость  $HV_{0,01}^*$  и  $HV_{0,05}$  структурных составляющих металла, наплавленного порошковой проволокой без бора

№ укола	1	2*	3*	4*	5	6*
HV	408	376	358	551	429	609

Полученные данные показывают, что основой упрочнения такого металла являются карбиды хрома.

Введение в наплавленный металл карбида бора приводит к образованию композиционной структуры. Она имеет выраженный дендритный характер. По границам дендритных ячеек располагается большое количество грубой эвтектики. Наблюдаются многочисленные выделения упрочняющих фаз в мартенсиной матрице.

Результаты исследования микротвердости структурных составляющих такого наплавленного металла (рис. 3) сведены в табл. 2.

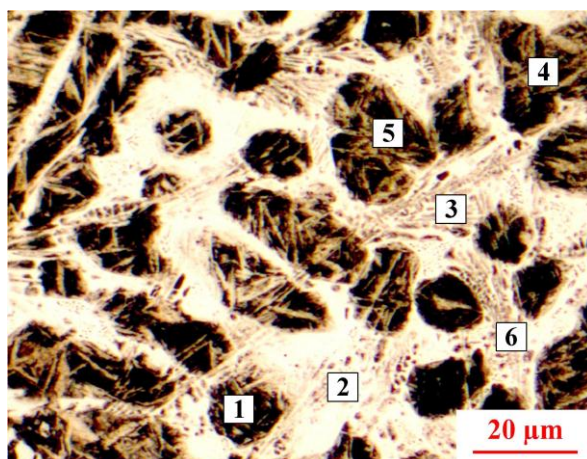


Рисунок 3. Микроструктура и области замеров микротвердости структурных составляющих металла, наплавленного порошковой проволокой легированной карбидом бора

Таблица 2

Микротвердость  $HV_{0,05}$  структурных составляющих металла, наплавленного порошковой проволокой легированной карбидом бора

№ укола	1	2	3	4	5	6
HV	499	859	924	532	603	891

Из полученных результатов видно, что твердость матрицы находится в пределах 499...603 HV. Твердость выделившихся упрочняющих фаз значительно повышается и находится в пределах 859...924 HV. Таким образом, микротвердость наплавленного металла с боридами значительно превосходит металл без боридов.

Для выявления механизма формирования такой структуры проведены исследования методом растровой электронной микроскопии с выполнением энергодисперсионного анализа структурных составляющих (рис. 4). Результаты химического состава областей такого металла приведены в табл. 3.

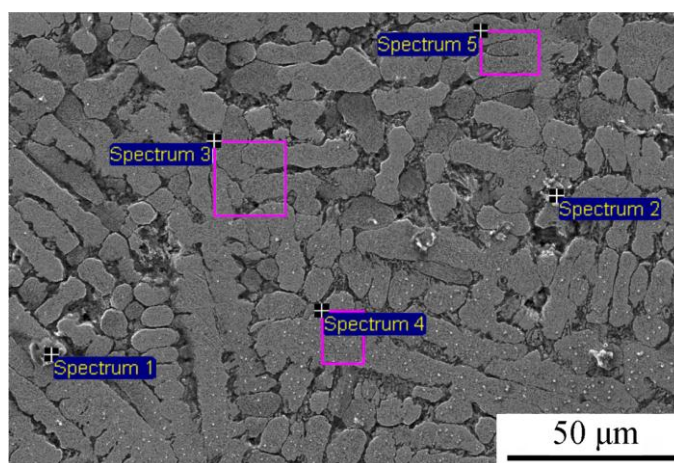


Рис. 4. Структура и области сканирования металла покрытия, наплавленного порошковой проволокой легированной карбидом бора

Таблица 3

Результаты химического состава областей, наплавленного покрытия порошковой проволокой легированной бором

Спектр	C, %	B, %	Cr, %	Fe, %
1	22,70	20,34	8,81	48,15
2	21,92	24,89	7,70	54,51
3	9,16	0	15,50	75,34
4	12,10	5,17	14,39	68,34
5	7,59	0	13,78	78,63

Из полученных результатов следует, что матрица такого металла представляет собой железо-хромистый мартенсит с эвтектической составляющей – легированный цементит  $(Fe, Cr)_3C$  и карбоборид  $(Fe, Cr)_2B$ . Вследствие большого количества дисперсных включений боридная эвтектика характеризуется высокой микротвердостью.

Таким образом, высокохромистая порошковая проволока легированная карбидом бора, обеспечивает получение металла композиционного типа, обладающего высокой износостойкостью и может быть использована для упрочняющей наплавки деталей нефтехимического назначения.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-48-550523.*

Библиографический список:

1. Шлямнев А.П., Свистунова Т.В., Сорокина Н.А. [и др.] Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: справочник. М.: «Проммет-сплав», 2008. 336 с.
2. Наплавочные материалы стран-членов СЭВ. Каталог. Киев; М.: ВИНТИ. 1979. 619 с.
3. Степин В.С., Старченко Е.Г., Волобуев Ю.С. [и др.] Современные наплавочные материалы для уплотнительных поверхностей арматуры АЭС и ТЭС // Арматуростроение. 2006. №2. С. 55–56.
4. Юзвенко Ю.А., Кирелюк Г.А. Наплавка порошковой проволокой. М.: Машиностроение. 1975. 45 с.
5. Лякишев Н.П., Плипер Ю.Л., Лаппо С.И. Боросодержащие стали и сплавы. М.: Металлургия. 1986. 192 с.
6. Артемьев А.А., Соколов Г.Н., Дубцов Ю.Н. [и др.] Формирование композиционной структуры износостойкого наплавленного металла с боридным упрочнением // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2011. №2. С. 44–48.
7. Eremin E.N. Using boride compounds in flux-cored wires for depositing maraging steel // Welding International. 2013. Vol. 27. № 2. P. 144–146.
8. Yeremin Ye.N., Losev A.S. Mechanical properties and thermal stability of a maraging steel with borides, deposited with a flux-cored wire // Welding International. 2014. Vol. 28, No. 6. P. 465–468.
9. Zhong L., Xiang C., Yan-xiang L., Kai-hua H. High boron iron-based alloy and its modification // J. of Iron and Steel Research, International. 2009. V. 16. No. 3. P. 37–42.
10. Raghavan V. B – Cr – Fe – Ti (Boron – Chromium – Iron – Titanium) // Journal of Phase Equilibria. 2003. V. 24. No. 5. P. 459–460.
11. Данькин А.А., Светлополянский В.И., Каледа В.Н. Электрошлаковая наплавка карбидов бора и кремния на стальные изделия // Сварочное производство. 1993. № 2. С. 8–10.
12. Шеенко И.Н., Гапонов О.П. Применение карбоборидных соединений в наплавочных материалах // Сварочное производство. 1969. № 5. С. 27-28.