

Исследование влияния комплекса $\text{VN-TiB}_2\text{-ZrB}_2$ на процесс упрочнения коррозионностойкого высокохромистого металла

Бородихин С.А.¹, Еремин Е.Н.¹

¹Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

В статье показано, что упрочнение высокохромистой стали легированной комплексом $\text{VN-TiB}_2\text{-ZrB}_2$ в результате закалки заключается в образовании сложной композиционной структуры с железо-хромистой мартенситной матрицей, большого количества эвтектики и частиц упрочняющих комплексов, что приводит к повышению твердости и износостойкости.

Ключевые слова: хромистая сталь, боридные соединения, термообработка, мартенсит, твердость, структура.

Одним из методов нанесения покрытий является наплавка рабочих поверхностей деталей порошковыми проволоками [1]. Так, для наплавки деталей различного назначения в нефтехимическом производстве широкое распространение получили порошковые проволоки, содержащие от 13 до 25% хрома [2]. Они позволяют получать покрытия с высокой коррозионной стойкостью, однако обладают низкой износостойкостью при работе в условиях трения. Вместе с тем, порошковые проволоки позволяют за счет ввода в их состав различных легирующих элементов обеспечить повышение твердости и, соответственно, износостойкости наплавленных покрытий.

Ранее выполненными исследованиями авторов установлено положительное влияние диборидов титана и циркония на износостойкость хромоникелевых мартенситностареющих сталей, наплавленных порошковыми проволоками [3-5].

В тоже время, довольно широкое применение для легирования сталей мартенситного класса нашел азот. Он улучшает способность к деформационному упрочнению, существенно увеличивает износостойкость стали и ее способность сопротивляться распространению трещин [6]. Особый интерес представляет использование нитрида бора, являющегося вследствие сходства ряда свойств электронным аналогом углерода [7].

Авторами показана перспективность применения наплавочной порошковой проволоки, легированной комплексом $\text{VN-TiB}_2\text{-ZrB}_2$ [5]. Однако выполненные исследования относятся только к металлу покрытий в состоянии после наплавки. В то же время твердость таких покрытий довольно высока, что затрудняет их механическую обработку. Поэтому требуется проведение отпуска наплавленного металла, а затем, после проведения механической обработки, его закалка.

Исходя из этого, целью работы является исследование изменений дюрометрических свойств такого покрытия в результате отпуска и последующей закалки.

Объекты и методы исследований

В работе исследовали металл, полученный наплавкой порошковой проволокой, содержащей 15% Cr, 1% BN, 2,5% TiB₂, 1% ZrB₂. Исследовался металл после термической обработки на режимах, установленных ранее: отпуск 800 °С в течение 2 часов и закалка при температурах 950, 1020 и 1100 °С [8].

Наплавку осуществляли на пластины из стали Ст3 размером 200×50×10 мм опытными порошковыми проволоками диаметром 2,4 мм в аргоне в три слоя. Режим наплавки: сила тока 230 А; напряжение 24 В; скорость наплавки 20 м/ч.

Металлографические исследования наплавленного металла проводили на оптическом микроскопе AXIO Observer A1m (Carl Zeiss). Микроструктура выявлялась химическим травлением в реактиве состава: CuSO₄ – 4 г; HCl – 20 мл; H₂O – 20 мл.

ДюрOMETрические исследования проводили на образцах из металла после наплавки с помощью твердомеров ТК-2 по методу Роквелла и Shimadzu HNV-2 по методу Виккерса.

Результаты исследований и обсуждение

Металл покрытия, полученного порошковой проволокой с комплексом 1% BN, 2,5% TiB₂, 1% ZrB₂ в состоянии после наплавки имеет твердость 52-57 HRC, начиная со второго слоя. Микротвердость структурных составляющих такого металла составляет для матрицы 617-648 HV, эвтектики 764-847 HV и упрочняющих фаз 1128-1247 HV [5].

Установлено, что микротвердости структурных составляющих такого наплавленного металла после отпуска исследуемого покрытия существенно изменились (рис. 1, табл. 1).

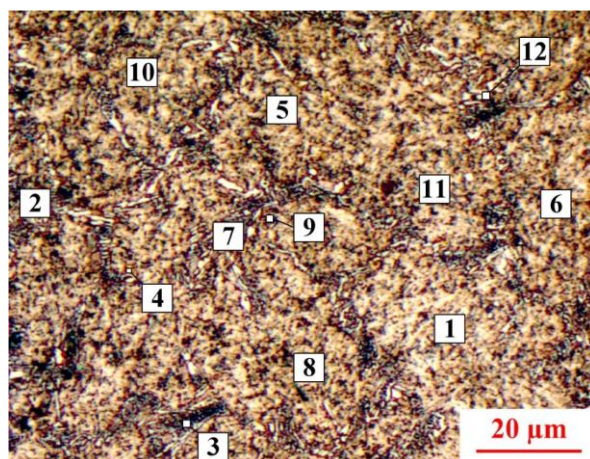


Рис. 1. Микроструктура металла покрытия и области замеров микротвердости структурных составляющих металла с боридами после отпуска

Таблица 1

Микротвердость HV_{0,01}* и HV_{0,05} структурных составляющих металла с боридами после отпуска

№ укола	1	2	3	4*	5	6	7	8	9*	10	11	12
HV	357	608	629	783	386	366	603	408	593	371	384	675

Как видно, микротвердость структурных составляющих металла с боридами после отпуска существенно снизилась для матрицы до 357-408 HV, эвтектики до 593-629 HV и упрочняющих фаз до 675-783 HV.

После закалки наплавленный металл покрытия имеет сложную композиционную структуру с мартенситной матрицей, большим количеством эвтектики и частиц упрочняющих фаз. Твердость такого металла достигает максимального значения в 54 HRC при температуре закалки с 1020 °С (табл. 2)

Таблица 2

Распределение твердости по сечению металла покрытия с боридами после закалки

Основной металл	Зона сплавления	Распределение твердости по слоям наплавленного металла, HRC			
		1	2	3	4
950 °С					
12	24	43	44	45	47
11	23,5	44	45	48	44,5
1020 °С					
10	16,5	52	54	53	51
9	15,5	51	53	54	52
1100 °С					
13	27	49	47	45	44
12	27	49	48	44,5	43

ДюрOMETрические исследования показали существенные различия в микротвердости структурных составляющих металла исследуемого покрытия после закалки (рис. 2, табл. 3).

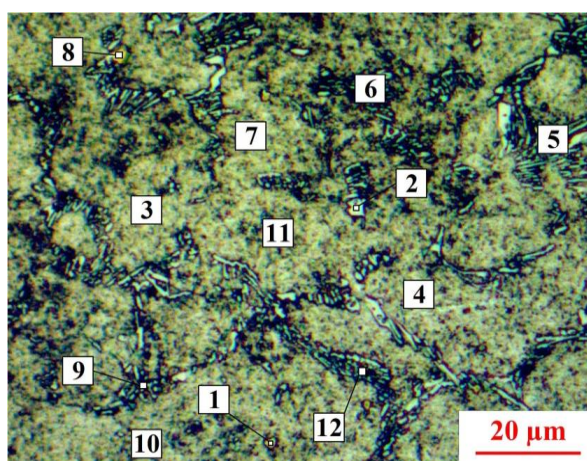


Рис. 2. Области замеров и значения микротвердости структурных составляющих металла покрытия с боридами после закалки

Таблица 3

Микротвердость $HV_{0,01}^*$ и $HV_{0,05}$ структурных составляющих металла покрытия с боридами после закалки

№ укола	1*	2*	3	4	5	6	7	8*	9*	10	11	12
HV	1015	558	617	636	756	688	612	1045	882	656	624	841

Микротвердость структурных составляющих металла, наплавленного порошковой проволокой с боридами, после закалки значительно повысилась и составила для матрицы 558-688 HV, эвтектики 756-882 HV и упрочняющих фаз 1015-1045 HV.

Заключение

Упрочнение металла коррозионностойких покрытий, наплавленных порошковой проволокой, легированной комплексом BN-TiB₂-ZrB₂, в результате закалки заключается в образовании сложной композиционной структуры с железо-хромистой мартенситной матрицей, большого количества эвтектики и частиц упрочняющих комплексов, что приводит к повышению твердости до 54 HRC после отпуска при 800 °С и закалки с 1020 °С.

Библиографический список:

1. Юзвенко Ю. А., Кирелюк Г. А. Наплавка порошковой проволокой. М.: Машиностроение. 1975. 45 с.
2. Наплавочные материалы стран-членов СЭВ. Каталог / Киев; М.: ВИНТИ, 1979. 619 с.
3. Eremin E. N. Using boride compounds in flux-cored wires for depositing maraging steel // *Welding International*. 2013. V. 27. № 2. P. 144-146.
4. Лосев А. С., Еремин Е. Н., Филиппов Ю. О. Исследование влияния боридов на упрочнение мартенситностареющей стали // *Омский научный вестник*. 2010. №2 (90). С. 131-134.
5. Eremin E. N., Losev A. S., Borodikhin S. A., Ivlev K. Ye. Effect of the boride-nitride hardening on the structure and properties of chromium steel deposited with a flux-cored wire // *Oil and Gas Engineering (OGE-2017) AIP Conf. Proc.* 1876. 2017. P. 020071-1-020071-6.
6. Костина М. В., Банных О. А., Блинов В. М. Хромистые коррозионностойкие стали, легированные азотом, новый класс конструкционных сталей // *Технология металлов*. 2000. № 10. С. 2-12.
7. Курдюмов А. В., Пилянкевич А. Н. Фазовые превращения в углероде и нитриде бора / Киев: Наук. думка, 1979. 188 с.
8. Еремин Е. Н., Лосев А. С., Бородихин С. А. [и др.] Влияние термической обработки на структуру и свойства покрытий на основе мартенситной хромистой стали, полученных наплавкой порошковой проволокой // *Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*. Т. 1. № 2. 2017. С. 41-46.