

Исследование возможности получения наплавленных покрытий из борированной проволоки.

Стефанович В.А., Борисов С.В., Стефанович А.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В настоящее время для восстановления деталей машин широкое распространение получили методы наплавки износостойких материалов. При электродуговой или газопламенной плавке используют разнообразные наплавочные материалы: сварочная и наплавочная проволока, литая лента, порошковые стержневые электроды с обмазкой, трубчатые и порошковые электроды. Для автоматизации процесса наплавки необходимо использовать наплавочный материал в виде проволоки или ленты [1].

В качестве износостойких при плавке широко используют самофлюсующиеся смеси на основе Ni-Cr-Si-B, Fe-Cr-Ni-B-Si, Fe-Cr-B-C, Fe-B. В работе [2] дан анализ различных композиций наплавочных материалов и показано, что использование системы Fe-B для получения износостойких покрытий наиболее целесообразно. Наплавочные материалы на данной основе по эксплуатационным и технологическим свойствам не уступают Ni-Cr-B-Si покрытиям, а по стоимости гораздо ниже.

Структура наплавленного слоя системы Fe-B зависит от количественного соотношения железа и бора и определяется диаграммой состояния Fe-B [3]. Бор образует с железом два химических соединения Fe_2B (8.8% мас B, с твердостью $H=13000-16000$ МПа) и FeB (16.2% мас B с твердостью 18000 - 22000 МПа).

Первая эвтектика системы Fe-B образуется при содержании бора 3,8% мас. и состоит из α -Fe+ Fe_2B , а при наличии углерода - из перлита + Fe_2B [3]. В зависимости от содержания бора, структура наплавленного слоя может быть доэвтектическая, состоящая из α - Fe_2B + эвтектика, эвтектическая состоящая из эвтектики и заэвтектическая, состоящая из избыточной фазы Fe_2B и эвтектики.

Наличие твердой фазы Fe_2B в наплавленном слое обуславливает высокую износостойкость покрытия. Экстремум износостойкости наблюдается при содержании бора 4 - 6%, что соответствует эвтектической и заэвтектической структуре [2]. При содержании бора в наплавленном слое больше эвтектической концентрации в структуре выделяется избыточная хрупкая фаза Fe_2B , которая снижает пластичность покрытия. Поэтому наплавленные покрытия, работающие в динамических условиях. Содержат 0,5 -2% бора.

Цель работы: - изучить возможность использования процесса борирования для получения стальной наплавочной проволоки, обеспечивающей различное содержание бора в наплавленном слое.

Борированная проволока в сечении состоит из двух зон: внешней - боридного слоя и внутренней, состоящего из основного металла. В процессе плавления проволоки боридный слой смешивается с основной, образуя покрытие, в котором бор равномерно распределяется по сечению наплавленного покрытия. Содержание бора в проволоке, а следовательно, и в наплавленном покрытии определяется следующими параметрами: концентрацией бора в диффузионном слое, толщиной боридного слоя и диаметром проволоки. Количество бора в боридном слое может находиться от 8,8% (при однофазном борировании), до 12 -14% (при двухфазном борировании).

Для оценки содержания бора в наплавленном покрытии воспользуемся равенством:

$$S_n * B_n = S_c * B_c, \quad (1)$$

где S_n - площадь поперечного сечения проволоки, S_c - площадь боридного слоя в сечении проволоки, B_n и B_c - концентрация бора в наплавленном покрытии и боридном слое.

Выражая площади S_n и S_c через радиус проволоки R , и толщину слоя h и решая относительно h получается зависимость:

$$h = R \left(1 - \sqrt{\frac{B_c - B_n}{B_c}} \right)$$

которая позволяет вычислить требуемую толщину боридного слоя на проволоке радиусом R для получения определенного содержания бора B_n в наплавленном слое.

Решая (1) относительно B_n получается зависимость:

$$B_n = B_c \left[1 - \frac{(R-h)^2}{R^2} \right]$$

которая позволяет определить содержание бора в наплавленном слое, если в качестве электрода использовалась проволока радиусом R борированную на толщину h .

В литературе [4] приведены данные о технологических параметрах процесса борирования. Позволяющих получить определенную толщину диффузионного покрытия на различных сталях, а также фазовый состав и соотношение фаз в боридном слое. Эти данные позволяют выбрать режим ХТО проволоки, которая при наплавке обеспечит требуемое содержание бора в наплавленном покрытии.

В процессе борирования формируется диффузионные слои толщиной до 0,3 мм, у которых средняя концентрация бора в слое может достигать до 14%. Кроме того. При толщине двухфазного боридного более 0,25 мм фаза FeB может складываться с поверхности. Эти параметры ограничивают диаметр проволоки, который можно использовать для приготовления электродов методом борирования.

В таблице 1 приведена толщина боридного слоя с 60% FeB, обеспечивающая эвтектическую структуру наплавленного слоя (3,8% B).

Таблица 1

Диаметр проволоки, мм	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Толщина боридного слоя, мм	0,078	0,117	0,155	0,195	0,233	0,272	0,312

Из таблицы 1 видно, что при изготовлении наплавочной проволоки методом борирования целесообразно использовать проволоку диаметром до 3 мм. При большем диаметре проволоки диффузионный двухфазный слой может складываться из-за его большой толщины.

Данный метод позволяет ориентировочно оценить структуру наплавленного слоя из борированной проволоки, так как не учитывается влияние химических элементов на положение эвтектики и, особенно, скорость охлаждения расплава, которая приводит к неравновесной кристаллизации и получению квазиэвтектики.

При изготовлении наплавочной проволоки процесс борирования проводили в порошковой смеси карбида бора и фтористого алюминия при температурах 850-1000⁰С в течении 2-4 часов. Порошковая смесь и температурно-временные параметры обеспечивали двухфазный боридный толщиной 40-240 мкм. Содержание фазы FeB в диффузионных покрытиях находится в пределах 50-60%, что обеспечивает среднее содержание в боридном слое 12,5-13% мас.

Для насыщения использовалась проволока диаметром 1 мм из стали 08 и диаметром 2 мм из стали 65Г, Х6ВФ.

Температурно-временные параметры борирования подбирались таким образом, чтобы толщина диффузионного слоя на проволоке при наплавке обеспечивала до-, за-, и эвтектическую структуру наплавленного слоя. Значения данных параметров и ожидаемой структуры приведены в таблице 2.

Наплавка осуществлялась электродуговым методом в защитном газе CO₂ и ацетиленокислородной горелкой на подложку из стали Ст.1. Толщина наплавленного слоя составляла 1-1,5 мм.

Таблица 2

№ об-ра-ца	Марка стали	Диаметр проволоки, мм	Режим борирования		Толщина на слоя мкм	Ожидаемое кол-во В в наплавленном покрытии, %	Ожидаемая структура	Структура наплавленного покрытия	Твердость наплавленного покрытия, МПа
			t ⁰ С	τ, ч					
1	08	1	850	2	40	2,0-2,2	Дозвт.	Дозвт.	550±80
2	08	1	900	2	80	3,7-3,9	Эвт.	Эвт.	600±40
3	08	1	900	3	115	5,1-5,3	Заэвт.	Эвт.	650±40
4	08	1	1000	2	170	7,0-7,3	Заэвт.	Заэвт.	750±40 1380±70*
5	65Г	2	1000	2	150	3,6-3,9	Эвт.	Эвт.	780±50
6	65Г	2	1000	4	240	5,4-5,7	Заэвт.	Эвт.	830±40
7	Х6ВФ	1	1000	2	80	3,7-3,9	Эвт.	Эвт.	920±40

*Твердость избыточной фазы.

Анализ микроструктуры наплавленных покрытий показал, что использование борированной проволоки различного диаметра в качестве электродов позволяет получить различные типы структур системы Fe-B (таблица 2).

Дозэвтектические структуры образуются при ожидаемой концентрации бора до 2,2% мас. структура наплавленного слоя состоит

из дендритов перлита, между которыми находится эвтектика. Размеры включений перлита в сечении шлифа составляют от 5 до 20 мкм и более (рис. 1а).

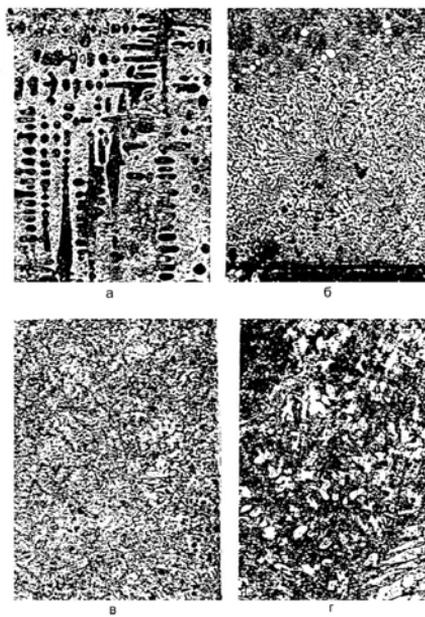


Рис. 1. Микроструктуры наплавленных покрытий, полученных из борированной стали 08, х500.

а - доэвтектическая; б - переходная зона; в - эвтектическая; г - заэвтектическая.

Эвтектические структуры формируются в широком диапазоне ожидаемых концентраций бора от 3,6 до 5,7 мас, что значительно отличается от эвтектической концентрации бора - 3,8% мас. это связано с частичным выгоранием бора при наплавке и ускоренным охлаждением расплава, которое приводит к образованию квазиэвтектики. Структура наплавленного слоя состоит из переходной зоны толщиной 150-200 мкм (рис 1б.), в которой имеются включения перлита и эвтектической зоны. Эвтектическая зона состоит из зерен размером 30-70 мкм очень мелкозернистого строения. На границах зерен эвтектическая смесь более крупная (рис. 1в).

Заэвтектические структуры образуются при содержании бора более 7% мас. Избыточная фаза Fe_2B выделяется в виде угловатых или пластинчатых включений размером от 7 до 50 мкм, между которыми находится эвтектика (рис. 1г.). У основного металла находится переходная зона эвтектического строения толщиной 80-100 мкм.

Твердость наплавленных покрытий зависит от содержания бора в структуре и марки стали, из которой изготовлена проволока (таблица 2). Увеличение концентрации бора в наплавленном покрытии, полученном из стали 08 приводит в повышению твердости от 550 до 750 МПа. В заэвтектическом покрытии твердость избыточной фазы составляет 1350 ± 50 МПа, что соответствует твердости фазы Fe_2B [4]. Аналогичная зависимость сохраняется и для наплавленного покрытия полученного из стали 65Г. наибольшее значение по твердости имеет направленное покрытие, полученное из борированной стали Х6ВФ (920 ± 40 МПа). Такая твердость обуславливается наличием легирующих элементов, которые замедляют распад аустенита при охлаждении. В результате чего эвтектика состоит из мартенсита и Fe_2B .

Выводы: В результате исследований показана возможность использования процесса борирования для получения наплавочной проволоки. Установлено, что данный метод можно использовать для изготовления наплавочных электродов до 3 мм при этом содержание бора в наплавленном покрытии может находиться в широких пределах от 2 до 7 % мас., что обеспечит различную структуру и свойства.

Литература

1. Аппен А.А. Температуроустойчивые неорганические покрытия. - Л.: Химия, 1976.
2. Ворошнин Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с использованием ХТО. - Минск.: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 1999.
3. Таран О.Н., Мазур В.Н. Структура эвтектических сплавов. - М.: Metallurgia, 1978.

4. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник/ Борисенко Г.В., Васильев Л.А., Ворошнин Л.Г., и др. - М.: Металлургия, 1981.

Репозиторий БНТУ