

БОРИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ЦЕМЕНТИРОВАННОЙ СТАЛИ 20

*Кандидаты техн. наук КУХАРЕВА Н. Г., ПРОТАСЕВИЧ В. Ф.,
инж. ПЕТРОВИЧ С. Н.*

Белорусский национальный технический университет

Одним из перспективных методов поверхностного упрочнения сталей является создание диффузионных боридных покрытий. Отличительная особенность боридных слоев – высокая твердость и износостойкость. Износостойкость борированных сталей выше хромированных, азотированных и цементированных. Однако боридные слои на сталях могут использоваться для упрочнения деталей, инструмента, технологической оснастки, если в процессе эксплуатации они не испытывают высоких контактных нагрузок, так как наличие более мягкого подслоя создает условия для продавливания и разрушения.

Получить твердый подслоя можно при борировании средне- и высокоуглеродистых сталей с последующей их термической обработкой. Низкоуглеродистые стали, упрочненные борированием, могут применяться в том случае, если они будут подвергнуты предварительной обработке, например цементации, для создания достаточно твердой и прочной подложки. В [1–3] представлены результаты упрочнения сталей и металлокерамических материалов в процессе бороцементации.

Целью данной работы были получение боридных покрытий на предварительно цементированной низкоуглеродистой стали, исследование фазового состава, строения и свойств диффузионного бороцементированного слоя.

Боридные покрытия получали на предварительно цементированной стали 20 и образцах без предварительной обработки. Цементацию и борирование проводили в порошковых средах. Составы и режимы обработки приведены в табл. 1. Среда для борирования была получена в процессе внепечной алюмотермии по

принципу самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Таблица 1

Режимы и составы обработки стали 20

Вид обработки	Состав среды, %	Температура, °С	Время, ч	Среда охлаждения
Борирование	$25\text{B}_2\text{O}_3 + 24\text{Al}_2\text{O}_3 + 27\text{Al} + 15\text{Cr}_2\text{O}_3 + 5\text{NiO} + 3\text{ZrO}_2 + 0,5\text{NH}_4\text{Cl} + 0,5\text{KBF}_4$	800; 850; 900; 950	6	В порошковой среде на воздухе
Цементация	$67\text{Cr}_2\text{O}_3 + 17\text{Al}_2\text{O}_3 + 11\text{C} + 4,5\text{NaHCO}_3 + 0,5\text{NH}_4\text{Cl}$	950	6	»
Закалка	Уголь	780		Масло
Отпуск	Воздух	180		Воздух

После химико-термической обработки были проведены металлографический и дюротрический анализы. Измерены микротвердость, микрохрупкость и твердость.

Дюротрический анализ проводили на приборе ПМТ-3 по ГОСТ 9650–76 при нагрузке 0,980 Н. Как показано в [4], выбор данной нагрузки обоснован тем, что для боридов FeB и Fe₂B практически отсутствует зависимость микротвердости от нагрузки в интервале 1,0–2,0 Н.

Исследование микрохрупкости осуществляли по методике, описанной в [5]. Микрохрупкость оценивали в зависимости от числа отпечатков с дефектами и характера дефектов вокруг отпечатка. Суммарный балл хрупкости рассчитывали по формуле

$$Z = 0 \cdot n_0 + 1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 + 3 \cdot n_3 + 4 \cdot n_4 + 5 \cdot n_5,$$

где Z – суммарный балл хрупкости; $n_0, n_1, n_2, n_3, n_4, n_5$ – количество отпечатков из общего числа с данным баллом хрупкости. В ходе исследований была проведена статистическая обработка результатов измерений. Исключены грубые ошибки – промахи.

Твердость измеряли по методу Роквелла на приборе ТК-2М в соответствии с ГОСТ 9013–59.

В результате борирования стали 20 с предварительной цементацией и без нее были получены двухфазные боридные слои. На рис. 1 указаны фазовый состав и толщина боридного слоя в зависимости от температуры борирования и вида предварительной обработки. Борированный слой состоит из боридов FeB, Fe₂B и переходной зоны. Толщина переходной зоны (зона с повышенным содержанием бора и углерода) для цементированных образцов растёт от 170 до 2800 мкм в зависимости температуры борирования. При последующей термической обработке переходная зона должна служить твердой и прочной подложкой для боридного слоя.

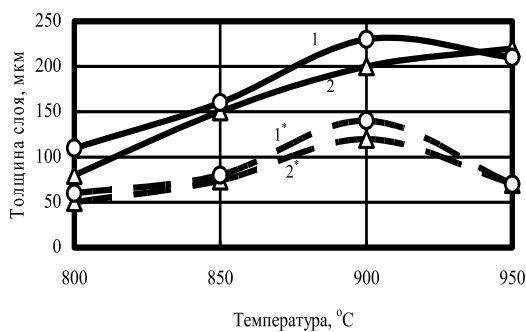


Рис. 1. Изменение толщины слоя в зависимости от вида обработки и температуры борирования: 1, 1* – борирование; 2, 2* – цементация + борирование; 1, 2 – общая толщина слоя; 1*, 2* – толщина FeB

Максимальная толщина боридного слоя получена после борирования без предварительной обработки. Слои, сформированные на цементированных образцах, имеют меньшую толщину. С повышением температуры насыщения бором от 800 до 900 °C происходит непрерывный рост толщины высокобористой фазы FeB и общей толщины слоя. Общая толщина боридного слоя достигает 230 мкм на образцах без предварительной обработки и 220 мкм – на цементированных. Толщина зоны FeB составляет 140 и 120 мкм.

Борирование при максимальной температуре 950 °C приводит к снижению толщины зоны FeB в два раза. Толщина этой зоны составляет 70 мкм для борированных и предварительно цементированных образцов. Общая толщина боридного слоя остается практически на уровне слоя, полученного при 900 °C.

Такое замедление скорости образования боридного слоя с повышением температуры борирования с 900 до 950 °C объясняется замедлением параметров диффузии бора в твердом растворе при фазовом превращении $\alpha \rightarrow \gamma$. Коэффициент диффузии бора в α -твердом растворе при 900 °C составляет $D = 1,2 \cdot 10^{-2}$, что на три порядка выше чем в γ -растворе, где $D = 10^{-5}$.

Микроструктуры боридных слоев, полученных на стали 20 при температуре борирования 950 °C, представлены на рис. 2. Предварительная цементация изменяет строение боридного слоя. Боридные иглы Fe₂B цементированных образцов укрупняются, их концы скругляются. Граница слоя с основой более ровная, игольчатость практически отсутствует. На концах игл Fe₂B цементированных образцов формируется борный цементит.

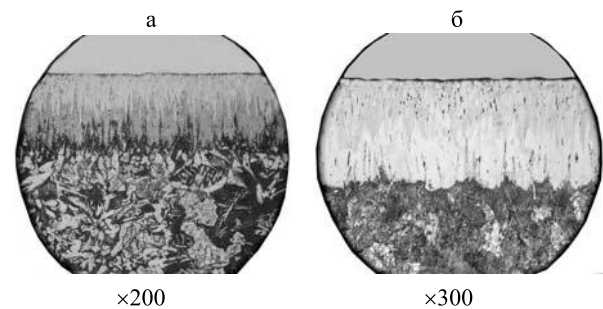


Рис. 2. Микроструктуры диффузионных боридных слоев: температура борирования 900 °C; а – борирование; б – цементация + борирование

В ходе исследований установлено, что в зависимости от температуры борирования существуют две закономерности, по которым происходят изменения микротвердости по толщине боридного слоя. На рис. 3 представлены результаты измерения микротвердости боридного слоя, полученного при 950 °C. На границе фаз FeB, Fe₂B наблюдается скачкообразное изменение микротвердости, составляющее 2000 МПа.

Микротвердость борида FeB, полученного на образцах без предварительной обработки (15060 МПа) и на предварительно цементированных (15000 МПа), практически одинаковая. Более низкие значения микротвердости высшего борида с поверхности по сравнению со значениями, полученными на расстоянии 50–70 мкм

от края, вызваны наличием пор на глубине от 10 до 20 мкм.

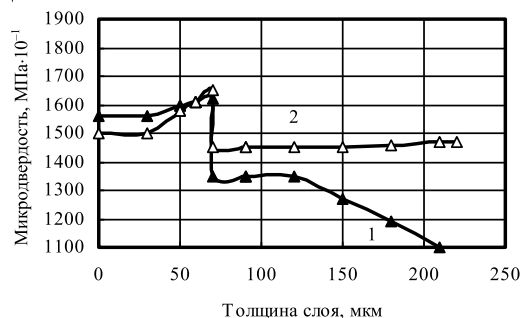


Рис. 3. Изменение микротвердости в зависимости от вида обработки: температура борирования 950 °C: 1 – борирование; 2 – цементация + борирование

Микротвердость боридов Fe_2B на предварительно цементированных образцах сохраняется постоянной до границы с основой и составляет 14500 МПа. Борид Fe_2B , полученный на стали 20 без предварительной обработки, имеет более низкую микротвердость, и его значения уменьшаются по толщине слоя от 13000 МПа на границе двух боридов до 11000 МПа у основы.

Второй тип изменения микротвердости по толщине слоя, полученный по результатам борирования при температуре 900 °C, изображен на рис. 4. Отличительной особенностью борирования при температуре 900 °C является отсутствие резкого различия между значениями микротвердости боридов FeB и Fe_2B в слое. В связи с незначительным различием по твердости на кривой изменения микротвердости по толщине боридного слоя отсутствует ступень, соответствующая разнице значений микротвердости двух боридов, как при 950 °C.

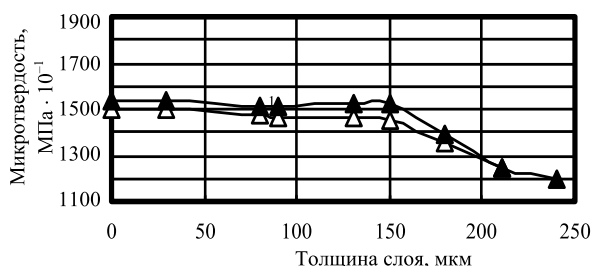


Рис. 4. Изменение микротвердости в зависимости от вида обработки. Температура борирования 900 °C: 1 – борирование; 2 – цементация + борирование

Бориды FeB и Fe_2B , сформированные в результате борирования при температуре 900 °C на предварительно цементированных образцах,

имеют более низкую микротвердость, чем на образцах без предварительной обработки. Микротвердость фазы Fe_2B понижается по толщине слоя и на границе с основой для двух типов покрытий составляет 12000 МПа.

Микротвердость боридов FeB изменяется в зависимости от температуры борирования. С понижением температуры борирования значения микротвердости падают. Так, при температурах борирования 950; 900; 850 и 800 °C микротвердость боридов FeB , полученного на образцах без предварительной обработки, составляет соответственно 16200; 15400; 15600 и 12600 МПа и на предварительно цементированных образцах – 16500; 14900; 15300 и 12600 МПа.

Хрупкость боридных слоев оценивали по величине суммарного балла хрупкости. В табл. 2 представлены данные по измерению хрупкости боридов для двух типов обработки и при всех температурах борирования.

Из двух боридов борид FeB имеет наибольшую хрупкость. Максимальные значения суммарного балла хрупкости ($Z > 30$) имеют бориды, сформированные при температурах 900 и 800 °C, там, где толщина боридов FeB имеет максимальные значения 140–120 мкм (900 °C) и минимальные 60–50 мкм (800 °C).

Таблица 2

Изменение суммарного балла хрупкости в зависимости от температуры борирования и вида обработки

Температура борирования, °C	Вид обработки	Суммарный балл хрупкости, Z			
		FeB		Fe ₂ B	
		У поверхности	На границе боридов	На границе боридов	На границе с основой
800	Б	33	–	–	32
	Ц + Б	24	–	–	0
850	Б	18	–	–	23
	Ц + Б	10	–	–	2
900	Б	25	30	16	12
	Ц + Б	17	35	28	13
950	Б	7	29	17	20
	Ц + Б	4	24	13	3

Примечание. Б – борирование; Ц + Б – цементация + борирование.

Минимальные значения хрупкости ($Z < 10$) получены в процессе борирования при температурах 950 и 850 °C на предварительно цемен-

тированных образцах. В слое на границе двух боридов зафиксированы максимальные значения суммарного балла хрупкости для обоих боридов (от 35 до 13). Минимальные значения хрупкости боридов Fe_2B получены на границе с основой на предварительно цементированных образцах (от 0 до 3), кроме образцов, борированных при температуре 900 °С ($Z = 13$). Для боридных покрытий без предварительной обработки на границе с основой суммарный балл хрупкости высокий (от 32 до 12).

По результатам проведенных измерений суммарного балла хрупкости боридного слоя (табл. 2) установлено, что предварительная цементация снижает хрупкость боридного слоя. Исходя из величины суммарного балла хрупкости боридов у поверхности на границе боридов и на границе с основой можно сделать вывод о том, что разрушение боридного покрытия может проходить с поверхности или на границе двух боридов в самом диффузионном слое, но никак не на границе с основой.

Борированные образцы были подвергнуты термической обработке – закалке и низкому отпуску. Микротвердость переходной зоны предварительно цементированных образцов непосредственно под боридным слоем достигла 7700; 9900; 10300 и 6100 МПа соответственно для температур борирования 800; 850; 900 и 950 °С. В результате комплексной обработки стали 20 была достигнута поставленная цель – создание твердой и прочной подложки для боридного слоя. Поверхностная твердость борированных образцов с предварительной цементацией составила 66–68 HRC, что вполне достаточно для предотвращения продавливания боридного слоя и создания возможности его применения в условиях высоких контактных нагрузок.

ВЫВОДЫ

1. Получены двухфазные боридные покрытия на предварительно цементированной стали 20.

2. Повышение температуры борирования от 900 до 950 °С приводит к снижению скоро-

сти роста общей толщины боридного слоя и зоны FeB .

3. Установлены закономерности изменения микротвердости по толщине боридного слоя:

- скачкообразное изменение микротвердости на границе двух фаз FeB и Fe_2B при температуре 950 °С;

- плавное изменение микротвердости по толщине боридного слоя от поверхности к основе при температуре 900 °С.

4. На предварительно цементированных образцах получены минимальные значения суммарного балла хрупкости боридов FeB ($Z < 10$) и Fe_2B ($Z = 0-3$) по сравнению с боридами, образованными без предварительной обработки.

5. Исходя из характера изменения хрупкости боридов по толщине слоя разрушение боридного покрытия наиболее вероятно с поверхности и по слою на границе двух боридов.

6. Комплексная обработка стали 20 позволила при последующей термической обработке получить боридные слои с твердым подслоем – поверхностная твердость на предварительно цементированных образцах составила 66–68 HRC.

ЛИТЕРАТУРА

1. Химико-термическая обработка металло-керамических материалов / О. В. Роман [и др.]; под ред. О. В. Романа. – Минск: Наука и техника, 1977. – 270 с.
2. Гурьев, А. М. Поверхностное упрочнение штамповых сталей карбоборированием / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, М. Д. Старостенков // Физика прочности и пластичности материалов: тез. докл. 15-й междунар. конф. 30.09–03.10.2003. – Тольятти: ТГУ, 2003. – С. 3–72.
3. Лыгденов, Б. Д. Повышение износостойкости углеродистой феррито-перлитной стали / Б. Д. Лыгденов, И. Б. Обунеев, А. М. Гурьев // Ползуновский альманах. – 2003. – № 3–4. – С. 105–107.
4. Протасевич, В. Ф. Некоторые особенности микротвердости и микрохрупкости боридных слоев / В. Ф. Протасевич, В. В. Мельниченко // Литье и металлургия. – 2005. – № 4. – С. 145–147.
5. Глазов, В. М. Микротвердость металлов / В. М. Глазов, В. Н. Вигдорович. – М.: Металлургия, 1969. – 247 с.

Поступила 02.09.2010