

Литература

1. **Взрывобезопасность** электрических разрядов и фрикционных искр / В.А. Бондарь [и др.]; под ред. В.С. Кравченко и В.А. Бондаря. – М.: Недра, 1976. – 304 с.
2. **Розловский, А.И.** Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами парами / А.И. Розловский. – М. : Химия, 1980. – 376 с.
3. **Взрывобезопасный инструмент** [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.safetytool.ru/>. – Дата доступа: 06.05.2012.
4. **Бериллиевые бронзы: проблемы и перспективы** [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.softmetall.ru/>. – Дата доступа : 03.04.2012.
5. **Монюшко, В.Н.** Количественная оценка взрывоопасности фрикционных искр / В.Н. Монюшко // Безопасность труда в промышленности. – 1983. № 12. – С. 37–38.
6. **Физические величины: справочник** / под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мелихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991.– 1232 с. – С. 444.

УДК 621.785.5

В.Ф. ПРОТАСЕВИЧ, канд. техн. наук,
Г.В. СТАСЕВИЧ (БНТУ)

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА БОРОКАРБОНИТРИРОВАННОГО СЛОЯ

В работе [1] приведены данные получения боридных покрытий на предварительно карбонитрированной стали 20, а также исследованы фазовый состав, строение и свойства борированных слоев. В результате комплексной обработки на стали были сформированы двухфазные боридные покрытия с высокой микротвердостью. Установлено, что микротвердость боридных фаз на карбонитрированной стали выше, чем у боридов, полученных без предварительной обработки. Однако из-за низких значений микротвердости под боридным слоем в переходной зоне (1400, 2300 МПа) боридные по-

крытия могут продавливаться и разрушаться при использовании их для изделий, работающих в условиях высоких контактных нагрузок.

В настоящей работе с целью создания под боридным слоем твердой и прочной подложки была проведена термическая обработка стали 20 с борокарбонитрированным покрытием. Исследовано влияние термической обработки на свойства борокарбонитрированных слоев. После химико-термической обработки образцы подвергали закалке с 780 °С в масле и низкому отпуску при 180 °С. Диффузионная и термическая обработка стали 20 была проведена по следующим схемам:

1. карбонитрация + борирование (К+Б);
2. карбонитрация + борирование + закалка + отпуск (К+Б+З+О).

Предварительно карбонитрированные образцы из стали 20 подвергали борированию при температурах 800, 850, 900 и 950 °С. Карбонитрацию осуществляли в шахтной печи при температуре 800 °С, в течение 4-х ч в порошковой среде следующего состава (% масс.): $72\text{Cr}_2\text{O}_3 + 18\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{C} + 5\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 + 2\text{NaHCO}_3$.

Для двухфазного борирования использовали насыщающую среду, полученную в процессе внепечной алюмотермии из порошковой смеси на основе оксидов (% масс.): $25\text{B}_2\text{O}_3 + 24\text{Al}_2\text{O}_3 + 27\text{Al} + 15\text{Cr}_2\text{O}_3 + 5\text{NiO} + 3\text{ZrO}_2 + 0,5\text{NH}_4\text{Cl} + 0,5\text{KBF}_4$.

В ходе металлографических и дюрOMETрических исследований были определены микротвердость и микрохрупкость диффузионных боридных слоев.

ДюрOMETрический анализ проводили на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 9650-76) при нагрузке 0,980 Н. Замеры микротвердости боридов осуществляли на поперечных шлифах от поверхности вглубь вдоль оси боридных игл. Первый замер делали у поверхности в фазе FeB, далее вдоль иглы, затем определяли микротвердость фазы Fe₂B от основания иглы на границе двух фаз и до вершины иглы на границе с основой.

Исследование микрохрупкости осуществляли по методике, описанной в работе [2]. Суммарный балл хрупкости оценивали в зависимости от числа отпечатков с дефектами и характера дефектов вокруг отпечатка.

В результате борирования стали 20 с предварительной карбонитрацией были получены двухфазные боридные слои. Борированный

слой состоит из боридов FeB, Fe₂B и переходной зоны. Толщина переходной зоны (зона с повышенным содержанием бора, углерода и азота) для карбонитрированных образцов составляет от 70 мкм до 1700 мкм в зависимости от температуры борирования. При последней термической обработке происходит упрочнение переходной зоны, которая будет служить твердой и прочной подложкой для боридного слоя.

Результаты измерения микротвердости боридного слоя на предварительно карбонитрированной стали до и после термообработки для всех температур борирования представлены на рисунках 1 и 2.

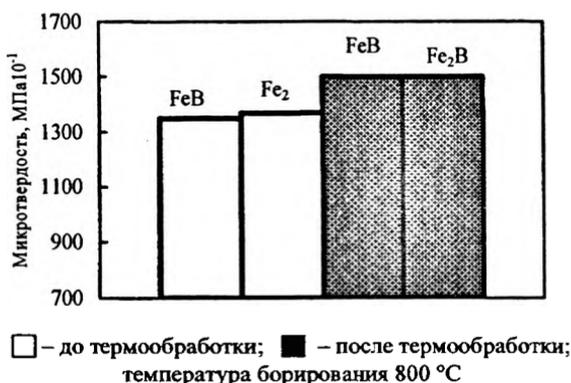
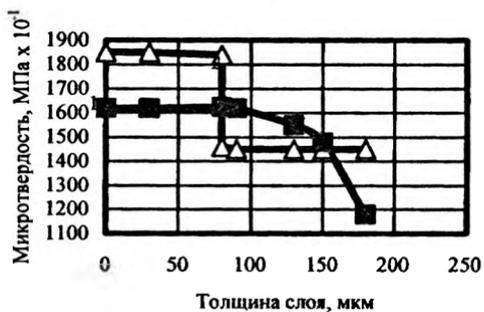


Рисунок 1 – Микротвердость боридов FeB и Fe₂B до и после термообработки

После термообработки микротвердость борида FeB увеличивается на 1500 МПа при температуре борирования 800 °C и на 2000 МПа при 850 и 900 °C. Максимальное значение микротвердости FeB (18400 МПа) достигнуто после закалки и отпуска борокарбонитрированных образцов, полученных при температуре борирования 900 °C. Снижение микротвердости FeB на 2500 МПа зафиксировано после термической обработки стали 20, борированной при 950 °C. Микротвердость борида Fe₂B понижается по толщине слоя и на границе с основой ее значение составляет 12000 МПа (температура борирования 850 °C). При температурах борирования 800, 900 и 950 °C микротвердость Fe₂B остается постоянной на уровне 14000–15000 МПа.



а



б



в

а – 850 °С; б – 900 °С; в – 950 °С

1 – до термообработки; 2 – после термообработки
 Рисунок 2 – Изменение микротвердости по толщине слоя в зависимости от температуры борирования и вида обработки

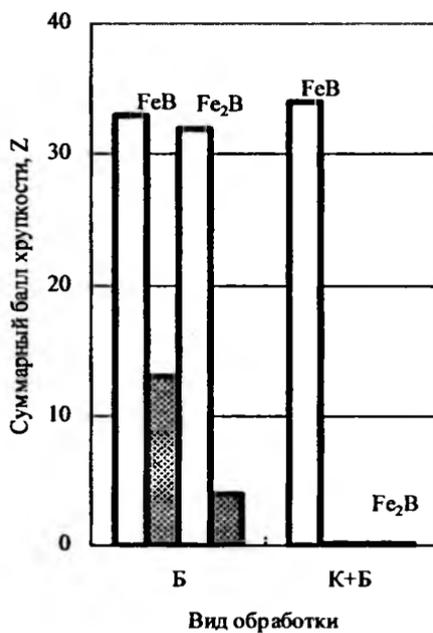
В таблице 1 представлены значения микротвердости в переходной зоне непосредственно под боридным слоем борокарбонитрированной стали до и после термической обработки. После термической обработки наблюдалось повышение твердости переходной зоны. Микротвердость упрочненной зоны изменяется от 6000 до 7800 МПа в зависимости от температуры борирования. Максимальные значения микротвердости (7800 и 7500 МПа) получены соответственно при температурах борирования 850 и 800 °С.

Таблица 1 – Микротвердость переходной зоны в зависимости от вида обработки и температуры борирования

Температура борирования, °С	Вид обработки	Микротвердость под боридным слоем, МПа
800	К + Б	2000
	К + Б + З + О	7500
850	К + Б	2300
	К + Б + З + О	7800
900	К + Б	2000
	К + Б + З + О	6400
950	К + Б	1400, 2300
	К + Б + З + О	6000

Благодаря термической обработке поверхностная твердость борированной стали 20 с предварительной карбонитрацией достигла 63 HRC при температурах борирования 900 и 950 °С и 54 HRC и 43 HRC – при 850 и 800 °С соответственно.

На рисунках 3 и 4 представлены результаты измерения суммарного балла хрупкости боридов до и после термообработки. Борокарбонитрированные слои, полученные при температуре борирования 800 °С, после термической обработки имеют нулевой балл хрупкости. При остальных температурах борирования (850, 900 и 950 °С) после термической обработки отмечается тенденция роста балла хрупкости боридов и особенно у поверхности слоя и на границе двух фаз.



□ – до термообработки; ■ – после термообработки;
 температура борирования 800 °С

Рисунок 3 – Суммарный балл хрупкости в зависимости от вида обработки

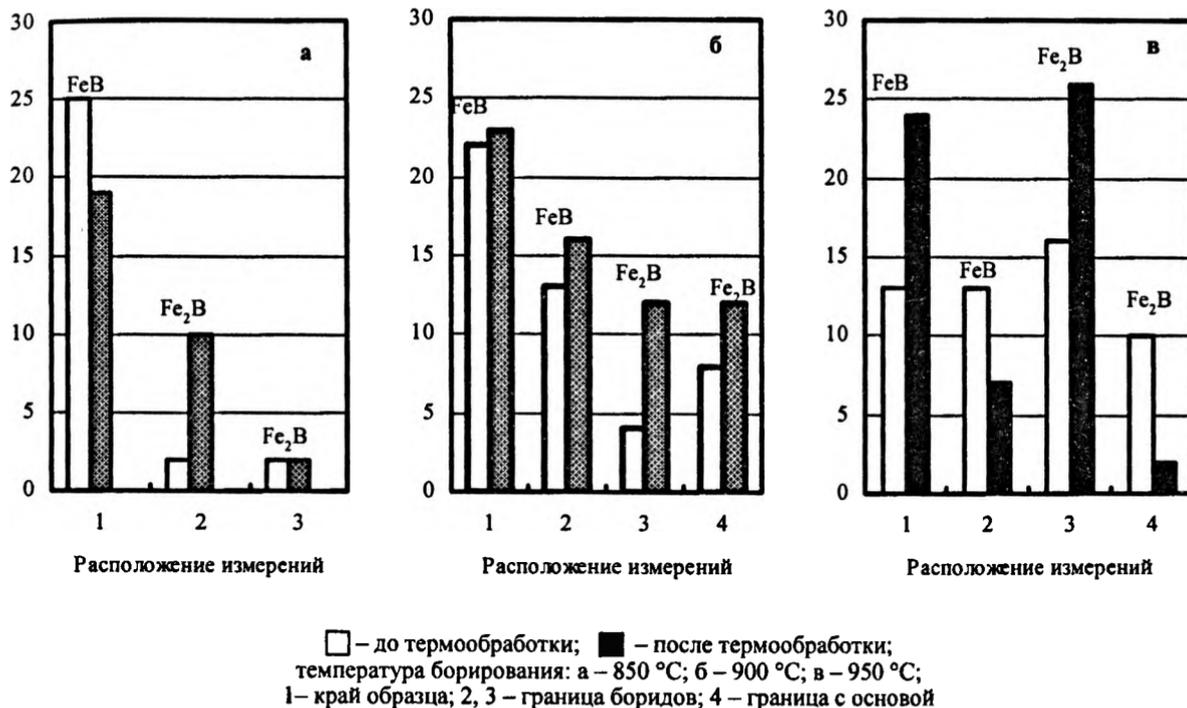


Рисунок 4 – Изменение суммарного балла хрупкости по слою в зависимости от вида обработки и температуры борирования

Выводы

1 Термическая обработка (закалка и низкий отпуск) борокарбонитрированной стали 20 повышает микротвердость бориды FeB на 1500 МПа при температуре борирования 800 °С и на 2000 МПа при 850 и 900 °С. Снижение микротвердости FeB на 2500 МПа зафиксировано после термической обработки образцов, борированных при 950 °С.

2 Термообработка повышает твердость переходной зоны борокарбонитрированного слоя. При этом максимальная микротвердость переходной зоны непосредственно под боридным слоем составляет 7800 МПа при температуре борирования 850 °С, минимальная микротвердость – 6000 МПа при температуре борирования 950 °С.

3 Борокарбонитрированные слои, полученные при температуре борирования 800 °С, после термической обработки имеют нулевой балл хрупкости. При остальных температурах борирования (850, 900 и 950 °С) после термической обработки отмечается тенденция роста балла хрупкости боридов, особенно у поверхности слоя в фазе FeB и на границе двух фаз.

4. Благодаря повышению твердости переходной зоны поверхностная твердость борированной стали 20 с предварительной карбонитрацией после термической обработки достигла 63 HRC при температурах борирования 900 и 950 °С и 54 HRC при 850 °С.

Литература

1. **Протасевич, В.Ф.** Исследование особенностей формирования боридных покрытий на карбонитрированной малоуглеродистой стали / В.Ф. Протасевич, Г.В. Стасевич // Наука и техника. – 2012. – № 3. – С. 7–11.

2. **Глазов, В.М.** Микротвердость металлов / В.М. Глазов, В.Н. Вигдорович. – М.: Металлургия, 1969. – 247 с.