

УДК 621.793

**ВЫБОР СОСТАВА ОБМАЗКИ ДЛЯ
БОРИРОВАНИЯ СТАЛИ 20 ПРИ
МИКРОДУГОВОМ НАГРЕВЕ***Давидян Л. В., Дука В. В., Федосов В. В.,
Приходько С. В.*

Донской государственной технической
университет, Ростов-на-Дону, Российская
Федерация

davidyan_90@mail.ru,
vladislavfedosov90@mail.ru,
svetagal4enko@yandex.ru,
valentina.duka.92@mail.ru

Эффективным способом борьбы с хрупкостью боридных слоев является формирование композиционной структуры, состоящей из включений твердых боридов в более пластичной матрице. Такие покрытия можно получить методом микродуговой химико-термической обработки (МДХТО), которая представляет собой электронагрев изделия в токопроводящей среде порошка каменного угля. Экспериментальным путем выявлено формирование композиционной структуры, содержащей боридные включения микротвердостью 15 ГПа, распределенные в вязкой матрице микротвердостью 5 ГПа. В настоящей работе представлены результаты исследования выбора обмазки для борирования в режиме микродугообразования. Установлено, что композиционная структура формируется при применении карбида бора и борной кислоты. При использовании ферробора марки ФБ6 твердость слоя снижается до 9,5–10 ГПа. Насыщение из аморфного бора приводит к увеличению твердости до 16 ГПа, но его применение увеличивает стоимость обработки.

Ключевые слова: борирование, микродуговая химико-термическая обработка, композиционные боридные покрытия.

Введение. Поверхность деталей машин и инструмента подвергается интенсивным нагрузкам. Для ее упрочнения зачастую используют методы химико-термической обработки: цементация, азотирование, борирование. Цементованные и азотированные покрытия менее износостойки, чем боридные [1, 2]. Однако слои, состоящие исключительно из твердых боридов FeB (1800 кг/мм²) и Fe_2B (2000 кг/мм²), обладают хрупкостью и легко скалываются при эксплуатации [3]. Чтобы избежать этого, используют более пластичные композиционные покрытия, которые состоят из дисперсных включений боридов, распределенных в вязкой основе [4].

В рамках данного исследования формирование композиционного боридного слоя наблюдали в процессе микродуговой химико-термической обработки (МДХТО). Изделие нагревалось

UDC 621.793

**SELECTION OF THE COATING
COMPOSITION FOR STEEL 20 BORATING
AT MICRO-ARC HEATING***Davidyan L. V., Duka V. V., Fedosov V. V.,
Prikhodko S. V.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

davidyan_90@mail.ru,
vladislavfedosov90@mail.ru,
svetagal4enko@yandex.ru,
valentina.duka.92@mail.ru

Formation of a composite structure that consists of solid borides inclusions in a more plastic matrix is an effective way to struggle against the fragility of boride layers. Such coatings can be obtained by micro-arc chemical heat treatment (MACHT), which consists in the electric heating of the product in the conductive medium of coal powder. The formation of a composite structure containing solid boride inclusions with microhardness of 15 GPa distributed in a viscous matrix with microhardness of 5 GPa was experimentally revealed. This paper presents the results of the study of paste selection for boriding in micro-arc mode. By its results it is established that the composite structure is formed after using of boron carbide and boric acid. If using of ferroboron FB6 layer the hardness is reduced to 9.5-10 GPa. Saturation of amorphous boron leads to hardness increasing to 16 GPa, but also it increases the cost of processing.

Key words: borating, microarc chemical heat treatment, composite boride layers.

электрическим током, точнее, микродугами, которые возникали в местах контакта поверхности с частицами порошка каменного угля [5–11]. Из обмазки, содержащей H_3BO_3 , при токе 3А в течение 3 минут получали покрытие толщиной 0,2 мм, состоящее из высокодисперсной эвтектоидной смеси с микротвердостью 4,5–4,7 ГПа и боридной эвтектики 15–17 ГПа [6].

Постановка задачи исследования. В ходе исследования предстоит выбрать борсодержащие диффузенты, способные обеспечить формирование боридных слоев с композиционной структурой при МДХТО.

Методика исследования. Для проведения исследования применялась специально разработанная лабораторная установка [5].

На поверхность образцов из стали 20 диаметром 12 мм и длиной 35 мм наносили гелеобразную электропроводную обмазку, содержащую насыщающее вещество: аморфный бор, ферробор марки ФБб, карбид бора (B_4C) или борную кислоту (H_3BO_3). Затем их погружали в контейнер и засыпали порошком каменного угля на высоту 15 мм. В рабочей системе образец выступал в качестве анода, а контейнер подключали к катоду. Процесс микродугового нагрева проводили при плотности тока $0,53 \text{ А/см}^2$.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты экспериментального исследования борирования в микродуговом режиме с использованием борной кислоты представлены в работе [6] (рис. 1).

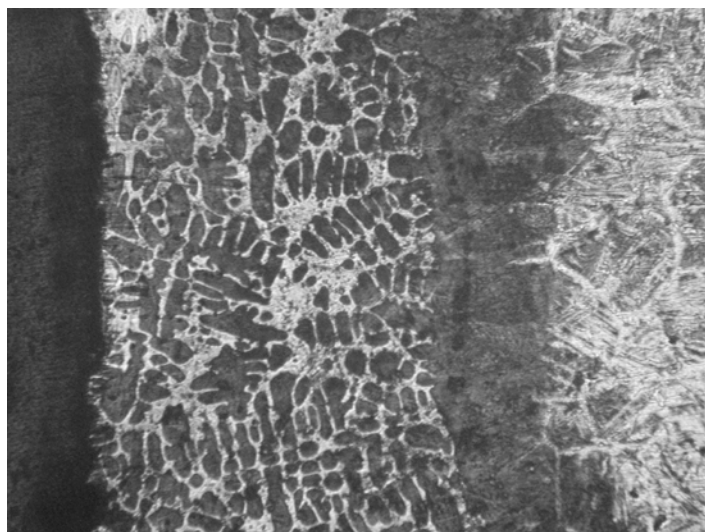


Рис. 1. Боридный слой на стали 20 после борирования из обмазки карбида бора в микродуговом режиме, $\times 240$

Установлено, что совместная диффузия бора и углерода протекает преимущественно по границам зерен и приводит к формированию легкоплавких двойных ($Fe-B$) или тройных ($Fe-B-C$) эвтектик на межфазных границах.

Борирование из обмазки, содержащей карбид бора, проводили в течение 4 минут. Микроструктурный анализ исследуемого образца показал, что толщина слоя составляет 200–250 мкм (рис. 2).

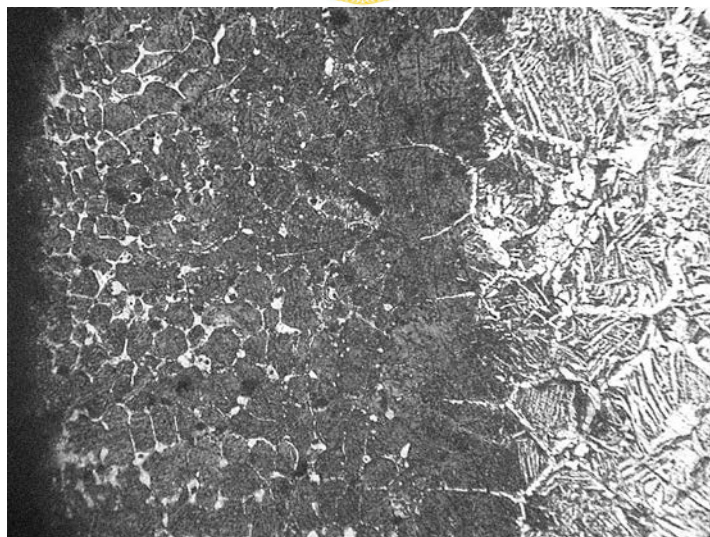


Рис. 2. Боридный слой на стали 20 после борирования из обмазки, содержащей ферробор марки ФБб в микродуговом режиме, $\times 240$

Микротвердость боридной эвтектики составляла 14,5–15 ГПа.

В сравнении с борной кислотой и карбидом бора ферробор имеет более высокую электропроводность, т. к. представляет собой сплав. Поэтому его применение привело к сокращению длительности процесса до 2,45 минут. Структура слоя также отличается. На рис. 2 видно, что участки боридной эвтектики (светлые включения) тоньше. Они имеют более низкую микротвердость (9,5–10,5 ГПа). В данном случае причиной может быть недостаточное количество бора, диффундирующего вглубь металла, так как изначально в ферроборе его содержится не более 6 %.

Использование аморфного бора выявило иной характер строения слоя (рис. 3). В слаботравящемся покрытии микротвердостью 14–14,5 ГПа, были обнаружены дисперсные включения отдельных боридов и карбидов, микротвердость которых достигала 19–25 ГПа. Наличие неравномерно распределенных крупных включений с высокой твердостью может привести к образованию структурных напряжений в слое.



Рис. 3. Боридный слой на стали 20 после борирования из обмазки, содержащей аморфный бор в микродуговом режиме, $\times 300$

Заключение. Экспериментально установлено, что композиционная структура формируется при применении карбида бора и борной кислоты. При использовании ферробора марки ФБб твер-

дость слоя снижается до 9,5–10 ГПа. Насыщение из аморфного бора приводит к увеличению твердости до 16 ГПа, но при его применении возрастает стоимость обработки.

Библиографический список

1. Ворошнин, Л. Г. Борирование стали / Л. Г. Ворошнин, Л. С. Ляхович. — Москва : Металлургия, 1978. — 239 с.
2. Износостойкие боридные покрытия / В. Ф. Лабунец [и др.]. — Киев : Техника, 1989. — 158 с.
3. Ворошнин, Л. Г. Теория и технология химико-термической обработки / Л. Г. Ворошнин, О. Л. Менделеева, В. А. Сметкин. — Москва : Новое знание, 2010. — 304 с.
4. Крукович, М. Г. Пластичность борированных слоев / М. Г. Крукович, Б. А. Прусаков, И. Г. Сизов. — Москва : Физматлит, 2010. — 384 с.
5. Домбровский, Ю. М. Микродуговая химико-термическая обработка в порошковых средах / Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов // Инновационные технологии в машиностроении и металлургии : сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. в рамках VII Промышленного конгр. Юга России. — Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2011. — С. 52–55.
6. Домбровский, Ю. М. Новые возможности поверхностного легирования стали в порошковых средах / Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов // Вестник машиностроения. — 2015. — № 8. — С. 79–81.
7. Домбровский, Ю. М. Создание композитных диффузионных боридных покрытий при микродуговом упрочнении в порошковых средах / Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов // Изв. Волгоград. гос. техн. ун-та. — 2015. — № 5 (160). — С. 61–63.
8. Степанов, М. С. Теплофизический анализ и кинетика микродугового нагрева стали / М. С. Степанов, Ю. М. Домбровский, Л. В. Давидян // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2017. — Т. 13, № 11 (155). — С. 511–516.
9. Степанов, М. С. Механизм ускорения диффузионных процессов при микродуговом нагреве стали / М. С. Степанов, Ю. М. Домбровский // Физика и химия обработки материалов. — 2017. — № 1. — С. 5–11.
10. Домбровский, Ю. М. Формирование композиционного боридного покрытия на стали при микродуговой химико-термической обработке / Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. — 2015. Т. 58, № 3. — С. 214–215.
11. Степанов, М. С. Кинетика нагрева при микродуговой химико-термической обработке стальных изделий / М. С. Степанов, Ю. М. Домбровский, Ю. А. Корнилов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2016. — Т. 82, № 3. — С. 42–44.