

УДК 621.793

**МИКРОСТРУКТУРА СТАЛИ ПОСЛЕ  
БОРОХРОМИРОВАНИЯ С  
МИКРОДУГОВЫМ НАГРЕВОМ***Ю. М. Домбровский, Л. В. Давидян,  
А. Г. Черняк, В. И. Лысенко*

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

[yurimd@mail.ru](mailto:yurimd@mail.ru),  
[davidyan\\_90@mail.ru](mailto:davidyan_90@mail.ru)

Проведен сравнительный анализ традиционных методов борохромирования, на основании которого предложен способ двухкомпонентного насыщения поверхности стали в режиме микродуговой химико-термической обработки (МДХТО). Он заключается в нагреве изделия, погруженного в контейнер с порошком каменного угля марки антрацит дисперсностью 0,4-0,6 мм, за счет образования микродуг на поверхности детали при пропускании электрического тока. В качестве насыщающей среды применяют смесь порошков карбида бора  $B_4C$  и феррохрома марки ФХ800, которые наносятся на поверхность в виде электропроводной гелеобразной обмазки. Приведено описание микроструктуры поверхности стали 20 после борохромирования с микродуговым нагревом. Полученный результат позволяет установить, что двухкомпонентное насыщение с микродуговым нагревом приводит к образованию борохромированного покрытия соизмеримого по глубине с традиционными методами за более короткое время.

**Ключевые слова:** борохромирование, двухкомпонентное насыщение, микродуговая химико-термическая обработка, микродуговой нагрев.

UDC 621.793

**STEEL MICROSTRUCTURE AFTER A  
BOROCHROMIZING WITH MICROARC  
HEATING***Y. M. Dombrovskiy, L. V. Davidyan,  
A. G. Chernyak, V. I. Lysenko*

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

[yurimd@mail.ru](mailto:yurimd@mail.ru),  
[davidyan\\_90@mail.ru](mailto:davidyan_90@mail.ru)

The authors carried out the comparative analysis of the traditional methods of borochromizing, based on which the way of two-component saturation of steel surface in the mode of microarc chemical heat treatment (MDHTO) is offered. It includes heating of the product put in a container with coal powder of anthracite brand with dispersion of 0.4-0.6 mm due to formation of microarches on a detail surface at an electric current transmission. A mix of powders of boron carbide  $B_4C$  and ferrochrome FCh800 are used as saturating environment which are applied on a surface in the form of an electroconductive gel coat. The microstructure description of a surface of steel 20 after borochromizing with microarc heating is provided. The received result allows us to establish that two-component saturation with microarc heating leads to formation of a borochromized covering commensurable on depth to traditional methods with shorter time.

**Key words:** borochromizing, two-component saturation, microarc chemical heat treatment, microarc heating

**Введение.** В современном машиностроении для получения диффузионных покрытий, обладающих высокой износостойкостью и пластичностью применяют различные методы химико-термической обработки, например, борохромирование [1, 2].

Двухкомпонентные покрытия, содержащие бор и хром, получают: электролизным методом в расплавах буры с добавками окиси хрома при температуре 1050°C в течение 3 часов [3]; жидкостным безэлектролизным методом, при котором насыщение проводится при тех же условиях, что и электролизное борохромирование, но с добавкой соответствующего восстановителя (силикокальций) [4]. Обычно на поверхности формируются слои на основе боридов железа (Fe,Cr)<sub>2</sub>B, (Fe,Cr)B и на основе боридов хрома (Cr,Fe)<sub>2</sub>B, (Cr,Fe)B толщиной 50–300 мкм. Однако, при больших концентрациях окиси хрома в насыщающей смеси (больше 15% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), процесс постепенно переходит в чистое хромирование [5].

Авторами работы [6] предложен диффузионный способ насыщения поверхности металлов в режиме термоциклирования при температуре 1000°C в течение 6 часов. Его применения приводит к образованию на поверхности обрабатываемой стали характерной для слоев на основе бора игольчатой структуры толщиной 100 мкм.

Для получения упрочняющих покрытий с высоким комплексом механических свойств предложен метод микродуговой химико-термической обработки (МДХТО) [7–9]. Он заключается в нагреве обрабатываемого изделия, погруженного в порошок каменного угля, за счет образования микродуг при пропускании электрического тока постоянной мощности [10]. Микродуговой нагрев значительно сокращает время процесса до 3–5 минут и не требует высокой энергоемкости.

**Цель работы.** Целью данной работы является описание микроструктуры диффузионного борохромированного покрытия на стали 20, полученного в результате микродуговой химико-термической обработки.

**Методика проведения исследования.** Диффузионное насыщение бором и хромом проводили на образцах, изготовленных из стали 20, длиной 35мм и диаметром 12мм. Электропроводная насыщающая обмазка из смеси перемешанных порошков карбида бора В<sub>4</sub>С и феррохрома марки ФХ800 в соотношении 1:1 наносили на образцы. Затем образцы погружали в ячейку и засыпали порошком каменного угля (антрацит) дисперсностью 0,4–0,6 мм. Нагрев осуществляли при питающем напряжении 260 В и токе 3А в течение 4 минут с последующим охлаждением на воздухе.

**Результаты исследования и их обсуждение.** В результате применения МДХТО при борохромировании получен диффузионный слой с микроструктурой, приведенной на рис. 1.

Структура двухкомпонентного диффузионного слоя, содержащего бор и хром, толщиной 150мкм обладает микротвердостью 13 000–14 000 МПа. Высокая скорость диффузии бора и хрома вглубь, благодаря быстрому нагреву до высокой температуры за короткий промежуток времени, приводит к тому, что на поверхности не успевает создаваться концентрация насыщающих элементов, необходимая для образования упроченной зоны, характерной для покрытий на основе бора. Вместо этого, по всей видимости, бориды хрома и железа равномерно распределены в вязкой основе.



Рис. 1. Борохромованный слой на поверхности стали 20 после МДХТО

Под слоем расположена науглероженная зона микротвердостью 3500-3600 МПа, которая образуется за счет диффузии углерода, присутствовавшего в стали и полученного при сгорании порошка каменного угля, далее исходная феррито-перлитная структура.

**Выводы.** Таким образом двухкомпонентное насыщение из обмазки, содержащей бор и хром, с микродуговым нагревом приводит к формированию диффузионного слоя, соизмеримого по глубине с традиционными способами борохромирования, значительно интенсифицирует процесс диффузии и сокращает время на обработку до 4 минут.

#### Библиографический список

1. Земсков, Г. В. Многокомпонентное диффузионное насыщение металлов и сплавов / Г. В. Земсков, Р. Л. Коган — Москва : Металлургия, 1974. — 206 с.
2. Ворошнин, Л. Г. Борирование стали / Л. Г. Ворошнин, Л. С. Ляхович. — Москва : Металлургия, 1978. — 239 с.
3. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник // Под ред. Л. С. Ляховича. — Москва : Металлургия, 1981. — 424 с.
4. Многокомпонентные диффузионные покрытия / Л. С. Ляхович [и др.] — Минск : Наука и техника, 1974. — 288 с.
5. Износостойкие боридные покрытия / В. Ф. Лабунец [и др.] — Киев : Техника, 1989. — 158 с.
6. Гурьев, А. М. Влияние параметров борохромирования на структуру стали и физико-механические свойства диффузионного слоя / А. М. Гурьев А. Гармаева // Ползуновский вестник. — 2007. — №3. — С. 28–34.
7. Степанов, М. С. Диффузионное насыщение углеродистой стали в режиме микродугового нагрева / М. С. Степанов, Ю. М. Домбровский, В. Н. Пустовойт // Металловедение и термическая обработка металлов. — 2017. — № 1 (739). — С. 54–57.
8. Степанов, М. С. Термодинамический анализ реакций формирования карбидного слоя в стали при микродуговом насыщении молибденом / М. С. Степанов, Ю. М. Домбровский // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. — 2016. — Т. 59, № 2. — С. 77–81.
9. Домбровский, Ю. М. Новые возможности поверхностного легирования стали в порошковых средах / Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов // Вестник машиностроения. — 2015. — № 8. — С. 79–81.
10. Домбровский, Ю. М. Формирование композитного 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.