

УДК669

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ДИФфуЗИОННО УПРОЧНЕННЫХ БОРОМ И ТИТАНОМ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГОРЯЧЕШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ

¹Гурьев А.М., ²Лыгденов Б.Д., ¹Иванов С.Г., ¹Ситников А.А., ²Мархасаев А.В.,
²Мархасаева Ю.А., ²Цыреторов Б.Ш.

¹ФБГОУ ВПО Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия;

²ФБГОУ ВПО Восточно-Сибирский государственный университет технологий
и управления, Улан-Удэ, Россия, gurievam@mail.ru

В работе исследовано строение диффузионных покрытий на сталях 5ХНВ и 5ХНВМ после борирования и комплексного насыщения бором и титаном. Определен фазовый состав покрытий и переходной зоны. Представлены результаты сравнительных испытаний на износостойкость сталей 5ХНВ и 5ХНВМ.

Ключевые слова: сталь, диффузия, покрытия, борирование, титанирование

THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEELS FOR HOT STAMPING AFTER DIFFUSION HARDENING WITH BORON AND TITANIUM

¹Guriev A.M., ²Lygdenov B.D., ¹Ivanov S.G., ¹Sitnikov A.A., ²Marhasaev A.V.,
²Marhasaeva Y.A., ²Thyretorov B.S.

¹I.I. Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia;

²East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia,
e-mail: gurievam@mail.ru

We studied the mechanisms of formation of diffusion coatings boriding and complex saturation with boron and titanium in steel 5XNB and 5XNBМ. The phase composition of coatings themselves and adjoining them transition zone. The results of laboratory tests, close to the operating conditions 5XNB and 5XNBМ steels.

Keywords: Diffusion, steel, boriding, coating, wear resistance

Работа посвящена исследованию влияния состава насыщающей смеси и технологических параметров процесса насыщения на микроструктуру и свойства боридных слоев на легированных сталях.

В качестве объектов исследования были выбраны штамповые стали 5ХНМ и 5ХНВМ. Структуру диффузионных покрытий исследовали при помощи оптического микроскопа «AxioObserver Z1m, сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-7000F. Анализ фаз выполнялся на рентгеновском дифрактометре ДРОН-6.

Исследования показывают, что структура покрытий исследуемых сталей формируется преимущественно тремя химическими элементами: железом, бором и углеродом. Железо является основным элементом, бор – основным легирующим элементом на поверхности, углерод присутствует в количестве, введенном в стали.

Равновесие в системе Fe – В в процессе диффузионного насыщения ведет к образованию трех диаграммных и стабильных боридов: FeB, Fe₂B и Fe₃B. Кроме вышеперечисленных, отмечено присутствие метастабильного бориды Fe₂₃B₆, обладающего

кубической структурой. Отметим, что в отличие от твердых растворов углерода в железе, твердые растворы бора в железе, как в γ , так и в α и δ , крайне ограничены в силу малой растворимости бора в железе.

Помимо бинарных фаз FeB, Fe₂B, Fe₃B, Fe₃C, в исследованиях наблюдались тройные фазы: Fe₃(C,B) и Fe₂₃(C,B)₆ и конечно феррит. Карбиды Fe₃C и Fe₂₃C₆ изоморфны боридам Fe₃B и Fe₂₃B₆. Поэтому легко образуются тройные фазы соответствующей симметрии, а именно, Fe₃(C,B) и Fe₂₃(C,B)₆.

Следовало бы ожидать присутствие фаз В-С, а именно, В₄С, В₁₃С₂, В_мС_н, а также другие варианты присутствия карбида бора. В настоящем исследовании карбиды бора не обнаружены. Обусловлено это как узкими областями существования карбидов бора, так и небольшим количеством углерода в поверхностных слоях сталей с учетом их обезуглероживания в процессе борирования.

Фазовый состав диагностировался по дифракционным картинкам, полученным двумя способами: 1) рентгеновскому дифракционному анализу и 2) дифракционной электронной микроскопии.

Борированный цементит $Fe_3(C,B)$, и обычный цементит Fe_3C хорошо различаются морфологически. До проникновения бора в кристаллическую решетку цементита он имеет четкую пластинчатую структуру. После проникновения бора и формирования борированного цементита морфология этой фазы меняется – вместо совершенных слоев образуется полуразрушенная структура.

Пластины цементита при борировании фрагментируются и образуют осколки пластин. При борировании объемная доля цементита возрастает. Это обусловлено тем, что внедрившийся в цементит бор вовлекает в него дополнительную долю железа. Наличие борированного цементита во всех исследуемых в работе сталях подтверждается и данными рентгеноструктурного анализа.

По мере удаления от поверхности борирования концентрация атомов бора уменьшается, в то время как плотность дефектов кристаллической решетки возрастает. Это связано с удалением от равновесной структуры по мере удаления от борированной поверхности.

При одновременном комплексном насыщении бором и титаном диффузионный слой претерпевает незначительные изменения – образуется двухслойная структура, верхняя часть которого состоит из столбчатых боридных кристаллов, легированных титаном, а нижняя более темная часть представляет собой смешанные карбобориды железа и титана. Причем в данной зоне присутствует до 22% титана и 0,47% углерода. Такая концентрация титана и углерода, вероятно, являются результатом как встречной диффузии углерода из глубины металла, так и диффузией углерода с поверхности металла в результате вытеснения его бором. На механических свойствах это отражается повышением микротвердости боридного слоя на 17–22% и переходной зоны на 25–35%, что в свою очередь приводит к повышению износостойкости боротитанированных сталей по сравнению с борированными в два раза. В остальном же химический состав и микроструктура переходной зоны практически не отличается от борированной.

Результаты лабораторных испытаний, приближенных к условиям эксплуатации штамповых сталей показали, что относительная износостойкость борированной

и боротитанированной штамповой стали 5ХНВМ возрастает в 6,5 и 13 раз, соответственно по сравнению с эталоном, закаленной сталью У8.

Выводы

Установлено, что в подборидной зоне помимо цементита Fe_3C образуется борированный цементит, содержащий бор вплоть до соотношения $FeC_{0,2}B_{0,8}$. Помимо цементита возможно образование специальных карбоборидов вида $Fe_{23}(C,B)_6$, изоморфных карбидам $Cr_{23}C_6$, однако не свойственных карбиду железа.

При одновременном насыщении бором и титаном наибольшая концентрация титана наблюдается не в боридном слое, а в прилегающей к нему переходной зоне, где он образует преимущественно карбиды, но в большей степени – легирует карбиды и карбобориды железа.

При борировании цементита происходит его фрагментация – цементитные пластины разрушаются, происходит их «растворение». В результате чего вытесненный из цементита углерод диффундирует в подборидную зону, при этом общая объемная доля цементита возрастает.

Одновременное насыщение бором и титаном приводит к повышению микротвердости переходной зоны на 25–35%, что приводит к повышению износостойкости боротитанированных сталей по сравнению с борированными в два раза.

Список литературы

1. Гурьев А.М., Иванов С.Г. Механизм диффузии бора, хрома и титана при одновременном многокомпонентном насыщении поверхности железоуглеродистых сплавов. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2011. Т. 8. № 3. С. 92-96.
2. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Грешилов А.Д., Земляков С.А. Механизм образования боридных игл при диффузионном комплексном борохромировании из насыщающих обмазок. Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2011. № 3. С. 34-40.
3. Гурьев М.А., Фильчаков Д.С., Гармаева И.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Околович Г.А. Технология нанесения многокомпонентных упрочняющих покрытий на стальные детали. Ползуновский вестник. 2012. № 1-1. С. 73-78
4. Иванов С.Г. Разработка состава насыщающей смеси и технологии диффузионного борохромирования тяжело нагруженных деталей машин и инструмента. Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Барнаул, 2007 – 175с.
5. Гурьев А.М., Грешилов А.Д., Кошелева Е.А., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванов А.Г., Долгоров А.А. Многоком-

понтное диффузионное упрочнение поверхности деталей машин и инструмента из смесей на основе карбида бора. Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2010. № 2. С. 19-23.

6. Гурьев А.М., Лыгденев Б.Д., Иванов С.Г., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А., Земляков С.А. Новый способ диффузионного термоциклического упрочнения поверхностей железоуглеродистых сплавов. Ползуновский альманах. 2008. № 3. С. 10-16.

7. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гармаева И.А. Диффузионные покрытия сталей и сплавов. Барнаул, 2013. – 221с.

8. Иванов С.Г., Гармаева И.А., Гурьев М.А., Гурьев А.М. Особенности многокомпонентного насыщения леги-

рованных сталей. Современное машиностроение. Наука и образование. 2013. № 3. С. 1155-1160.

9. Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Власова О.А., Гурьев М.А. Комплексное насыщение сталей бором и хромом – борохромирование. Ползуновский альманах. 2008. № 3. С. 53.

10. Гурьев А.М., Лыгденев Б.Д., Иванов С.Г., Власова О.А., Гармаева И.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. Новые методы диффузионного термоциклического упрочнения поверхности стальных изделий бором совместно с титаном и хромом. Успехи современного естествознания. 2007. № 10. С. 84-85.