

ИЗМЕНЕНИЕ МАССЫ И РАЗМЕРОВ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ДИФфуЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ ИХ ПОВЕРХНОСТИ БОРОМ И ХРОМОМ

**А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, М. А. Гурьев,
Е. В. Черных, Н. Г. Бильтриков, С. А. Иванова**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

В работе проведены исследования по определению зависимости изменения массы и размеров образцов из различных сталей в зависимости от параметров технологического процесса нанесения комплексного диффузионного покрытия на основе бора.

Ключевые слова: бор, сталь, покрытие, диффузия

CHANGING THE MASS AND DIMENSIONS OF THE STEEL SAMPLES ACCORDING TO THE METHOD OF DIFFUSION SATURATION OF THE SURFACE WITH BORON AND CHROMIUM

**A. M. Guriev, S. G. Ivanov, M. A. Guriev,
E. V. Chernikh, N. G. Biltrikov, S. A. Ivanova**

Altai state technical university, Barnaul, Russia

In work carried out studies to determine the dependence of the change of weight and size of the various samples of steels according to the process parameters applying complex diffusion coatings based on boron.

Keywords: boron steel, coating, diffusion

Процесс насыщения проводили в камерной печи типа СНОЛ, оснащенной ПИД-контроллером «Термодат 16Е-3», позволяющим регулировать температуру с высокой точностью (до 0,1 °С на спале термодат). Температуру насыщения выбрали равной 950 °С, так как при более высокой температуре, во-первых, происходит значительный угар насыщающей среды, во-вторых, в силу флуктуаций температурного поля по объему печи есть риск повышения температуры до 1100 °С, что может привести к оплавлению поверхности образца в результате образования легкоплавкой боридной эвтектики [1–7]. Меньшие температуры насыщения существенно замедляют процессы диффузии и скорость роста диффузионного слоя [8–12]. Время насыщения было выбрано равным 150 минутам, так как за это время формируется диффузионный

слой оптимальной толщины с наилучшими эксплуатационными свойствами [13–21].

Химический состав поверхности образцов до и после насыщения исследовали с помощью рентген-флуоресцентного анализатора «Х-МЕТ 7500» и энергодисперсионного анализатора Х-МАХ. Для измерения прироста массы образцов в результате химико-термической обработки осуществляли их взвешивание на весах ВЛР–200. Число взвешиваний каждого образца было выбрано равным 3, затем по результатам взвешивания рассчитывалась среднее значение. Осуществляли взвешивание самих образцов, тиглей и насыщающей среды до и после процесса насыщения. По результатам взвешивания до и после насыщения, масса фарфорового тигля в процессе ХТО не изменялась, поэтому в дальнейшем она нигде не фигурирует.

**ИЗМЕНЕНИЕ МАССЫ И РАЗМЕРОВ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ СПОСОБА ДИФФУЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ ИХ ПОВЕРХНОСТИ БОРОМ И ХРОМОМ**

Таблица 1 – Изменение массы образцов из разных сталей в процессе химико-термической обработки

Марка стали	Масса образца, г	Масса среды, г	Прирост массы образца, г	Прирост массы системы, г	Угар порошка, г
До насыщения					
Ст 45	15,662	102,0567	–	–	–
X12M	16,223	98,96	–	–	–
5X2MНВФч	18,557	92,98667	–	–	–
После насыщения					
Ст 45	15,820	100,9033	0,158	-0,68	0,522
X12M	16,276	98,3033	0,053	-0,50	0,447
5X2MНВФч	18,700	92,01	0,143	-0,55	0,407

Следуя таблице 1, прирост массы образцов из различных марок сталей обратно коррелирует с содержанием легирующих элементов в этих сталях: чем больше общее содержание легирующих элементов, тем меньше прирост массы образца. Потери насыщающей смеси на угар зависят от площади контакта среды с атмосферой, а также температуры и времени высокотемпературной выдержки и находятся приблизительно на одном уровне независимо от марки насыщаемой стали.

Процентное содержание активатора в насыщающей смеси оказывает влияние, как на морфологию, так и в некоторой степени на толщину боридного слоя. В большей степени от содержания активатора в насыщающей смеси зависит морфология и толщина переходной зоны – при увеличении содержания активатора с 2 до 10 % толщина переходной зоны увеличивается в среднем на 18–30 %. Морфология переходной зоны также изменяется в сторону более неравновесной структуры с повышенным содержанием бора, о чем свидетельствует большая доля перистой составляющей, представляющей собой борированный цементит, растет также и средняя микротвердость переходной зоны.

Толщина боридного слоя зависит от содержания легирующих элементов. Высокое содержание хрома в стали X12M препятствует диффузии хрома в эту сталь и наблюдается даже незначительная встречная диффузия хрома из стали в насыщающую среду. В то время как диффузия титана протекает хоть и несколько медленнее, чем в менее легированные стали, однако достаточно интенсивно.

Небольшое содержание легирующих элементов, в том числе хрома способствует интенсификации диффузии, как бора, так и хрома с титаном (пример – сталь 5X2MНВФч).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №13-08-98107).

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента Российской Федерации (Договор 14.Z56.14.656-МК).

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки в рамках базовой части государственного задания. Тема № 885.

Список литературы

1. Гурьев, А. М. Многокомпонентное диффузионное упрочнение поверхности деталей машин и инструмента из смесей на основе карбида бора [Текст] / А. М. Гурьев, А. Д. Грешилов, Е. А. Кошелева, С. Г. Иванов, М. А. Гурьев, А. Г. Иванов, А. А. Долгоров // Обработка металлов (технология оборудования инструменты). – 2010. – № 2. – С. 19–23.
2. Гурьев, А. М. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей [Текст] / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Н. А. Полова, Э. В. Козлов. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. – 256 с.
3. Гурьев, А. М. Диффузионные покрытия сталей и сплавов [Текст] / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, И. А. Гармаева. – Барнаул, 2013. – 221 с.
4. Иванов, С. Г. Особенности диффузии атомов бора и хрома при двухкомпонентном насыщении поверхности стали ст3 [Текст] / С. Г. Иванов, И. А. Гармаева, А. М. Гурьев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2012. – Т. 9. – № 1. – С. 86–88.
5. Гурьев, А. М. Влияние параметров борохромирования на структуру стали и физико-механические свойства диффузионного слоя [Текст] / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, Б. Д. Лыгденов, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, М. А. Гурьев, И. А. Гармаева // Ползуновский вестник. – 2007. – № 3. – С. 28–34.
6. Гурьев, А. М. Диффузионное термоциклическое упрочнение поверхности стальных изделий бором, титаном и хромом [Текст] / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, С. Г. Иванов, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, И. А. Гармаева, М. А. Гурьев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2007. – № 1. – Т.4. – С. 26-32.

7. Гурьев, А. М. Особенности формирования структуры диффузионного слоя на литой стали при химико-термической обработке [Текст] / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Д. М. Махаров, В. И. Мосоров, Е. В. Черных, О. А. Гурьева, С. Г. Иванов // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2005. – Т. 2. – № 1. – С. 39–41.

8. Гурьев, А. М. Механизм диффузии бора, хрома и титана при одновременном многокомпонентном насыщении поверхности железоуглеродистых сплавов [Текст] / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2011. – Т. 8. – № 3. – С. 92–96.

9. Гурьев, А. М. Механизм образования боридных игл при диффузионном комплексном борхромировании из насыщающих обмазок [Текст] / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, А. Д. Грешилов, С. А. Земляков // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты, материаловедение*. – 2011. – № 3. – С. 34–40.

10. Иванов, С. Г. Фазовые превращения и структура комплексных боридных покрытий [Текст] / С. Г. Иванов, И. А. Гармаева, А. П. Андросов, В. В. Зобнев, А. М. Гурьев, В. А. Марков // *Ползуновский вестник*. – 2012. – № 1–1. – С. 106–108.

11. Гурьев, А. М. Фазовый состав и механизм образования диффузионного слоя при борировании сталей в условиях циклического теплового воздействия [Текст] // А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, О. А. Власова, С. Г. Иванов, Э. В. Козлов, И. А. Гармаева // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2008. – № 1. – С. 20–27.

12. Кошелева Е. А. Оптимизация химического состава насыщающих смесей при диффузионном борировании инструментальных сталей [Текст] / Е. А. Кошелева, А. М. Гурьев // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2009. – № 5. – С. 76–77.

13. Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей [Текст]: пат. 2345175 Рос. Федерация, МПК / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, Б. Д. Лыгденов, С. А. Земляков, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, М. А. Гурьев. – № 2007112368/02; заявл. 03.04.07; опубл. 27.01.09. – Бюл. № 3.

14. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом борировании феррито-перлитной стали [Текст] / А. М. Гурьев, Э. В. Козлов, А. Н. Жданов, Л. Н. Игнатенко, Н. А. Попова // *Известия высших учебных заведений. Физика*. – 2001. – № 2. – С. 58.

15. Guriev, A. M. Transition zone forming by different diffusion techniques in borating process of ferrite-pearlite steels under the thermocyclic conditions / A. M. Guriev, E. V. Kozlov, B. D. Lygdenov, A. M. Kirienko, E. V. Chernyh // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2004. – Т. 1. – № 2. – С. 54–60.

16. Гурьев, А. М. Диффузионное термоциклическое упрочнение поверхности стальных изделий бором, титаном и хромом [Текст] / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, С. Г. Иванов, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, И. А. Гармаева, М. А. Гурьев // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2007. Т. 4. № 1. С. 30–35.

17. Гурьев, А. М. Структура и свойства упрочненных бором и бором совместно с титаном поверхности штамповых сталей 5ХНВ и 5Х2НМВФ [Текст] / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, М. А. Гурьев, А. Г. Иванов, Б. Д. Лыгденов, С. А. Земляков, А. А. Долгоров // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2010. – Т. 7. – № 1. – С. 27–31.

Гурьев Алексей Михайлович – д.т.н., профессор, зав. кафедрой

Иванов Сергей Геннадьевич – к.т.н., докторант

Гурьев Михаил Алексеевич – к.т.н.

Черных Евгения Владимировна – к.ф.-м.н., доцент

Бильтриков Николай Георгиевич – аспирант

Иванова Светлана Александровна – аспирант

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), г. Барнаул, Россия