

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ НАСЫЩЕНИИ БОРОМ, ХРОМОМ И ТИТАНОМ

С. Г. Иванов¹, М. А. Гурьев¹, И. А. Гармаева^{1, 2},
Т. Г. Иванова¹, А. М. Гурьев^{1, 3}, Ю. П. Аганаев^{1, 2}

¹ Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

² Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ, Россия

³ Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай

Работа посвящена исследованию влияния химического состава насыщающей смеси и технологических параметров процесса химико-термической обработки на микроструктуру и свойства боридных слоев. Изучали изменение размеров образцов из сталей 45, X12M и 5X2HMBFч после различных видов химико-термической обработки. Проведены комплексные исследования структуры и свойств, исследован элементный состав поверхностного слоя этих сталей после борирования и совместного насыщения бором хромом и титаном. Насыщение проводили из смесей на основе порошка карбида бора.

Ключевые слова: покрытие, сталь, бор, диффузия

MODIFYING THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE STEEL SURFACE WITH INTEGRATED SATURATION BORON, CHROMIUM AND TITANIUM

S. G. Ivanov¹, M. A. Guriev^{1, 3}, I. A. Garmeva^{1, 2},
T. G. Ivanova¹, A. M. Guriev¹, Yu. P. Aganaev^{1, 2}

¹ Altai state technical university, Barnaul, Russia

² East Siberia state university of technology and management, Ulan-Ude, Russia

³ Wuhan Textile University, Wuhan, China

Work investigates the influence of the chemical composition of the saturating mixture and process parameters of chemical and thermal processing on the micro-structure and properties of boride layers. The changes of sample sizes of 45 steel, X12M 5H2NMVFch and after various types of chemical and thermal processing. Complex investigations of structure and properties, investigated the elemental composition of the surface layer of these steels after boronization and joint saturation boron chromium and titanium. Saturation was carried out based on mixtures of boron carbide powder.

Keywords: coating, steel, boron diffusion

Многокомпонентное диффузионное насыщение бором совместно с хромом и титаном позволяет снизить хрупкость упрочненного слоя. Такой слой отличается высокой твердостью и стойкостью к различным механическим воздействиям и агрессивным средам.

Процесс насыщения проводили в камерной печи, температуру насыщения вы-

брали равной 950 °С [1–5]. Меньшие температуры насыщения существенно замедляют процессы диффузии и скорость роста диффузионного слоя [3–7]. Время насыщения было выбрано равным 150 минутам, так как за это время формируется диффузионный слой оптимальной толщины с наилучшими эксплуатационными свойствами [8–10].

Насыщение производили из порошковой засыпки в фарфоровых тиглях без использования плавкого затвора, так как при температурах насыщения разработанная диффузионная среда генерирует защитную пленку, предохраняющую ее от дальнейшего окисления [4, 12].

Массу образца измеряли с помощью лабораторных весов ВЛР-200 с точностью до 0,5 мг, изменение размеров фиксировали при помощи микрометра М-25-50-0.01 с точностью 10 мкм. Толщину диффузионного слоя измеряли на поперечных металлографических шлифах, приготовленных на прецизионном отрезном станке «MICRACUT-201», металлографическом

прессе «METAPRESS» и автоматическом полировальном станке «DIGIPREP». Микроструктуру изучали с помощью инвертированного оптического микроскопа Zeiss Axio Observer Z1m, оборудованного программным комплексом Thixomet™. Элементный состав образцов исследовали рентген-флуоресцентным экспресс-анализатором «X-MET 7500» (тяжелые элементы) и с помощью электронного микроскопа TESCAN MIRA 3, оборудованного энергодисперсионным анализатором X-MAX и программным комплексом Aztec (все возможные элементы: от бора до йода).

Полученные результаты исследований представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Изменение массы образцов после 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	15,66	102,06	–	–	–
X12M	16,22	98,96	–	–	–
5XHMВФч	18,56	92,99	–	–	–
После насыщения					
Ст 45	15,82	100,90	0,158	-0,68	0,522
X12M	16,28	98,30	0,053	-0,50	0,447
5XHMВФч	18,70	92,01	0,143	-0,55	0,407

Таблица 2 – Элементный состав поверхностный сталей 45, X12M и 5X2HMВФч после их комплексного насыщения бором, хромом и титаном, масс. %

Химсостав поверхности после насыщения										Марка стали
Fe	Ti	Cr	Mn	Co	C	V	Cu	Si	B	
77,979	1,285	0,986	0,378	0,167	0,148	0,037	0,014	1,122	18,736	Ст 45
Fe	Cr	Ti	Mo	Mn	C	V	Co	Ni	B	X12M
71,31	12,014	0,304	0,423	0,286	0,493	0,252	0,132	0,192	14,392	
Fe	Ti	Cr	Mn	Co	C	Zr	Cu	W	B	5X2HMВФч
78,116	1,364	1,857	0,265	0,156	0,204	0,055	0,022	0,731	17,95	
Химсостав поверхности до насыщения										Ст 45
Fe	Ti	Cr	Mn	Co	C	V	Cu	Si	B	
97,979	0,322	0,128	0,415	0,189	0,427	0,12	0,04	0,315	0,003	Ст 45
Fe	Cr	Ti	Mo	Mn	C	V	Co		B	X12M
85,371	12,45	0,1	0,463	0,372	1,035	0,18	0,154		0,0015	
Fe	Ti	Cr	Mn	Co	C	Ce	Cu	W	V	5X2HMВФч
97,563	0,167	1,311	0,341	0,133	0,353	0,069	0,018	0,396	0,424	

Прирост массы образцов из различных марок сталей обратно коррелирует с со-

держанием легирующих элементов в этих сталях (таблица 1). Потери насыщающей

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ НАСЫЩЕНИИ БОРОМ, ХРОМОМ И ТИТАНОМ

смеси на угар зависят не только от площади контакта среды с атмосферой, а также от температуры и времени высокотемпературной выдержки.

В таблице 2 приведен поверхностный элементный состав сталей 45, X12M и 5X2MNBФч до и после их комплексного насыщения бором, хромом и титаном.

Анализируя данные, приведенные в таблице 2, можно сделать вывод о том, что при высоком содержании в стали таких легирующих элементов как хром и титан, диффузия этих элементов из насыщающей среды затрудняется и, даже возможна их обратная диффузия из стали в насыщающую среду. При этом диффузия бора не испытывает значительных изменений и на поверхности образуются диффузионные боридные слои с достаточно близким содержанием бора.

Проведенные исследования показывают, что толщина боридного слоя зависит от содержания легирующих элементов в стали. Высокое содержание хрома в стали X12M препятствует диффузии хрома в эту сталь и наблюдается незначительная встречная диффузия хрома из стали в насыщающую среду. В то время как диффузия титана протекает хоть и несколько медленнее, чем в менее легированных сталях, однако достаточно интенсивно. Небольшое содержание легирующих элементов, в том числе хрома способствует интенсификации процесса диффузии как бора, так и хрома с титаном (например – сталь 5X2MNBФч).

Микроструктура диффузионных покрытий зависит от способа насыщения и кардинально отличается как по строению, так и по элементному составу. Определение содержания бора производили с применением калибровки по эталонному образцу гексаборида лантана LaB₆ – погрешность измерений в этом случае не превышает 3 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке задания Минобрнауки по приоритетным направлениям развития науки и техники – тема № 885 и гранта Президента РФ, договор 14.Z56.14.656-МК.

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 оборудование 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. Попова, 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 приготовления насыщающих смесей для диффузионного борохромирования [Текст] / С. Г. Иванов, А. М. Гурьев, М. Д. Старостенков, Т. Г. Иванова, А. А. Левченко // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. 57. – № 2. – С. 116–118.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

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

10. Гурьев, А. М. Механизм образования боридных игл при диффузионном комплексном борохромировании из насыщающих обмазок [Текст] / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, А. Д. Греши-

лов, С. А. Земляков // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты, материаловедение. – 2011. – № 3. – С. 34–40.

11. 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.

12. DOI: 10.1007/s11182-014-0234-6

13. Лыгденов, Б. Д. Влияние состава насыщающей среды на структуру и свойства диффузионного слоя при титанировании сталей [Текст] / Б. Д. Лыгденов, А. М. Гурьев // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2000. – Т. 43. – № 11. – С. 269.

14. Гурьев, А. М. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом карбоборировании феррито-перлитной стали [Текст] / А. М. Гурьев, Э. В. Козлов, А. И. Крымских, Л. Н. Игнатенко, Н. А. Попова // Известия высших учебных заведений. – Физика. – 2000. – Т. 43. – № 11. – С. 60.

15. Гурьев, А. М. Технология нанесения многокомпонентных упрочняющих покрытий на

стальные детали [Текст] / М. А. Гурьев, Д. С. Фильчаков, И. А. Гармаева, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев, Г. А. Околович // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1–1. – С. 73–78.

Иванов Сергей Геннадьевич¹ – к.т.н., докторант

Гурьев Михаил Алексеевич¹ – к.т.н.

Гармаева Ирина Анатольевна^{1,2} – к.т.н., доцент, докторант

Иванова Татьяна Геннадьевна¹ – аспирант

Гурьев Алексей Михайлович^{2,3} – д.т.н.,

профессор, заведующий кафедрой

Аганаев Юрий Петрович^{1,2} – к.т.н., доцент, докторант

¹ ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

(АлтГТУ), г. Барнаул, Россия

² ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления (ВСГУТУ)», г. Улан-Удэ, Россия

³ Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай