

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

**А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, М. А. Гурьев,
Т. Г. Иванова, М. Д. Старостенков**

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

В работе исследовано изменение химического и фазового состава комплексного диффузионного покрытия на основе бора на сталях с различным содержанием легирующих элементов

Ключевые слова: бор, хром, титан, диффузия, упрочнение, сталь

EVOLUTION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE SURFACE OF STEEL AT SATURATION COMPLEX BORON, CHROMIUM, AND TITANIUM

A. M. Guriev, S. G. Ivanov, M. A. Guriev, T. G. Ivanova, M. D. Starostenkov
Altai state technical university, Barnaul, Russia

We have investigated the change in the chemical and phase composition of the complex diffusion coatings based on boron steels with different contents of alloying elements

Keywords: boron, chromium, titanium, diffusion, hardening steel

Процесс насыщения проводился в камерной печи типа СНОЛ, оснащенной ПИД-контроллером «Термодат 16Е-3. Температура насыщения была принята равной 950 °С, в силу того, что при более высокой температуре, во-первых, происходит значительный угар насыщающей среды, во-вторых, из-за 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 [1–3]. Меньшие температуры насыщения существенно замедляют процессы диффузии и скорость роста диффузионного слоя [4–6]. Время насыщения было выбрано равным 150 минутам, так как за это время формируется диффузионный слой оптимальной толщины с наилучшими эксплуатационными свойствами [7–10].

Насыщение производилось в порошковой засыпке в фарфоровых тиглях без использования плавкого затвора, поскольку при

температурах насыщения диффузионная среда генерирует защитную пленку, предохраняющую ее от дальнейшего окисления.

Химический состав поверхности образцов до и после насыщения был исследован с помощью рентген-флуоресцентного анализатора «Х-MET 7500» и энергодисперсионного анализатора X-MAX. Для измерения прироста массы образцов в результате химико-термической обработки производилось их взвешивание на весах ВЛР-200. Число взвешиваний каждого образца было выбрано равным 3, затем по результатам взвешивания определялось среднее значение. Было произведено взвешивание самих образцов, тиглей и насыщающей среды до и после процесса насыщения. Масса фарфорового тигля до и после насыщения в процессе ХТО не изменялась, поэтому в дальнейшем она нигде не фигурирует.

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

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

жанием легирующих элементов в этих сталях: чем больше общее содержание легирующих элементов, тем меньше прирост массы образца. Потери насыщающей смеси на угар зависят не только от площади контакта среды с атмосферой, но и от температуры и времени высокотемпературной выдержки и нахо-

дятся приблизительно на одном уровне независимо от марки насыщаемой стали.

В таблице 2 приведена эволюция поверхностного элементного состава сталей Сталь 45, X12M и 5X2MNBФч в результате их комплексного насыщения бором, хромом и титаном.

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	–	–	–
5X2MNBФч	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
5X2MNBФч	18,700	92,01	0,143	-0,55	0,407

Таблица 2 – Эволюция поверхностного элементного состава сталей Сталь 45, X12M и 5X2MNBФч в результате 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
78,93	0,756	0,647	0,406	0,159	0,143	0	0,013	1,494	18,369	
78,767	0,851	0,693	0,399	0,173	0,137	0	0,01	1,328	18,541	
Fe	Cr	Ti	Mo	Mn	C	V	Co	Ni	B	X12M
71,328	11,752	0,714	0,421	0,275	0,615	0,185	0	0,176	14,361	
71,31	12,014	0,304	0,423	0,286	0,493	0,252	0,132	0,192	14,392	
70,947	11,967	0,62	0,427	0,312	0,597	0,26	0,123	0,189	14,412	5X2MNBФч
Fe	Ti	Cr	Mn	Co	C	Zr	Cu	W	B	
78,11	1,237	1,912	0,278	0,159	0,217	0,057	0,025	0,657	18,158	
78,116	1,364	1,857	0,265	0,156	0,204	0,055	0,022	0,731	17,95	5X2MNBФч
77,964	1,36	1,937	0,262	0,194	0,211	0,057	0,023	0,717	18,018	
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
97,783	0,218	0,343	0,46	0,195	0,398	0,07	0,037	0,325	0,0027	
98,781	0,3	0,247	0,427	0,193	0,415	0,11	0,034	0,373	0,003	
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	
85,267	11,795	0,346	0,471	0,351	0,968	0,392	0,167		0,002	
85,421	11,415	0,279	0,493	0,337	1,03	0,368	0,154		0,0015	5X2MNBФч
Fe	Ti	Cr	Mn	Co	C	Ce	Cu	W	V	
97,163	0,143	1,321	0,373	0,123	0,375	0,073	0,025	0,411	0,416	
97,631	0,154	1,374	0,367	0,127	0,361	0,067	0,021	0,398	0,403	5X2MNBФч
97,563	0,167	1,311	0,341	0,133	0,353	0,069	0,018	0,396	0,424	

Из таблицы 2 следует, что при высоком содержании таких легирующих элементов как хром и титан, диффузия этих элементов в сталь из насыщающей среды затрудняется и, даже возможна обратная диффузия из стали в насыщающую среду. При этом диффузия бора не испытывает значительных колебаний и на поверхности образуются диффузионные боридные слои с достаточно близким содержанием бора.

Толщина боридного слоя зависит от содержания легирующих элементов. Высокое содержание хрома в стали Х12М 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 легированных сталях, однако достаточно интенсивно.

Небольшое содержание легирующих элементов, в том числе хрома способствует интенсификации диффузии, как бора, так и хрома с титаном (пример – сталь 5Х2МНВФч).

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. 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 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 борохромировании 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.

*Гурьев Алексей Михайлович – д.т.н., профессор
Иванов Сергей Геннадьевич – к.т.н., докторант
Гурьев Михаил Алексеевич – к.т.н.
Иванова Татьяна Геннадьевна – аспирант
Старостенков Михаил Дмитриевич – д.ф.-м.н., профессор*

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