

тематического моделирования трансформации миграционных форм не проведено, что связано с трудностями методического, информационно- и алгоритмического характера [4].

Информационные проблемы связаны с трудностями обобщения экспериментальных данных по трансформации миграционных форм радионуклидов в процессе прохождения геохимических барьеров, и, прежде всего в силу недостаточности баз таких данных.

Резюмируя, следует заметить, что в исследованиях, использующих не контактные методы, например, метод математического моделирования, в большей или меньшей степени учитываются параметры, характеризующие состояние радионуклида в гидросфере. В тоже время, существуют информационные проблемы, связанные с недостаточностью экспериментальных баз данных по трансформации миграционных форм радионуклидов в процессе прохождения геохимических барьеров.

#### Список литературы

1. Голубев А.М., Волков А.А. Априорная оценка геохимических барьеров в процессе миграции радионуклидов по гидрологическим путям // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 11. – С. 83–84.
2. Истомина А.Д., Кораблева С.А., Носков М.Д. Математическое моделирование миграции радионуклидов в поверхностном слое грунта // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 3. – С. 74–78.
3. Математическое моделирование и анализ поведения радионуклидов в системе Красноярский горно-химический комбинат – Енисей – Карское море / Ю.А. Платовских, И.В. Сергеева, Ю.В. Кузнецова и др. // Атомная энергия. – 2003. – Т. 95. – № 6. – С. 457–466.
4. Хомяков Д.М., Искандарян Р.А. Информационные технологии и математическое моделирование в задачах природопользования // <http://fadr.msu.ru/rin/ecol/model.htm>.

### ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ БОРОМ И ТИТАНОМ

Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гармаева И.А., Бильтриков Н.Г.

ФБГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул, e-mail: [gurievam@mail.ru](mailto:gurievam@mail.ru)

В работе исследована микроструктура и эксплуатационные свойства стали 45 с нанесенными на поверхность комплексными покрытиями на основе бора. Показано, что одновременное диффузионное насыщение бором и титаном приводит к формированию химически стойких к агрессивным средам покрытий, обладающих высокой износостойкостью при отсутствии ударных нагрузок.

Современной промышленности требуются современные материалы, обладающие рядом высоких характеристик, таких как: высокие прочность и пластичность, износо- и коррозионная стойкость и многие другие. Эта проблема в настоящее время решается преимущественно

производством дорогих объемнолегированных сталей. Однако наряду с объемным легированием все большее распространение начинают приобретать и способы поверхностного легирования – нанесение различных покрытий.

Диффузионное борирование является одним из наиболее распространенных методов химико-термической обработки сталей и сплавов на основе железа. Такие покрытия имеют характерное игольчатое строение. Боридные слои, полученные диффузионным борированием на стальных деталях, значительно (в 5–30 раз) повышает износостойкость, теплостойкость (в 1,5–2 раза) и коррозионную стойкость упрочненных изделий. Однако боридным покрытиям присущ серьезный недостаток – высокая хрупкость, что значительно сужает область применения борированных изделий. Кроме того, боридные покрытия имеют низкую стойкость в воде, слабых водных растворах минеральных кислот и особенно в растворах азотной кислоты. В качестве методов снижения хрупкости боридных слоев применяют шлифование поверхности борированного изделия со снятием слоя материала толщиной до 5–10 мкм, а так же многокомпонентное насыщение бором и, например, хромом, медью, никелем, титаном. Наиболее предпочтительным способом снижения хрупкости является комплексное насыщение бором и другим элементом.

**Цель работы.** Исследование влияния процессов одновременной химико-термической обработки на изменение эксплуатационных характеристик упрочненных стальных изделий.

**Материал и методы исследования.** В настоящей работе проведены исследования боридного и боротитанированного покрытий, полученных способом химико-термической обработки из насыщающих обмазок.

В качестве насыщающих обмазок использовали порошковые среды на основе карбида бора следующего состава (таблица). В качестве образцов использовали цилиндры из стали 45 диаметром 22 мм и высотой 15 мм. Образцы обмазывали пастообразной насыщающей средой, сушили на воздухе до получения твердой корки и помещали в предварительно разогретую до 950°C камерную печь типа СНОЛ, оснащенную ПИД-контроллером TERMODAT 16E-3. Образцы выдерживали при температуре насыщения в течение 2 ч, после чего охлаждали в воде, подвергали низкому отпуску, по окончании которого производили охлаждение на воздухе и удаляли остатки обмазки.

Микроструктуру полученных слоев изучали на поперечных и косых шлифах, которые изготавливали путем резки на электроискровой станке при режимах, исключающих деформации, после чего производили полировку на автоматическом полировальном станке metkon Digiprep 250S. Травление производили в травителе «Ниталь» (4% раствор  $\text{HNO}_3$  в спирте),

а также в 5% спиртовом растворе иода, после чего исследовали на инвертированном микроскопе Carl Zeiss AxioObserver модификации Z1m с применением программного обеспечения

AxioVision 4.8. Элементный состав насыщающей среды изучали при помощи рентген-флуоресцентного анализатора X-MET 7500, а также энергодисперсионного анализатора X-MAX Pro.

#### Элементный состав насыщающих сред для ХТО

Среда для борирования												
Ti	Fe	V	Cr	Ca	Nb	B	C	N	H	F	Na	Примеси
0,4	3,6		0,1	0,6		63,7	25,5			0,5	4,9	Остальное
Среда для боротитанирования												
Ti	Fe	V	Cr	Ca	Nb	B	C	N	H	F	Na	Примеси
38,1	6,8	1,7	0,4	0,2	0,2	28,2	8,7	5,6	1,9	4,1	3,7	Остальное

**Результаты исследования и их обсуждение.** При борировании получается слой характерно текстурированный игольчатый слой. В процессе одновременного боротитанирования получаются слои сложной морфологии. Условно, что боротитанированный слой можно разделить на 5 частей: верхняя, нетравящаяся часть диффузионного слоя по всей вероятности представляет собой смесь боридов титана и чистого титана, следующий (темный) подслоя представляет собой преимущественно смесь диборида и карбоборидов титана, в пользу данного предположения говорит тот факт, что данный подслоя является таким чрезвычайно хрупким, что выкрашивается в процессе приготовления шлифа. Третий по счету подслоя, расположенный под темной прослойкой является переходным и состоит из титана и боридов титана, которые находятся в порах титанированного слоя. Предпоследний подслоя представляет собой столбчатые кристаллы титана, легированные бором и углеродом. И непосредственно к основному материалу прилегает карбидный слой, состоящий из карбидов титана. Межфазные границы, разделяющие фазы между собой являются гладкими, что в комбинации с высокой твердостью и хрупкостью приводят к низкой работоспособности данных покрытий, так как при приложении нормальных и тем более касательных напряжений данные слои скалываются, а их осколки, обладающие высокой твердостью, являются абразивными, значительно увеличивающим износ. Однако, коррозионная стойкость боротитанированного слоя в 5–8 раз превышает стойкость боридного: при выдержке в воде боридный слой покрывается налетом ржавчины уже через 3–4 часа, боротитанированный слой не изменяет цвета даже после 50 часов выдержки. При взвешивании выдержанных в воде в течение 50 часов образцов прибыль массы на 1 см<sup>2</sup> для борированного образца составила 0,0015 г, для боротитанированного образца прибыль массы была нулевой. При выдержке диффузионно-упрочненных образцов в 30% растворе азотной кислоты в течение 10 часов убыль массы на 1 см<sup>2</sup> поверхности составляет: для борированного образца – 0,78 г, для боротитанированного – 0,0006 г.

**Выводы.** Таким образом, можно сделать вывод о том, что наиболее перспективная область применения боротитанированных покрытий – детали и узлы, работающие в условиях гидроабразивного и коррозионного износа: рабочие колеса насосов, детали запорной арматуры и т.п.

#### Список литературы

1. Анализ влияния природы легирующих элементов в высоколегированных сталях на процессы комплексного многокомпонентного диффузионного борирования / М.А. Гурьев, А.М. Гурьев, А.Г. Иванов, С.Г. Иванов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2010. – № 5. – С. 155–157.
2. Диффузионное термоциклическое упрочнение поверхности стальных изделий бором, титаном и хромом / 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.
3. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом борировании феррито-перлитной стали / А.М. Гурьев, Э.В. Козлов, А.Н. Жданов, Л.Н. Игнатенко, Н.А. Попова // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2001. – № 2. – С. 58.
4. Гурьев А.М. Механизм диффузии бора, хрома и титана при одновременном многокомпонентном насыщении поверхности железоуглеродистых сплавов / А.М. Гурьев, С.Г. Иванов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2011. – Т. 8. – № 3. – С. 92–96.
5. Многокомпонентное диффузионное упрочнение поверхности деталей машин и инструмента из смесей на основе карбида бора / А.М. Гурьев, А.Д. Грешилов, Е.А. Кошелева, С.Г. Иванов, М.А. Гурьев, А.Г. Иванов, А.А. Долгоров // Обработка металлов. – 2010. – № 2. – С. 19–23.
6. Особенности диффузии атомов бора и хрома при двухкомпонентном насыщении поверхности стали ст3 / С.Г. Иванов, И.А. Гармаева, А.М. Гурьев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2012. – Т. 9. – № 1. – С. 86–88.
7. Распределение атомов бора и углерода в диффузионном слое после борирования стали 08кп. / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, В.И. Мосоров, Б.С. Инхеев // Современные наукоёмкие технологии. – 2006. – № 5. – С. 35–36.
8. Гурьев А.М. Совершенствование технологии химико-термической обработки инструментальных сталей / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, О.А. Власова // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2009. – № 1. – С. 14–15.
9. Фазовый состав и механизм образования диффузионного слоя при борировании сталей в условиях циклического теплового воздействия / 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.
10. Transformation of the phase composition and the mechanism of transition region structuring in a ferrite-pearlite steel subjected to thermal-cycling borating / А.М. Gur'ev, E.V. Kozlov, A.I. Zhdanov, L.I. Ignatenko, I.A. Popova // Russian Physics Journal. – 2001. – Т. 44. – № 2. – С. 183–188.