

## Взаимосвязь химического состава насыщающей среды и диффузионного покрытия на сталях 45 и 45Л

Гурьев М.А.<sup>1†</sup>, Иванов С.Г.<sup>1</sup>, Алонцева Д.Л.<sup>2</sup>, Иванова Т.Г.<sup>1</sup>, Гурьев А.М.<sup>1</sup>

<sup>†</sup>e-mail@gurievma.ru

<sup>1</sup>ФБГОУ ВПО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, пр-т Ленина 46, 656038, Барнаул

<sup>2</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, 070004, Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

Проведено сравнение элементного состава насыщающей среды для комплексного насыщения бором, хромом, титаном и, соответственно диффузионного и легированного слоев на сталях 45 и 45Л. Кроме элементного состава покрытий выполнено картирование распределения элементов по линии и по площади.

**Ключевые слова:** диффузия, упрочнение, бор.

## Interrelation of the chemical composition of the medium and saturating diffusion coating on steels 45 and 45L

M.A. Guriev<sup>1</sup>, S.G. Ivanov<sup>1</sup>, D.L. Alontceva<sup>2</sup>, T.G. Ivanova<sup>1</sup>, A.M. Guriev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Altai State Technical University after I.I. Polzunov, prospect Lenin 46, 656038, Barnaul

<sup>2</sup>D.Serikbayev East-Kazakhstan State Technical University, Protozanov St. 69, 070004, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan

The comparison of the elemental composition of saturating comprehensive environment for saturation with boron, chromium, titanium and accordingly diffusion and doped layers on steels 45 and 45L. In addition elemental composition of the coatings fulfilled by charting distribution of the elements on the line and space.

**Keywords:** diffusion hardening, boron.

### 1. Введение

Современной промышленности требуются современные материалы, обладающие рядом высоких характеристик, таких как: высокая поверхностная прочность, теплостойкость, износостойкость, коррозионная стойкость и многие другие.

Данная проблема современной промышленностью решается преимущественно производством дорогих объемнолегированных сталей. Однако наряду с объемным легированием начинают приобретать все большее распространение и способы поверхностного легирования, нанесение различных покрытий.

Одним из наиболее простых и распространенных методов нанесения покрытий является химико-термическая обработка - диффузионный способ, при котором изделие подвергают высокотемпературной выдержке в диффузионно-активной среде. Из известных методов химико-термической обработки диффузионное борирование является одним из наиболее перспективных способов упрочнения сплавов на основе железа. Боридные слои, полученные диффузионным борированием на

стальных деталях, значительно (в 5-30 раз) повышают их износостойкость, теплостойкость (в 1,5 - 2 раза) и коррозионную стойкость. Недостатком боридных покрытий является их высокая хрупкость.

### 2. Методика эксперимента

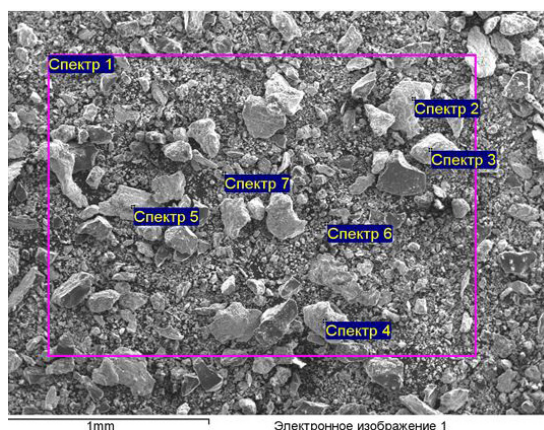
В работе проведено сравнение элементного состава соответственно диффузионного и легированного слоев на сталях 45 и 45Л, исследование микроструктуры поверхности и непосредственно боридного слоя. Выполнено картирование распределения элементов по линии и по площади. Проведено сравнение результатов исследования элементного состава, полученных с помощью энергодисперсионного анализатора X-MAX Pro и рентген-флуоресцентного - X-MET 7500.

В качестве объекта изучения были выбраны боридные покрытия на углеродистой стали 45, полученные различными методами: методом химико-термической обработки (ХТО) в твердой фазе, когда деталь с предварительно нанесенной обмазкой помещали в термиче-

Таблица 1

Элементный состав насыщающей среды.

Спектр	B	C	F	Na	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Ti
Спектр 1	23.96	27.40	0.41	2.15	4.54	0.56		28.50	0.23	12.25
Спектр 2	6.82	4.97			1.71	0.76		79.22		6.53
Спектр 3	9.21	18.67		0.57	1.51	1.44	0.67	67.92		
Спектр 4	0.70	2.02			0.09	0.57	0.71	95.91		
Спектр 5	4.59	8.56			1.71			84.78	0.36	
Спектр 6	12.31	36.82	0.67	0.24	3.16	5.31	0.89	39.80	0.40	0.40
Спектр 7	17.29	20.97	0.86		3.55	7.19	1.01	49.13		



Фракционный состав, %			
5-10 мкм	10- 40 мкм	40-100 мкм	100- 180 мкм
30	50	14	6

**Рис. 1.** Гранулометрический и фракционный состав насыщающей смеси на основе карбида бора для комплексного бор-хром-титанирования.

скую печь и выдерживали в ней при температуре 950°C в течение времени, равного 2,5 ч, необходимого для получения диффузионного покрытия; и методом поверхностного легирования путем литья по газифицируемым моделям (ЛГМ), когда пенополистирольную модель с нанесенной на нее обмазкой заливали расплавленным металлом. В качестве насыщающей смеси (обмазки) и в первом, и во втором случае, применяли смесь на основе карбида бора, химический и гранулометрический состав которой приведен соответственно в таб.1 и на рис.1.

Микроструктуру полученных покрытий изучали с помощью оптического Carl Zeiss AxioObserver Z1m и электронного JEOL JSM-7001F, оборудованного энергодисперсионным анализатором микроскопов. Элементный состав полученных покрытий и среды определяли с помощью энергодисперсионного X-MAX Pro и рентгенофлуоресцентного X-MET 7500 анализаторов.

### 3. Результаты и обсуждение

Усредненный элементный состав полученных покрытий приведен в таб.2. Распределение элементов вдоль линии, перпендикулярной поверхности образцов, приведено на рис.2.

Как видно из рис.2, диффузионный слой, полученный твердофазным борированием стали 45 практически не содержит пор и обладает значительной хрупкостью, в результате чего его поверхность разрушается в процессе приготовления шлифа. Покрытие, полученное поверхностным легированием (сталь 45Л), является менее плотным и содержит большое количество пор, однако является более пластичным по сравнению с покрытием,

полученным первым способом – разрушения поверхностного слоя при шлифовке не происходит.

### 4. Заключение

Проведенные исследования показали, что все легирующие элементы в диффузионном покрытии стали 45 и прилегающей к нему переходной зоне распределены равномерно. В случае поверхностного легирования при литье по газифицируемым моделям (сталь 45Л) имеет место зонированное распределение элементов: углерод, кремний, бор преимущественно располагаются в приповерхностной зоне толщиной 7-12 мкм, под этой зоной их распределение более равномерно и в меньшем количестве. Более тяжелые элементы – железо и хром расположены преимущественно начиная с 8-14 мкм от поверхности. При этом, на поверхности литых слоев присутствуют в значительном количестве соединения одновременно трех элементов: углерода, бора и железа – карбиды и карбобориды железа и бора. Такое перераспределение легирующих элементов приводит к снижению хрупкости упрочненного поверхностного слоя.

*Работа поддержана грантом РФФИ №13-08-98107, Задаaniem минобрнауки по приоритетным направлениям развития науки и техники – тема №885 и грантом Президента РФ Договор 14.Z56.14.656-МК.*

### Литература

1. A.M. Guriev, B.D. Ligdenov, D.M. Maharov, V.I. Mosorov, E.V. Chernikh, O.A. Gurieva, S.G. Ivanov. Fundamentalnie

Таблица 2

Усредненный элементный состав диффузионного боридного покрытия на стали 45, (вес %)

Спектр	B	Ti	Si	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni
Сталь 45Л	12,85	2,24	3,83	0,21	2,05	0,58	76,75	1,49
Сталь 45	9,43	1,12	1,07	0,00	0,68	0,48	87,19	0,03

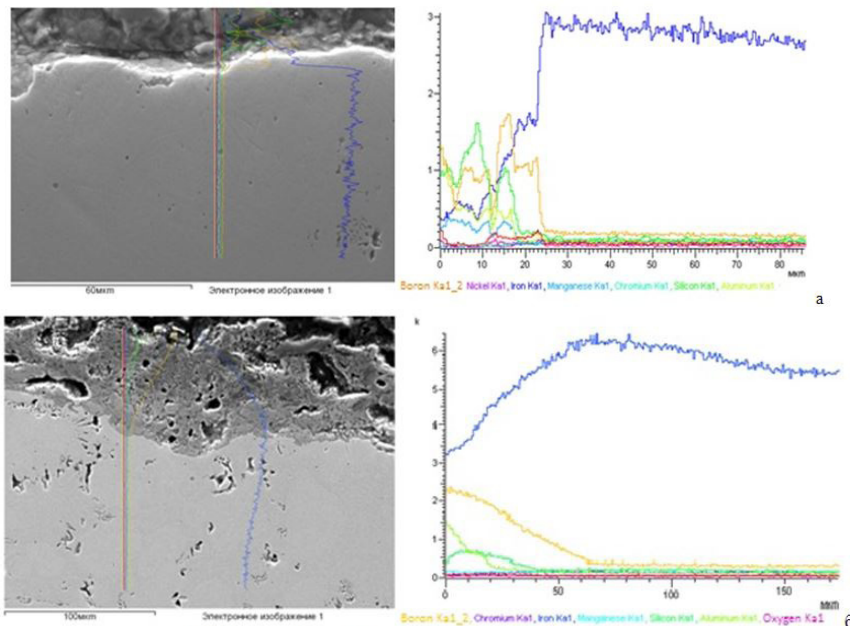


Рис. 2. Распределение элементов по толщине покрытия (а) – сталь 45, (б) – сталь 45Л.

- problemy sovremennogo materialovedenia. 2, 39 (2005). (in Russian) [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. 2, 39 (2005).]
- S.G. Ivanov, I.A. Garmaeva, A.M. Guriev. Fundamentalnye problemy sovremennogo materialovedenia. 9, 86 (2012). (in Russian) [С.Г. Иванов, И.А. Гармаева, А.М. Гурьев. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 9, 86 (2012).]
  - A.M. Guriev, S.G. Ivanov. Fundamentalnye problemy sovremennogo materialovedenia, 8, 92 (2011). (in Russian) [А.М. Гурьев, С.Г. Иванов. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 8, 92 (2011).]
  - M.A. Guriev, D.S. Fil'chakov, I.A. Garmaeva, S.G. Ivanov, A.M. Guriev, G.A. Okolovich. Polzunovskij vestnik. 73(1-1) (2012). (in Russian) [М.А. Гурьев, Д.С. Фильчаков, И.А. Гармаева, С.Г. Иванов, А.М. Гурьев, Г.А. Околович. Ползуновский вестник. 73(1-1) (2012).]
  - M.A. Guriev, A.G. Ivanov, S.G. Ivanov, A.M. Guriev. Uspechi sovremennogo estestvoznaniya. 123(3) (2010). (in Russian) [М.А. Гурьев, А.Г. Иванов, С.Г. Иванов, А.М. Гурьев. Успехи современного естествознания. 123(3) (2010).]
  - S.G. Ivanov, I.A. Garmaeva, A.P. Androsov, V.V. Zobnev, A.M. Guriev, V.A. Markov. 106(1-1) (2012). (in Russian) [С. Г. Иванов, И. А. Гармаева, А. П. Андросов, В. В. Зобнев, А. М. Гурьев, В. А. Марков. Ползуновский вестник. 106(1-1) (2012).]
  - S.G. Ivanov, I.A. Garmaeva, A.M. Guriev. Fundamentalnye problemy sovremennogo materialovedenia. 9, 248 (2012). (in Russian) [С.Г. Иванов, И.А. Гармаева, А.М. Гурьев. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 9, 248 (2012).]
  - B.D. Ligdenov, I.A. Garmaeva, N.A. Popova, E.V. Kozlov, A.M. Guriev, S.G. Ivanov. Fundamentalnye problemy sovremennogo materialovedenia. 9, 681 (2012). (in Russian) [Б.Д. Лыгденов, И.А. Гармаева, Н.А. Попова, Э.В. Козлов, А.М. Гурьев, С.Г. Иванов. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 9, 681 (2012).]
  - M.A. Guriev, A.M. Guriev, A.G. Ivanov, S.G. Ivanov. Mezhdunarodnij zhurnal prikladnikh b fundamentalnich issledovanij. 155(5) (2010). (in Russian) [М.А. Гурьев, А.М. Гурьев, А.Г. Иванов, С.Г. Иванов. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 155(5) (2010).]
  - A.M. Guriev, B.D. Ligdenov, V.I. Mosorov, B.S. Incheev. Sovremennye naukoemkie tehnologii. 35(5) (2006). (in Russian) [А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, В.И. Мосоров, Б.С. Инхеев. Современные наукоёмкие технологии. 35(5) (2006).]
  - A.M. Guriev, B.D. Ligdenov, O.A. Vlasova. Obrabotka metallov: tekhnologiya, oborudovanie, instrument. 14(1) (2009). (in Russian) [А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, О.А. Власова. Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 14(1) (2009).]