

# ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НАСЫЩАЮЩИХ ОБМАЗОК НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА БОРОАЛИТИРОВАННОГО СЛОЯ

*И.Г. СИЗОВ, доктор техн. наук, профессор  
И.П. ПОЛЯНСКИЙ, аспирант  
У.Л. МИШИГДОРЖИЙН, инженер  
Д.М. МАХАРОВ, канд. техн. наук, доцент  
(Восточно-Сибирский государственный  
университет технологий и управления,  
г. Улан-Удэ)*

Статья поступила 26 ноября 2012 года

**Сизов И.Г.** – 670013, Республика Бурятия, г.Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40В, строение 1,  
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,  
e-mail: sigperlit@mail.ru, i.polyansky@mail.ru

Проведены исследования структуры и свойств образцов из стали 45 после процесса бороалитирования. Обработаны различные составы активных и защитных обмазок для процесса бороалитирования.

**Ключевые слова:** химико-термическая обработка, бороалитирование, активная обмазка, защитная обмазка, микротвердость.

## Введение

Прогресс в современной технике неразрывно связан с созданием новых материалов, обладающих особыми механическими и физико-химическими свойствами, а также существенным повышением эксплуатационных свойств существующих сплавов путем поверхностного упрочнения. Наиболее эффективный метод поверхностного упрочнения – химико-термическая обработка (ХТО), позволяющая существенно увеличить износостойкость, жаростойкость, сопротивление окислению и коррозии поверхности изделий металлов и сплавов.

Известно много способов ХТО – борирование, хромирование, азотирование, цементация. Общим недостатком таких способов является насыщение поверхности изделия только одним элементом, что повышает свойства диффузионного слоя в ограниченном диапазоне. Существуют и способы комплексного насыщения поверхности изделий: борохромирование, хромоалитирование, боросилицирование и т. д. Они в значительно большей степени увеличивают сопротивление износу и обеспечивают, кроме того, повышение коррозионной стойкости, жаростойкости, тепло-

стойкости и ряда других свойств поверхностных слоев изделий [1]. Одним из таких способов ХТО является бороалитирование, используемое для повышения жаростойкости и износостойкости, реже коррозионной стойкости металлов и сплавов [2]. Бороалитирование осуществляют различными методами: в порошковых смесях бор- и алюминийсодержащих веществ, в обмазках и суспензиях (шликерный), жидкий, газовый. К достоинствам насыщения из обмазок прежде всего следует отнести меньший разовый расход активных компонентов среды, большую скорость формирования слоев, возможность обработки крупногабаритных изделий, а также совмещение локального упрочнения методом ХТО отдельных участков поверхности с термообработкой [3, 4].

## Цель работы, методика исследований

Цель работы состоит в исследовании структуры и свойств бороалитированных слоев после изотермического бороалитирования в обмазках различного состава.

Бороалитирование проводили на образцах из стали 45 в обмазках на основе карбида бора

изотермическим способом. Компоненты, входящие в состав активной обмазки, перемешивали в воде, которую использовали в качестве связующего и доводили до нужной консистенции. Затем наносили активную обмазку толщиной 2-4 мм на обезжиренную поверхность образцов и просушивали при температуре 50 °С в течение 0,5...1,0 ч в сушильной камере до полного исчезновения влаги. Для проведения процесса использовали следующие составы активных обмазок, приведенные в табл. 1.

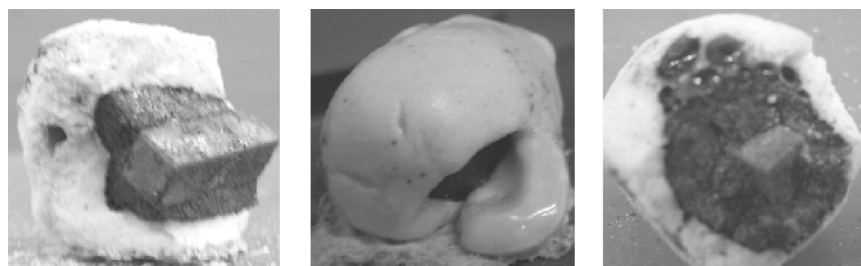


Рис. 1. Образцы в активной и защитной обмазке:

*a* – после процесса; *б, в* – дефекты защитных обмазок (разрывы и поры)

Таблица 1

**Составы активных обмазок  
для бороалитирования**

Номер состава	Компонент, %		
	B <sub>4</sub> C	Al	NaF
1	48	48	4
2	58	38	
3	68	28	
4	78	18	
5	88	8	

Поверх активной обмазки наносили защитную обмазку, состоящую из эмали ЭВТ-100 и оксида алюминия (табл. 2). В качестве связующего использовали силикатный клей и воду в соотношении 1:1.

Защитная обмазка должна обладать хорошей газопроницаемостью в интервале температур 200...400 °С, а при высоких температурах защитная обмазка изолирует активную обмазку и образец от взаимодействия с окружающей средой (рис. 1). Экспериментально установлено, что в качестве защитной обмазки подходит обмазка состава № 2, поскольку она сохраняет свою целостность на всем протяжении процесса, а по-

Таблица 2

**Составы защитных обмазок  
для бороалитирования**

Номер состава	Компонент, %	
	Эмаль ЭВТ-100	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	100	0
2	50	50
3	20	80

сле проведения процесса легко отделяется от активной обмазки, что позволяет использовать ее повторно в целях экономии компонентов, смешивая измельченную старую обмазку с новой в соотношении 1:1.

После нанесения обмазок образцы помещали в печь и проводили диффузионное насыщение при температуре 950 °С в течение 4 ч.

Микроструктуру бороалитированных слоев исследовали на оптическом микроскопе «Neophot-21». Микротвердость определяли на приборе ПМТ-3М. Рентгеноспектральный микроанализ проводили на растровом электронном микроскопе JSM-6510LV JEOL с системой микроанализа INCA Energy 350.

**Результаты экспериментов  
и их обсуждение**

В результате бороалитирования образцов из стали 45 были получены диффузионные слои с различной микроструктурой (рис. 2). При бороалитировании из обмазки состава № 1 формируется диффузионный слой, состоящий из светлой зоны толщиной до 150 мкм и микротвердостью до 3500 МПа. На границе слой-основа на отдельных участках расположены мелкие частицы, микротвердость которых не превышает микротвердости основного слоя. При насыщении из обмазки состава № 2 толщина слоя уменьшается и достигает 140 мкм, а микротвердость возрастает до 4500 МПа. На границе слой-основа образуются небольшие цепочки из мелких частиц, между которыми находятся отдельные частицы, располагающиеся чуть выше этой границы. Микротвердость частиц не превышает 3500...4500 МПа. При бороалитировании составом № 3 формируется диффузионный слой глубиной до 120 мкм и микротвердостью 3000 МПа. На границе слой-

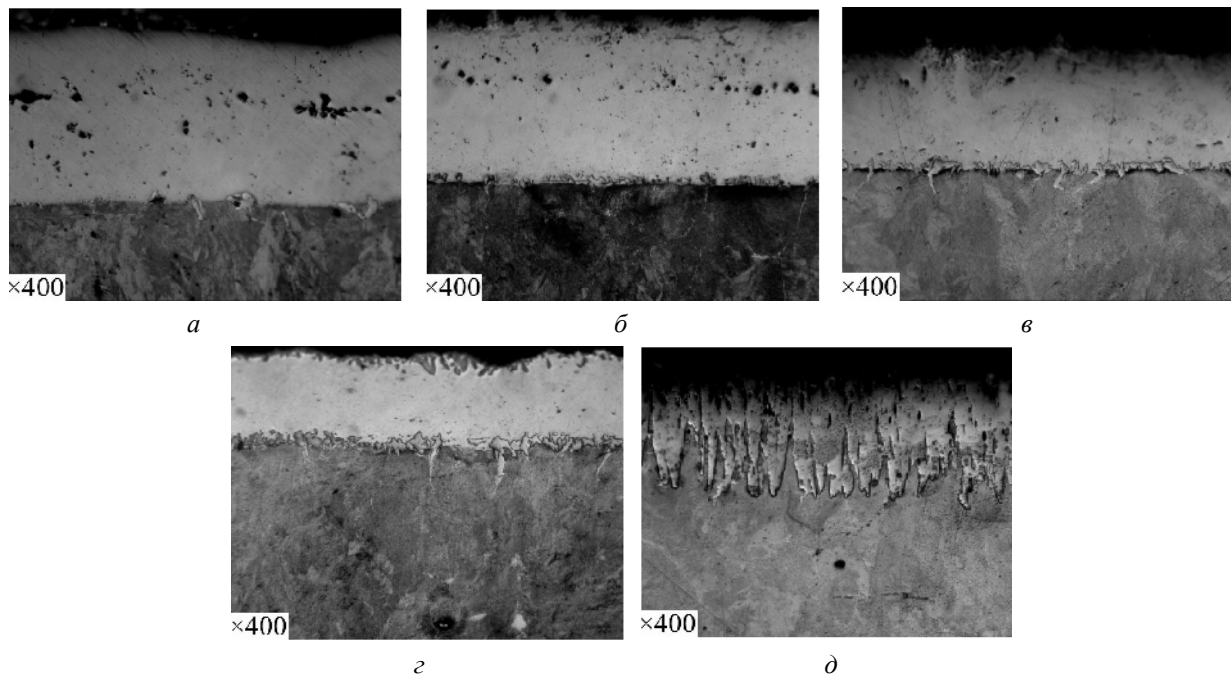


Рис. 2. Микроструктуры бороалитированных слоев на стали 45 после обработки:  
 а – состав № 1; б – состав № 2; в – состав № 3; г – состав № 4; д – состав № 5

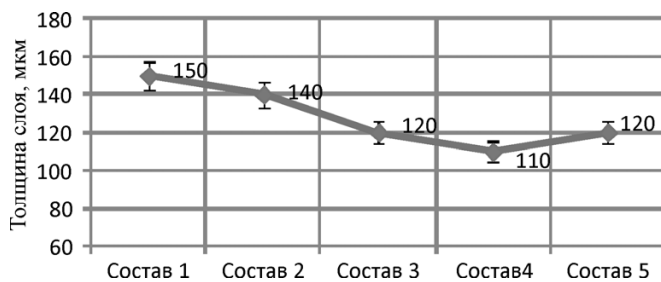


Рис. 3. Толщина диффузионного слоя в зависимости от состава насыщающей обмазки

основа расположена сплошная цепочка, микротвердость которой достигает 9150 МПа.

После обработки составом № 4 формируется слой глубиной до 110 мкм и микротвердостью 4000 МПа, а микротвердость кристаллов, находящихся на границе слой–основа, достигает 25 400 МПа, что соответствует микротвердости борида железа  $Fe_2B$ . После обработки составом № 5 микроструктура резко отличается от предыдущих и имеет вид «классического» боридного слоя. Глубина слоя составляет 120 мкм, микротвердость 23 350 МПа [5].

Из рис. 3 видно, что с уменьшением содержания алюминия и повышением содержания карбида

бора в составе обмазки глубина слоя уменьшается за исключением обмазки состава № 5. При этом повышается микротвердость (рис. 4). Известно, что с увеличением в смеси содержания алюминия в слое появляются фазы  $Fe_2Al_5$  и  $FeAl$ , борид  $Fe_2B$  исчезает [6]. Следовательно, повышается жаростойкость при наличии в диффузионном слое алюминидных фаз и микротвердость при наличии боридов железа ( $Fe_2B$ ,  $Fe_3B$ ).

Рентгеноспектральный анализ показал (рис. 5), что содержание алюминия в слое постепенно снижается по мере удаления от поверхно-

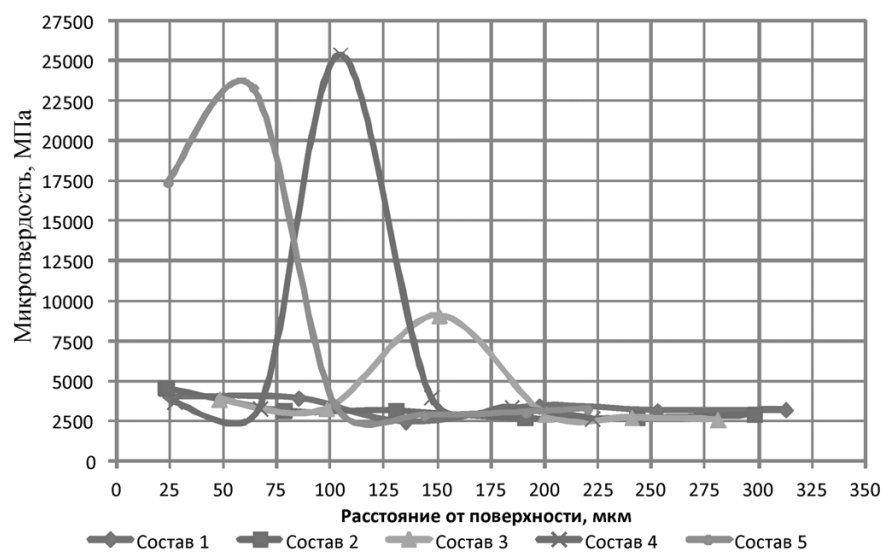


Рис. 4. Распределение микротвердости по глубине диффузионного слоя

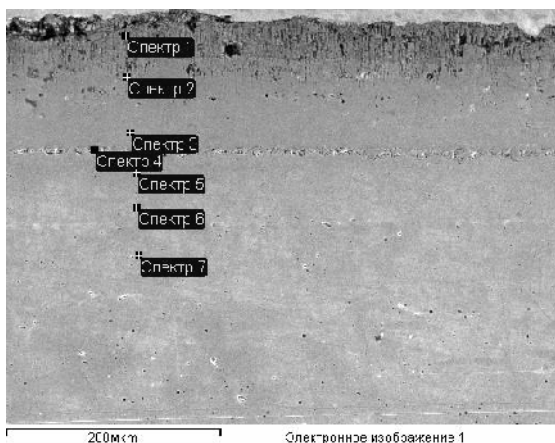


Рис. 5. Микроструктура бороалитированного слоя на стали 45 после обработки составом обмазки № 4 с точками набора спектров

сти с 47 до 8 % (вес.) (табл. 3). Такое содержание алюминия соответствует двум фазам:  $Fe_2Al_5$  (30–36,5 %Al) на поверхности слоя и твердому раствору алюминия в  $\alpha Fe$  (до 30%Al) в глубине слоя [7, 8]. На границе слой–основа располагаются мелкие кристаллы, содержание бора в них около 10 %, что соответствует бориду железа  $Fe_2B$  [9].

Таблица 3

**Элементный состав бороалитированного слоя в точках спектров (результаты в весовых %)**

Спектр	B	Al	Si	Fe	Mn	Итого
Спектр 1		47.52	0.34	52.14		100
Спектр 2		30.67		68.72	0.60	100
Спектр 3		8.91	0.56	89.81	0.72	100
Спектр 4	9.87			89.51	0.62	100
Спектр 5			0.38	98.89	0.72	100
Спектр 6				99.23	0.76	100
Спектр 7			0.39	98.92	0.68	100

### Выводы

1. Исследованы различные варианты составов насыщающих обмазок для бороалитирования. Установлено, что, изменяя процентное соотношение компонентов насыщающей среды, можно регулировать структуру слоя, а значит, и

его свойства (толщину, микротвердость, элементный состав диффузионного слоя).

2. Состав насыщающей обмазки №1,2,3,4 можно применять для обработки деталей, работающих при высоких температурах, а для деталей, работающих в условиях повышенной износостойкости и при повышенных температурах, – состав № 5.

### Список литературы

1. Малькова Н.Ю. Недостатки процессов и перспективные способы химико-термической обработки // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 12. – С. 87–88.
2. Ляхович Л.С. и др. Многокомпонентные диффузионные покрытия. – Минск: Изд-во «Наука и техника», 1974. – 288 с.
3. Ворошнин Л.Г., Менделеева О.Л., Сметкин В.А. Теория и технология химико-термической обработки. – Минск: Новое знание, 2010. – 304 с.
4. Сизов И.Г., Мишигдоржийн У.Л., Телешев А.Н., Махаров Д.М. Исследование влияния процесса бороалитирования в пастах на повышение стойкости деталей литейной оснастки // Технология металлов. – 2011. – № 8. – С. 23–26.
5. Патент № 2459011, Российская Федерация, МПК С23С 8/72. Обмазка для бороалитирования стальных изделий / И.Г. Сизов, И.П. Полянский, У.Л. Мишигдоржийн, Д.М. Махаров – Заявитель и патентообладатель: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. – № 2011125888/02; заявл. 23.06.2011; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23. – 8 с.
6. Борисенко Г.В., Васильев Л.А., Ворошнин Л.Г. и др. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
7. Рябов В.Р. Алитирование стали. – М.: Металлургия, 1973. – 239 с.
8. Лякишева Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Д44 Справочник: В 3 т.: Т. 1. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.
9. Крукович М.Г., Прусаков Б.А., Сизов И.Г. Пластичность борированных слоев. – М.: ФизМатЛит, 2010. – 384 с.

### The influence of composition of saturating pastes on the structure and properties of the boron aluminized layer

I.G. Sizov, I.P. Polyansky, U. L. Mishigdorzhyn, Makharov D.M.

The structure and properties of steel 45 after boronaluminizing are investigated in this paper. Worked out various compounds of active and protective pastes for process of boron aluminizing.

**Key words:** thermo-chemical treatment, boron aluminizing, active paste, protective paste, microhardness.