

УДК 669.017

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ПО СЕЧЕНИЮ ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ ПРИ НАСЫЩЕНИИ  
В СМЕСИ, СОДЕРЖАЩЕЙ ФЕРРОСПЛАВЫ  
ВАНАДИЯ И ХРОМА**

<sup>1,2</sup>Лыгденов Б.Д., <sup>1,3</sup>Гурьев А.М.

<sup>1</sup>Уханьский текстильный университет, Ухань;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления»,  
Улан-Удэ, e-mail: ygdenov59@mail.ru;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,  
Барнаул

Настоящая работа посвящена исследованию диффузионного слоя, полученного методом химико-термической обработки. Фазовый состав диффузионного слоя во многом предопределяет его функциональные свойства. При этом важно, что в зависимости от условий эксплуатации, при химико-термической обработке возможно прогнозируемое формирование диффузионного слоя с необходимым фазовым составом. Анализ проведенных структурных исследований с использованием методов световой и электронной микроскопии, а также рентгенофазового анализа, позволил установить следующее: состав и структура исследованных диффузионных слоев зависят от количественного соотношения феррохрома и феррованадия в насыщающей смеси; при одновременном насыщении в порошках феррохрома и феррованадия на стали У8А формируются карбиды  $(Cr, Fe)_7C_3$  и VC; при увеличении содержания феррованадия в смеси наблюдается увеличение толщины участка карбида ванадия VC и уменьшение толщины участка карбида хрома  $(Cr, Fe)_7C_3$ .

**Ключевые слова:** диффузия, фазовый состав, карбиды, феррохром, феррованадий, структура

**THE DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS OVER  
THE CROSS SECTION OF THE DIFFUSION LAYER AT SATURATION IN THE  
MIXTURE CONTAINING FERRO-ALLOYS OF VANADIUM  
AND CHROMIUM**

<sup>1,2</sup>Lygdenov B.D., <sup>1,3</sup>Guriev A.M.

<sup>1</sup>Wuhan Textile University, Wuhan;

<sup>2</sup>The East-Siberian State University of technologies and management, Ulan-Ude,  
e-mail: ygdenov59@mail.ru;

<sup>3</sup>Altai state technical University n.a. I.I. Polzunov, Barnaul

This work is devoted to study the diffusion layer obtained by the method of chemical-thermal treatment. The phase composition of the diffusion layer largely determines its functional properties. It is important that depending on the operating conditions, when chemical-thermal processing is possible, the projected formation of the diffusion layer with the desired phase composition. The analysis conducted by structural research using the methods of light and electron microscopy, and x-ray diffraction allowed to establish the following: the composition and structure of investigated diffusion layers depend on the proportion of ferrochrome and ferrovanadium in the saturating mixture with simultaneous saturation of the powder of ferrochrome and ferrovanadium for steel U8A formed carbides  $(Cr, Fe)_7C_3$  and VC; with increasing content of vanadium in the mixture, an increase in the thickness of the phase vanadium carbide VC and the thickness reduction of area of chromium carbide  $(Cr, Fe)_7C_3$ .

**Keywords:** diffusion, phase composition, carbides, ferrochrome, ferrovanadium, structure

В предыдущих исследованиях рассматривались различные соотношения компонентов в смеси при химико-термической обработке [1–7]. Формирование фазового состава диффузионного слоя зависит от многих факторов. Систематизация полученных результатов позволяет регулировать физико-механические свойства диффузионных покрытий согласно предъявляемым требованиям к деталям, в зависимости от условий эксплуатации [8–15].

При одновременном насыщении в смеси содержащей ферросплавы ванадия и хрома

кинетика формирования диффузионного слоя в зависимости от пропорционального содержания компонентов существенно изменяется. Во-первых, формируется диффузионный слой, состоящий из двух зон. Во-вторых, в верхней части располагается зона карбида хрома, а ниже – зона карбида ванадия (см. рис. 1). Повышение содержания феррованадия на 25% и соответственно, уменьшения содержания феррохрома в смеси приводит к увеличению толщины зоны карбида ванадия и уменьшению зоны карбида хрома.

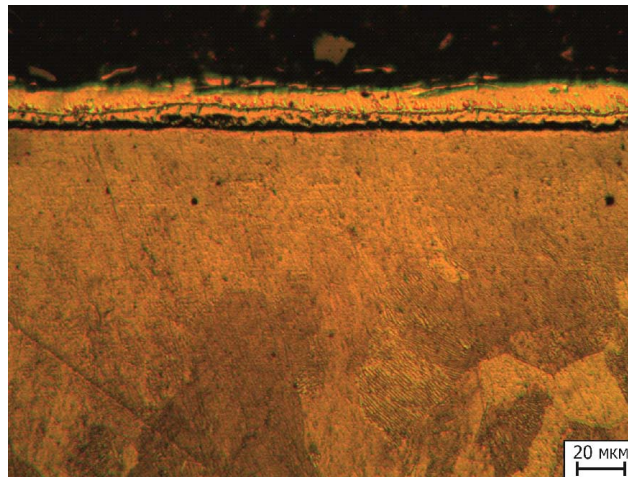


Рис. 1. Микроструктура диффузионного слоя после насыщения в смеси в смеси содержащей феррохром и феррованадий. Соотношение компонентов 50:50

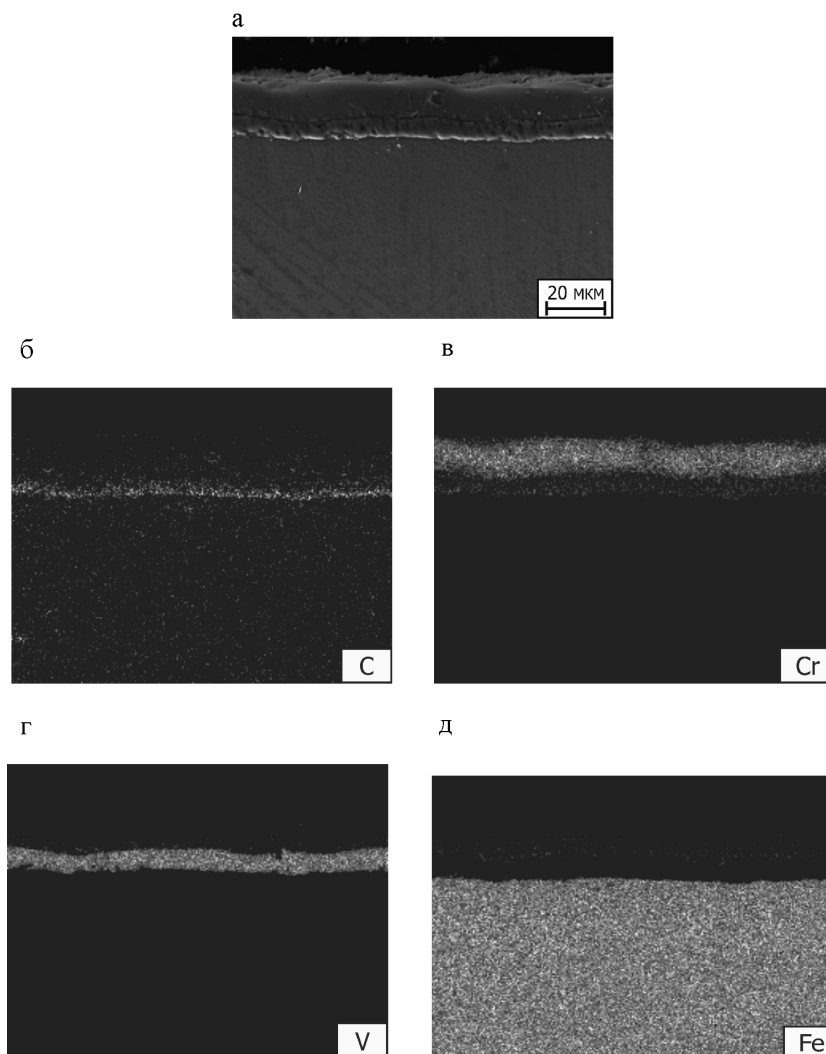
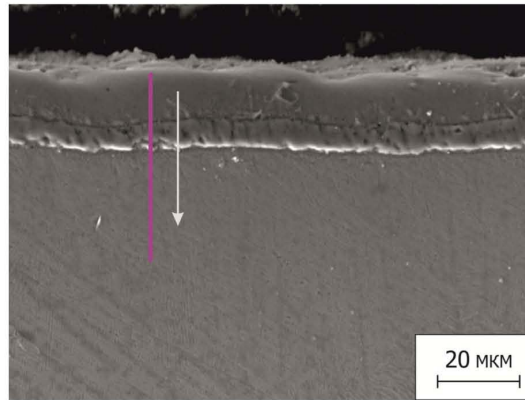


Рис. 2. Распределение элементов по поверхности микрошлифа после диффузионного насыщения образца в смеси при соотношении компонентов 75% (феррованадий): 25% (феррохром). Изображения получены во вторичных электронах (а) и в характеристическом излучении углерода (б), хрома (в), ванадия (г) и железа (д)

а



б

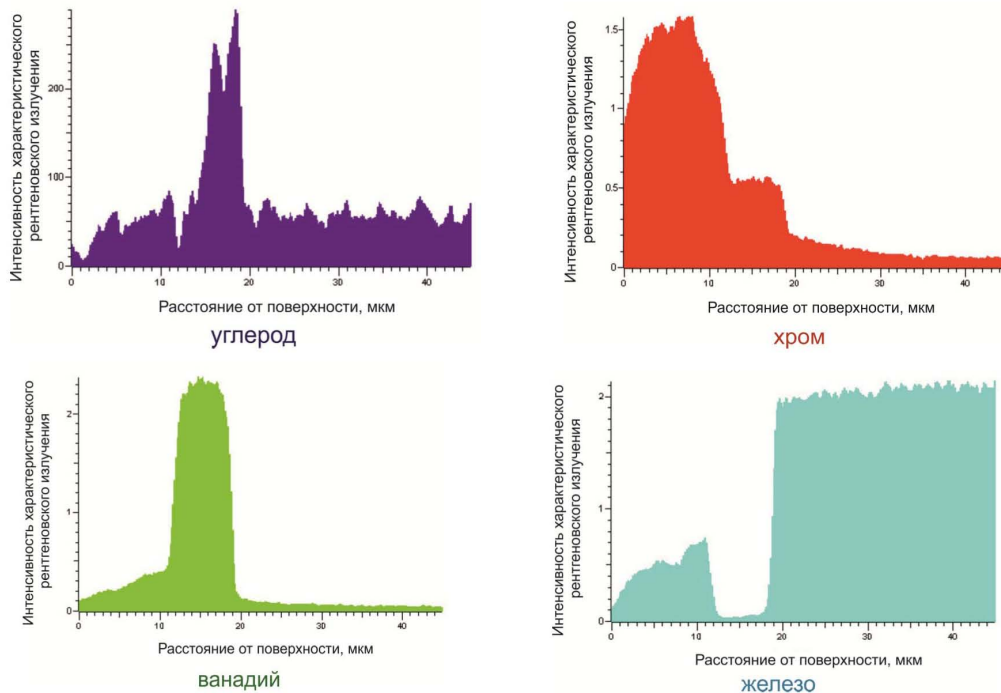


Рис. 3. Распределение элементов по линии сканирования:  
а – линия сканирования на поверхности шлифа; б – распределение элементов вдоль линии сканирования

Как видно из EDX-карт (энергодисперсионный анализ) распределения химических элементов диффузионного слоя при насыщении в пропорции 75% (феррованадий):25% (феррохром) (см. рис. 2), а также распределения элементов по сечению слоя, формирующийся диффузионный слой идентичен по строению со слоем после насыщения в смеси в соотношении 50%:50%.

Но, объемная доля карбида ванадия гораздо выше, чем карбида хрома.

Внешний участок карбида хрома состоит из 52 вес. % хрома, 12 вес. % ванадия и 26 вес. % железа. Прилегающей к переходной зоне участок карбида ванадия содержит 75,7 вес. %, в котором растворено 8 вес. % хрома. Результаты элементного анализа приведены на рисунке 4 и в таблице.

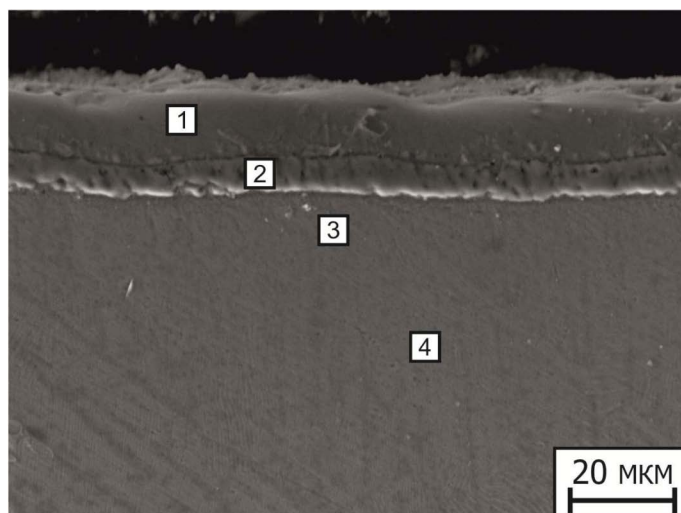


Рис. 4. Микроструктура образца после насыщения в смеси содержащей феррованадий и феррохром в соотношении 75%:25% с точками набора спектров

#### Элементный состав в анализируемых точках

%	Спектр	Элементный состав				
		C	Si	V	Cr	Fe
Ат. вес.	1	29,5		9,9	41,1	19,3
		8,7		12,4	52,4	26,4
Ат. вес.	2	43		51,1	5,1	0,7
		13,8		75,7	8,5	1,8
Ат. вес.	3	28,4	0,6	1,2	2,6	67,1
		7,9	0,4	1,4	3,1	87
Ат. вес.	4	29,2	0,5	0,2	0,4	69,6
		8,1	0,3	0,2	0,5	90,7

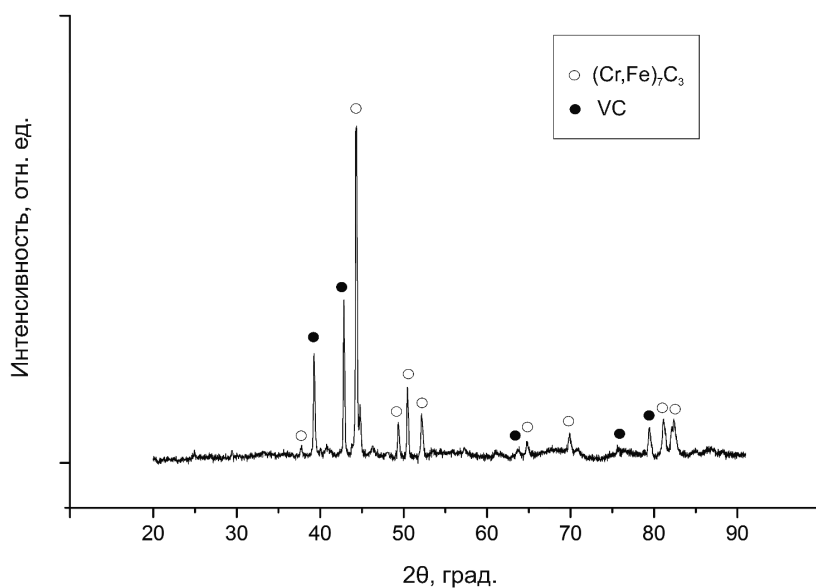


Рис. 5. Рентгенограмма поверхности образца из стали У8А после насыщения в смеси содержащей феррованадий и феррохром в соотношении 75%:25%

В слое данного состава с использованием методов рентгенофазового анализа зафиксированы фазы  $(Cr, Fe)_7C_3$  и VC.

Анализ проведенных структурных исследований с использованием методов световой и электронной микроскопии, а также рентгенофазового анализа, позволил установить следующее:

Состав и структура исследованных диффузионных слоев зависят от количественного соотношения феррохрома и феррованадия в насыщающей смеси.

При одновременном насыщении в порошках феррохрома и феррованадия на стали У8А формируются карбиды  $(Cr, Fe)_7C_3$  и VC.

При увеличении содержания феррованадия в смеси наблюдается увеличение толщины участка карбида ванадия VC и уменьшение толщины участка карбида хрома  $(Cr, Fe)_7C_3$ .

#### Список литературы

1. Гурьев М.А. Перспективные методы получения упрочняющих покрытий / М.А. Гурьев, Е.А. Кошелева, А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, О. Галаа. – Барнаул, 2016. – 182 с.
2. Лыгденов Б.Д. Химико-термоциклическая обработка углеродистой стали в смеси содержащей феррованадий / Б.Д. Лыгденов, В.А. Бутуханов, Б.С. Цыдыпов, Ш. Мэй. В книге: Эволюция дефектных структур в конденсированных средах сборник тезисов XIV Международной школы-семинара (ЭДС-2016). – 2016. – С. 204–209.
3. Бутуханов, В.А. Оптимизация состава для получения карбидных диффузионных слоев с максимальной износостойкостью / В.А. Бутуханов, Б.С. Цыдыпов, Ш. Мэй, Б.Д. Лыгденов // В сборнике: Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции / Отв. ред. А.А. Горохов. – 2016. – С. 32–35.
4. Бутуханов, В.А. Влияние состава насыщающих порошковых сред на структуру и свойства диффузионных карбидных слоев / В.А. Бутуханов, Б.Д. Лыгденов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. – № 2 (71). – С. 80–86.
5. Бутуханов, В.А. Диффузионные карбидные покрытия на стали У8А / В.А. Бутуханов, Б.Д. Лыгденов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2016. – № 3. – С. 414–418.
6. 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.
7. Гурьев, М.А. Технология нанесения многокомпонентных упрочняющих покрытий на стальные детали / 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.
8. Sizov, I. G. The Study of Boroaluminizing in Pastes under Thermocycling and Laser Heating / I. G. Sizov, I. P. Polyansky, U. L. Mishigdorzhiiyn // Advanced Materials Research, 2014, – 1040, 907–911.
9. Sizov, I. G. Boroaluminized Carbon Steel. Encyclopedia of Iron, Steel, and Their Alloys / I. G. Sizov, U. L. Mishigdorzhiiyn, I. P. Polyansky // Taylor and Francis: New York. Published online: 30 Mar 2016. – 346–357.
10. Гурьев, М.А. Технология нанесения многокомпонентных упрочняющих покрытий на стальные детали / 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.
11. Гурьев, А.М. Интенсификация процессов химико-термической обработки металлов и сплавов / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, О.А. Власова // Фундаментальные исследования. – 2008. – № 8. – С. 10.
12. Лыгденов, Б.Д. Термоциклирование. Структура и свойства / Б.Д. Лыгденов, Ю.П. Хараев, А.Д. Грешилов, А.М. Гурьев. – Барнаул, – 2014. – 251 с.
13. Гурьев, А.М. Влияние циклического теплового воздействия на формирование структуры и фазового состава диффузионных боридных слоев инструментальных сталей / А.М. Гурьев, А.Д. Грешилов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2009. Т. 6. – № 3. – С. 70–84.
14. Гурьев, А.М. О разработке высокоэффективной технологии термического упрочнения инструментальных сталей / А.М. Гурьев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2000. – № 2. – С. 25.
15. Зобнев, В.В. Технологические основы создания износостойкого инструмента / В.В. Зобнев, С.Г. Иванов, А.М. Гурьев, А.М. Марков // Ползуновский альманах. – 2012. – № 1. – С. 271–273.