

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ НА СТАЛИ У8, ПОЛУЧЕННОГО В СМЕСИ СОДЕРЖАЩЕЙ ФЕРРОХРОМ

**В. А. Бутуханов¹, Б. Д. Лыгденов^{3, 1}, А. М. Гурьев^{3, 2},
Мэй Шунчи³, Б. С. Цыдыпов¹**

¹ Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ, Россия

² Алтайский государственный технический университет,
г. Барнаул, Россия

³ Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай

В работе приведены результаты исследований диффузионного слоя на стали У8, полученные методом химико-термической обработки, в смеси содержащей феррохром.

Ключевые слова: диффузия, структура, фазовый состав, твердый раствор, железо, хром

PHASE ANALYSIS OF THE DIFFUSION LAYER ON STEEL U8 OBTAINED IN THE MIXTURE CONTAINING FERROCHROMIUM

**V. A. Butukhanov¹, B. D. Lygdenov^{3, 1}, A. M. Guriev²,
May Shunqi³, B. S. Tsydypov¹**

¹ East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

² Altai State Technical University, Barnaul, Russia

³ Wuhan Textile University, Wuhan, China

The paper presents the results of studies of the diffusion layer on steel U8, obtained by the method of chemical-thermal treatment, in a mixture containing ferrochromium.

Keywords: diffusion, structure, phase composition, solid solution, iron, chromium

Исследования формирования диффузионного слоя при различных видах химико-термической обработки необходимы для эффективного использования на практике.

Кинетика диффузионных процессов во многом зависит от исходных условий. При насыщении стали в смеси содержащей феррохром (50 мас. % FeCr + 45 мас. % Al₂O₃ + 5 мас. % NH₄Cl) образуется хромированный карбидный слой. Металлографический анализ показал, что диффузионный слой выявляется в виде сплошной зоны с четкой границей раздела. Структура диффузионного слоя представлена на рисунке 1.

Структура состоит из карбидного слоя толщиной 20 мкм, за ним следует плохо травящаяся обезуглероженная светлая зона твердого раствора хрома протяженностью ≈ 50 мкм. Образование этой зоны обусловлено диффузией углерода из приграничной зоны в

карбидный слой, вследствие большого сродства хрома и углерода.

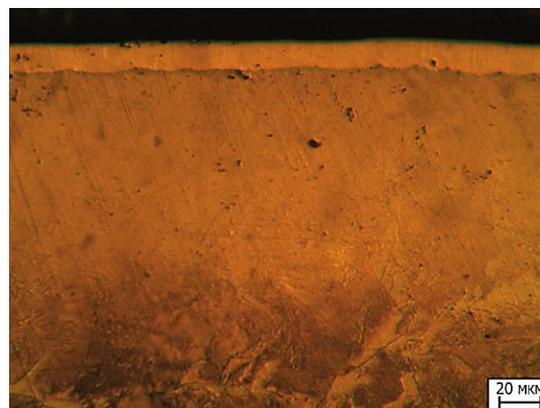


Рисунок 1 – Микроструктура диффузионного слоя после насыщения в смеси содержащей феррохром

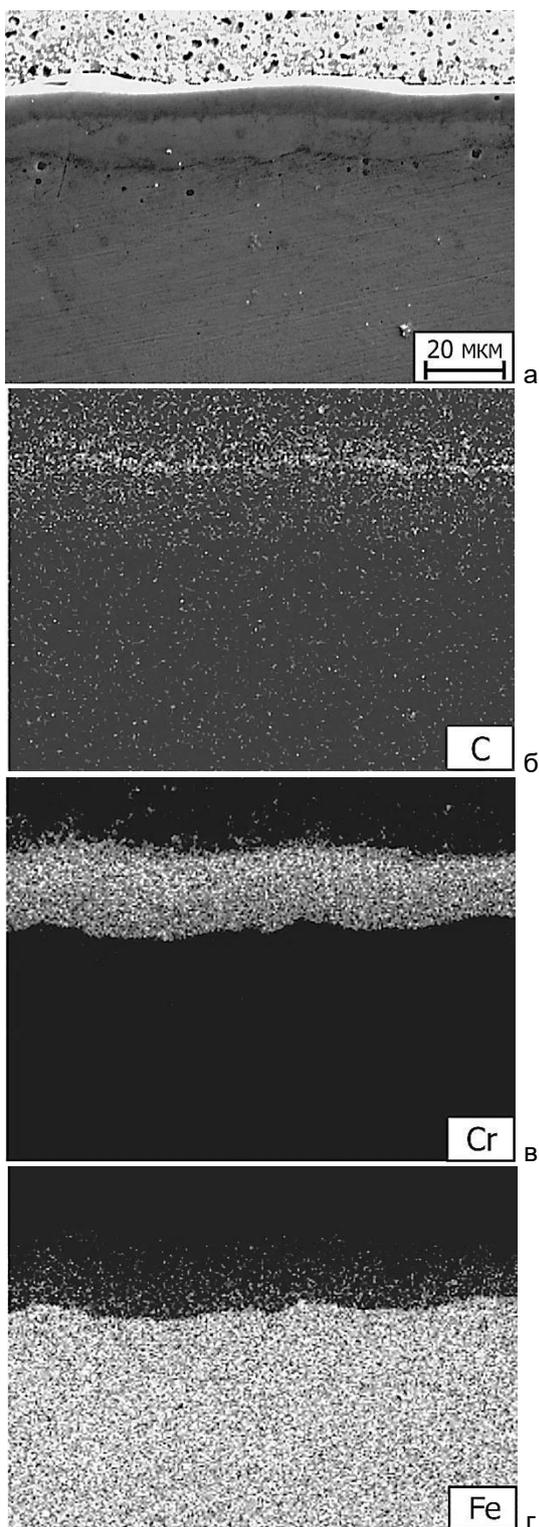


Рисунок 2 – Распределение элементов по поверхности микрошлифа после диффузионного насыщения образца в смеси содержащей феррохром. Изображения получены во вторичных электронах (а) и в характеристическом излучении углерода (б), хрома (в) и железа (г)

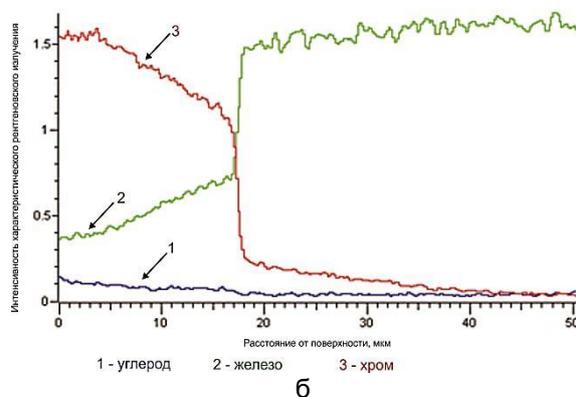
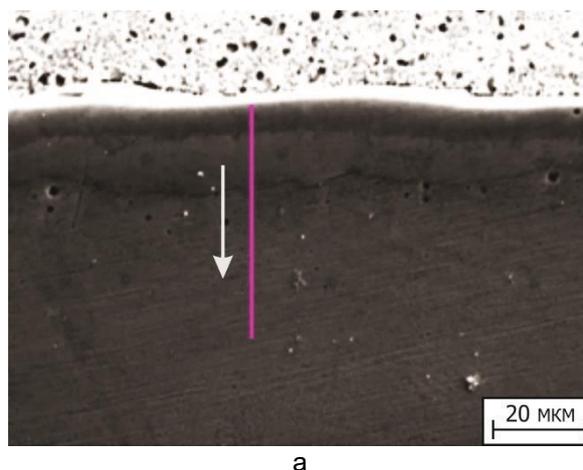


Рисунок 3 – Распределение элементов по линии сканирования: а – линия сканирования на поверхности шлифа; б – распределение элементов вдоль линии сканирования

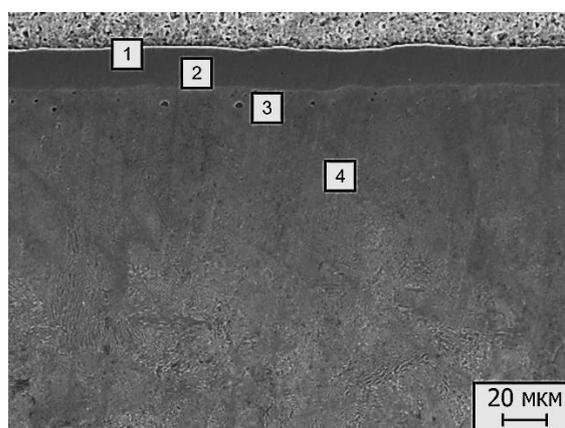


Рисунок 4 – Микроструктура образца после насыщения в смеси содержащей феррохром с точками набора спектров

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ НА СТАЛИ У8, ПОЛУЧЕННОГО В СМЕСИ СОДЕРЖАЩЕЙ ФЕРРОХРОМ

EDX-карты (энергодисперсионный анализ) распределения химических элементов по поверхности шлифа представлены на рисунке 2. Анализ приведенных снимков свидетельствует о том, что хром концентрируется в пределах карбидной зоны, основная доля углерода содержится в карбидах. Железо находится в матрице под слоем, а также растворено в карбидной зоне слоя.

На начальной стадии процесса насыщения в поверхностных зонах стали образуется твердый раствор хрома в железе. При достижении предельной растворимости хрома в γ -твердом растворе образуются зародыши карбида хрома. Это хорошо наблюдается на рисунке 3, на котором представлено распределение элементов по сечению диффузионного слоя. Уменьшение концентрации хрома от внешней границы диффузионного слоя до границы раздела с переходной зоной сопровождается увеличением концентрации железа в слое в указанном направлении. На гра-

нице раздела карбидный слой – переходная зона концентрация хрома резко снижается, плавно уменьшаясь по толщине переходной зоны.

Полученный поэлементный состав слоя и переходной зоны, приведенный на рисунке 4 и в таблице 2, свидетельствует о том, что вместе с углеродом основы в слой диффундирует железо основы. На внешней поверхности слоя (спектр 1) содержание железа составляет ≈ 25 вес. %, хрома – 55 вес. %. Ниже (спектр 2) расположена зона, в которой содержание железа повышается до 37 вес. %, а содержание хрома снижается до 45 вес. %. На основании этих данных можно сделать вывод о том, что диффузионный слой состоит из двух фаз, что и было подтверждено при дальнейшем рентгеноструктурном анализе. В основу диффундирует незначительное количество хрома, в переходной зоне на расстоянии около 10 мкм (спектр 3) от карбидного слоя его концентрация составляет 4 вес. %.

Таблица 1 – Элементный состав в анализируемых точках

%	Спектр	Элементный состав			
		C	Si	Cr	Fe
Ат.	1	52		33,5	14,4
вес.		19,7		54,9	25,4
Ат.	2	48,3		29,2	22,5
вес.		17,3		45,3	37,4
Ат.	3	36,1	1,1	3,1	59,7
вес.		10,9	0,8	4,1	84,2
Ат.	4	35,4		0,4	64,2
вес.		10,5		0,5	89

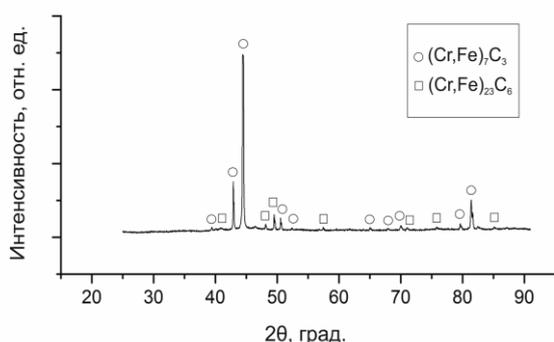


Рисунок 5 – Рентгенограмма поверхности образца из стали У8А после насыщения в смеси № 1

Рентгенофазовый анализ поверхности хромированных образцов, представленный на рисунке 5, показал, что диффузионный слой состоит из карбидов двух типов:

$(Cr, Fe)_7C_3$ на внешней стороне слоя и $(Cr, Fe)_{23}C_6$ возле границы слой – переходная зона.

Выводы:

1. При диффузионном насыщении в смеси содержащей феррохром, с выдержкой в течение 6 часов при 1000 °С на поверхности стали У8А формируются диффузионные слои толщиной 20 мкм.

2. Методом рентгенофазового анализа установлено, что при насыщении стали У8А в порошке феррохрома в диффузионном слое образуются карбиды $(Cr,Fe)_7C_3$ и $(Cr,Fe)_{23}C_6$. Содержание железа, замещающего хром в этих карбидах, составляет от 25 до 37 вес. %.

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.

2. Бутуханов, В.А. Оптимизация состава для получения карбидных диффузионных слоев с максимальной износостойкостью / В.А. Бутуханов, Б.С. Цыдыпов, Мэй Шунчи, Б.Д. Лыгденов В сборнике: Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении //Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Горохов А.А. - 2016. -С. 32-35.
3. Лыгденов, Б.Д. Термоциклирование. Структура и свойства / Б.Д. Лыгденов, Ю.П. Хареев, А.Д. Грешилов, А.М. Гурьев. – Барнаул. - 2014.
4. Бутуханов, В.А. Структура диффузионного покрытия В-СR-V / В.А. Бутуханов, Б.Д. Лыгденов, Н.Г. Бильтриков // Ползуновский альманах. - 2013. - № 2. - С. 8-10.
5. Лыгденов, Б.Д. Механизм формирования карбоборидной зоны на феррито-перлитной стали при борировании / Б.Д. Лыгденов, А.М. Гурьев, Э.Э. Мотошкин // Современные наукоемкие технологии. - 2006. - № 5. - С. 38.
6. Бахронов, К.К. Комплексный анализ исходных газовых сред для нанесения защитных диффузионных покрытий /К.К. Бахронов, Б.Д. Лыгденов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2015. Т. 12. - № 1. - С. 113-117.
7. Бутуханов, В.А. Диффузионные карбидные покрытия на стали У8А / В.А. Бутуханов, Б.Д. Лыгденов // Актуальные проблемы в машиностроении. - 2016. - № 3. - С. 414-418.
8. 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.
9. Сизов, И.Г. Влияние процесса бороалитирования в пастах на повышение стойкости деталей литейной оснастки / И.Г. Сизов, У.Л. Мишигдоржийн, А.Н. Телешев, Д.М. Махаров // Технология металлов. – 2011. – №8. – С.23-26.
10. Sizov, I.G. 'A study of thermocycling boroluminizing of carbon steel' / I.G. Sizov, U. L. Mishigdorzhyn, D.M. Maharov // Metal Science and Heat Treatment, - 2012, 53, (11-12), - 592-597
11. Sizov, I.G. Influence of thermocycle boroluminizing on strength of steel C30 / I.G. Sizov, U.L. Mishigdorzhyn, C. Leyens, B. Vetter, T. Furmann // Surface Engineering, - 2014, 30, (2), - 129-133.
12. Sizov, I.G. Boroaluminized Carbon Steel. Encyclopedia of Iron, Steel, and Their Alloys / I.G. Sizov, U.L. Mishigdorzhyn, I.P. Polyansky // Taylor and Francis: New York. Published online: 30 Mar 2016. -346-357
13. Гурьев, А.М. Особенности формирования диффузионного слоя при термоциклическом борировании углеродистой стали / А.М. Гурьев, Э.В. Козлов, Л.Н. Игнатенко, Н.А. Попова // В книге: Эволюция дефектных структур в конденсированных средах сборник тезисов докладов 5-ой Международной школы-семинара. - 2000. - С. 149-150.
14. Гурьев, А.М. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом карбоборировании феррито-перлитной стали / А.М. Гурьев, Э.В. Козлов, А.И. Крымских, Л.Н. Игнатенко, Н.А. Попова // Известия высших учебных заведений. Физика. - 2000. Т. 43. - № 11. - С. 60.
15. Иванов, С.Г. Особенности кинетики диффузионного насыщения углеродистых сталей бором и хромом / С.Г. Иванов, А.М. Гурьев, Н.Г. Бильтриков, Е.А. Кошелева, Т.Г. Иванова, А.А. Левченко //Ползуновский альманах. - 2013. - № 2. - С. 157-160.
16. Иванов, С.Г. Хромирование сталей из насыщающих паст / С.Г. Иванов, А.М. Гурьев //Фундаментальные исследования. - 2006. - № 11. - С. 73.
17. Гурьев, А.М. 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 наукоемкие технологии. - 2006. - № 5. - С. 35-36.
18. Гурьев, А.М. Термоциклическое борирование как метод повышения прочности инструментальных сталей / А.М. Гурьев, О.А. Власова, Б.Д. Лыгденов, И.А. Гармаева, А.М. Кириенко, С.Г. Иванов, Е.А. Кошелева // Ползуновский альманах. - 2007. - № 1-2. - С. 85.
19. Гурьев, А.М. Диффузионные покрытия сталей и сплавов / А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, И.А. Гармаева. – Барнаул. - 2013.
20. Лыгденов, Б.Д. Формирование диффузионного слоя на рабочей поверхности инструмента, работающего в условиях динамического износа / Б.Д. Лыгденов, А.М. Гурьев, Э.В. Козлов, В.А. Бутуханов, Ч. Чжу. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2015. Т. 58. - № 2. - С. 117-120.
21. Ivanov, S.G. Features of multicomponent saturation alloyed by steels / S.G. Ivanov, I.A. Garmayeva, M.A. Guriev, A.M. Guriev, M.D. Starostenkov // Lecture Notes in Control and Information Sciences. - 2015. Т. 22. - P. 49-53
22. Гурьев, А.М. Сравнительное исследование ресурса работы диффузионных покрытий на основе бора / А.М. Гурьев, С.Г. Иванов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2013. - № 10-2. - С. 295.
23. Кошелева, Е.А. Борохромирование - перспективный метод упрочнения деталей машин и инструмента / Е.А. Кошелева, М.А. Гурьев, О.А. Власова, С.Г. Иванов, А.М. Гурьев // В сборнике: Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств Гурьев А.М., Марков В.А. Сборник научных трудов X международной научно-практической конференции. – Барнаул. 2009. - С. 69-70.
24. Гурьев, А.М. Строение и свойства многокомпонентных боридных покрытий сталей / А.М. Гурьев, М.А. Гурьев, А.В. Русакова // В сборнике: VI сессия Научного совета РАН по механике Алтайский государственный технический университет

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ НА СТАЛИ У8, ПОЛУЧЕННОГО В СМЕСИ СОДЕРЖАЩЕЙ ФЕРРОХРОМ

им. И.И. Ползунова; Научные редакторы: Морозов Н.Ф., Старостенков М.Д. - 2012. - С. 56-58.

25.Иванов, С.Г. Интенсификация процессов поверхностного легирования изделий из железоуглеродистых сплавов / С.Г. Иванов, М.А. Гурьев, А.М. Гурьев, С.А. Земляков, А.Г. Иванов // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 9. С. 101-102.

26.Корнопольцев, В.Н. Способ применения алюмотермической реакции при хромировании стальных изделий в муфельных печах с воздушной атмосферой / В.Н. Корнопольцев, А.М. Гурьев // Ползуновский альманах. - 2010. - № 1. - С. 109-114.

27.Иванов, С.Г. Зависимость износостойкости сталей 45 и х12м от морфологии диффузионных покрытий / С.Г. Иванов, М.А. Гурьев, И.А. Гармаева, О.А. Власова, Т.Г. Иванова, Н.Г. Бильтриков, Е.А. Кошелева, А.М. Гурьев // Ползуновский альманах. - 2014. - № 2. - С. 137-143.

28.Гурьев, М.А. Исследование элементного состава боридного покрытия на сталях 45 И 45Л / М.А. Гурьев, Д.Л. Алонцева, С.Г. Иванов, И.А. Гармаева, А.М. Гурьев, А.А. Ситников // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2013. Т. 10. - № 3. - С. 437-442.

29.Иванов, С.Г. Микроструктура диффузионной зоны в железоуглеродистых сплавах после совмещенного поверхностного диффузионного насыщения бором и хромом / С.Г. Иванов, Т.Г. Иванова, М.А. Гурьев, Е.В. Черных, Н.Г. Бильтриков, А.М. Гурьев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2015. Т. 12. - № 2. - С. 223-226.

30.Гурьев, А.М. Диффузионные покрытия сталей и сплавов / А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, И.А. Гармаева // Вестник Алтайской государственной педагогической академии. - 2013. - С. 221.

Бутуханов Вячеслав Александрович¹ – инженер ЦКП

Лыгденов Бурьял Дондокович^{1,3} – д. т. н., профессор

Гурьев Алексей Михайлович^{2,3} – д. т. н., профессор

Мэй Шунчи³ – профессор

Цыдыпов Б.С. – аспирант

¹ ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (ВСГУТУ), г. Улан-Удэ, Россия

² ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), г. Барнаул, Россия

³ Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай