

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗ В БОРИДНОМ СЛОЕ НА СТАЛИ 45

В. И. Мосоров¹, Р. В. Базаров¹, Б. С. Цыдыпов¹, Б. Д. Лыгденов^{1, 2}

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

² Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай

В работе приведены данные по исследованию фазового состава диффузионного боридного слоя на среднеуглеродистой стали. Исследования показывают что, борированный слой глубиной 120 мкм имеет микротвердость до 22500 МПа. Механические испытания показывают перспективность использования борированных слоев в условиях сухого трения. При использовании деталей работающих в условиях динамических нагрузок, диффузионный слой выкрашивается. Поэтому необходимы исследования по повышению пластичности боридных покрытий.

Ключевые слова: диффузионный слой, фазовый состав, сталь, рентгено-структурный анализ

THE DISTRIBUTION OF PHASES IN THE BORIDE LAYER OF 45 STEEL

V. I. Mosorov¹, R. V. Bazarov¹, B. S. Tsydypov¹, B. D. Lygdenov^{1, 2}

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

² Wuhan Textile University, Wuhan, China

The paper presents data of investigation of the phase composition of the boride diffusion layer on a medium carbon steel. Studies show that borated layer depth of 120 μm has a microhardness of up to 22500 Psi. Mechanical tests show the promising use of borated layers in conditions of dry friction. When you use the details working in conditions of dynamic loads, the diffusion layer is painted. Therefore, research is required to improve the ductility of the boride coatings.

Ключевые слова: diffusion layer, phase composition, steel, x-ray structural analysis

Одним из методов повышения эксплуатационных свойств поверхности деталей машин и инструментов за счет изменения химического состава – является химико-термическая обработка (ХТО). Методы ХТО, изменяя диффузионным путем структуру поверхностного слоя, повышают прочность, износостойкость и теплостойкость инструментального материала за счет образования более устойчивых при нагреве соединений (карбидов, нитридов, боридов и др.) [1, 2, 4].

Наиболее распространенными методами диффузионного упрочнения являются цементация, нитроцементация и азотирование. Применяется также хромирование, силицирование, борирование и многокомпонентное насыщение поверхностных слоев несколькими химическими элементами. Необходимо отметить, что выбор способа упрочнения зависит от условий работы кон-

кретной детали. В данной работе рассматривается диффузионное борирование среднеуглеродистой стали.

Борирование – это процесс насыщения металлов и сплавов бором. Борирование проводят с целью повышения износостойкости (в условиях трения скольжения со смазкой или без нее, абразивного износа, фреттинг-коррозии и т. д. и т. п.), коррозионной стойкости железоуглеродистых сплавов во многих агрессивных средах и окислительной стойкости при температурах до 650 °С [2, 3].

Диффузионное борирование проводили на стали 45, по традиционной технологии. В качестве диффузанта содержащего компонента использовали карбид бора и в качестве активатора тетрафторборат калия. Перед использованием все компоненты просушивали, а карбид бора дополнительно прокаливали. Герметизация контейнера

обеспечивалась плавким затвором из борного ангидрида.

Металлографические исследования проводили на микроскопе НЕОРНОТ-21, а дюрометрические исследования проводили на микротвердомере ПМТ-3.

На среднеуглеродистой стали 45 при температуре 950°C в течение 3 часов сформировался диффузионный слой толщиной 350 – 450 мкм (рисунок 1). После проведения борирования слой имеет характерное игольчатое строение. Иглы боридов, срастаясь в основаниях, образуют сплошной слой боридов. Борированный слой состоит из двух зон: зоны боридов и переходной зоны. Зона боридов составляет 110 – 120 мкм, а переходная зона составляет 250 – 350 мкм.

Для фазового анализа диффузионного слоя, исследования проводились двумя методами: 1) методом электронной дифракционной микроскопии (ПЭМ) и 2) методом рентгеноструктурного анализа (РСА).

Следующие слои были просмотрены на больших расстояниях от поверхности борирования. С целью достижения большего объема информации исследования, как правило, глубины изучаемых слоев методами ПЭМ и РСА не совпадали.

Всю картину воздействия бора на структуру стали можно разделить на 4 слоя (таблица 1).

На рисунке 2 указана структура слоев по глубине материала и концентрация бора в них.

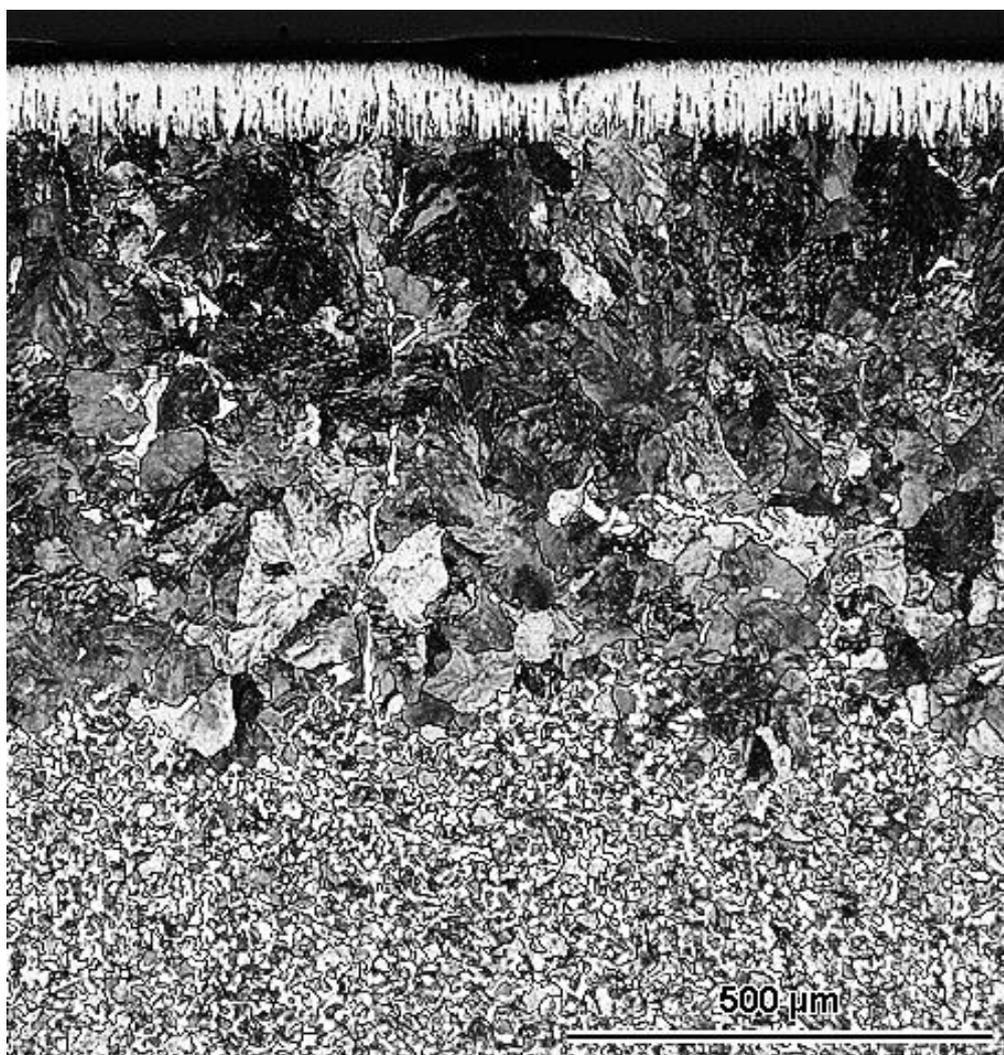


Рисунок 1 – Микроструктура стали 45 после диффузионного борирования

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗ В БОРИДНОМ СЛОЕ НА СТАЛИ 45

Таблица 1 – Фазы, наблюдаемые на различных глубинах методами ПЭМ и РСА

Типы слоев	Глубина (мкм)	Сталь 45	
		ПЭМ	РСА
Борированный слой	0 – 120	FeB+Fe ₈ B	FeB+Fe ₂ B
Промежуточный слой	200 – 500	-	α+FeB+Fe ₃ (C,B)
	500 – 1000	-	α
	1000 - 1400	α+Fe ₃ (C,B)	α+Fe ₃ (C,B)
Слой основного металла	3500	α+Fe ₃ C	

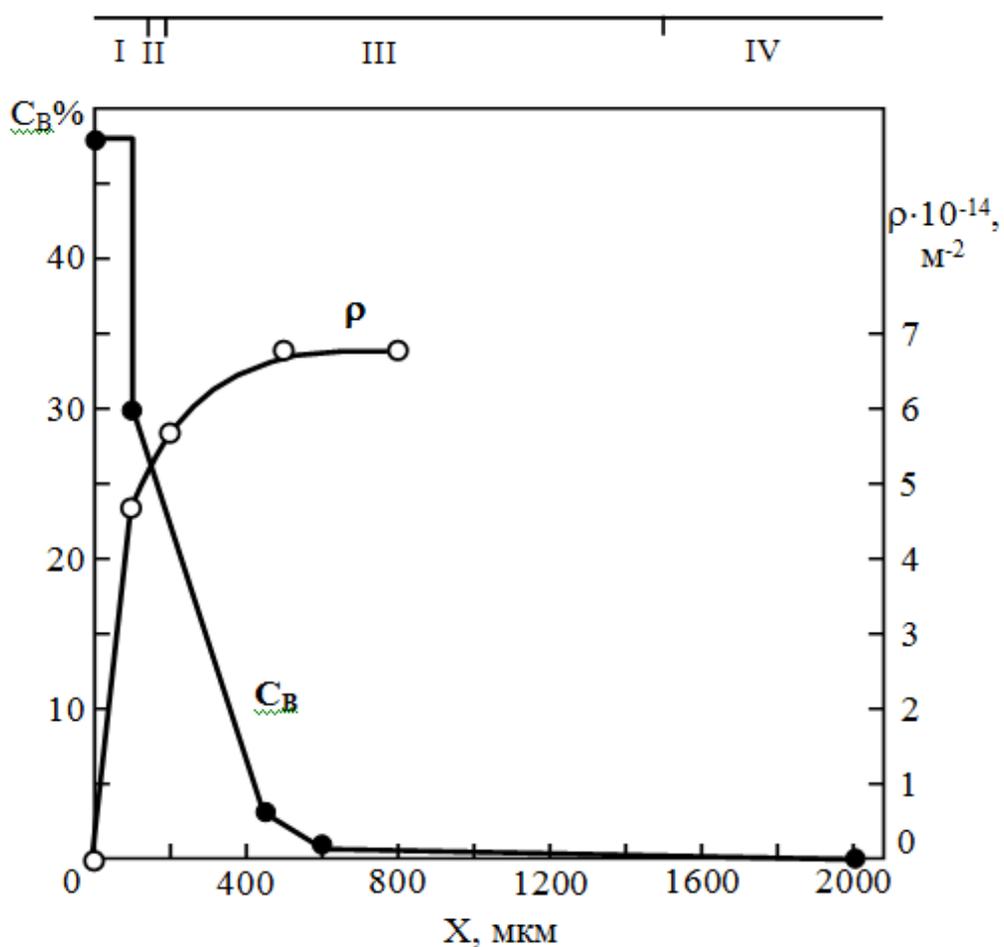


Рисунок 2 – Изменение концентрации бора (C_B) и скалярной плотности дислокаций (ρ) по мере удаления от борированной поверхности (X). Римскими цифрами отмечены границы слоев

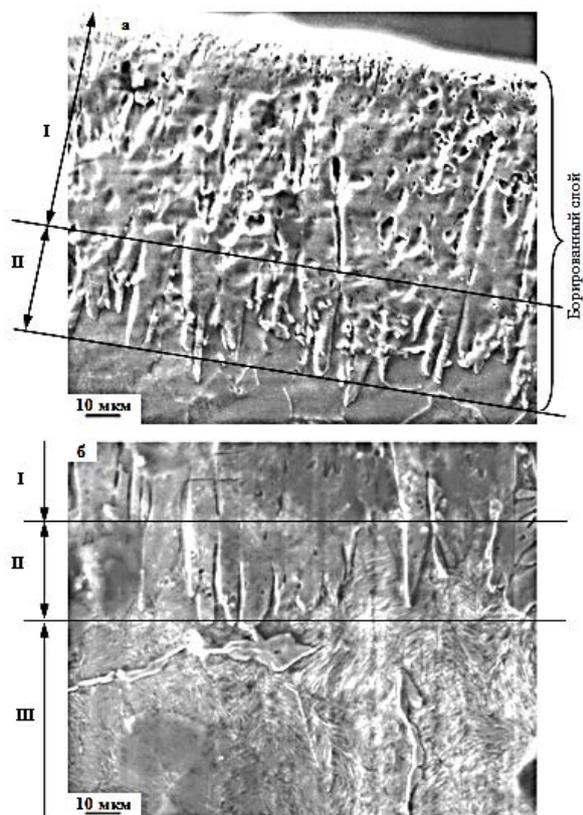


Рисунок 3 – Схема определения размера слоя

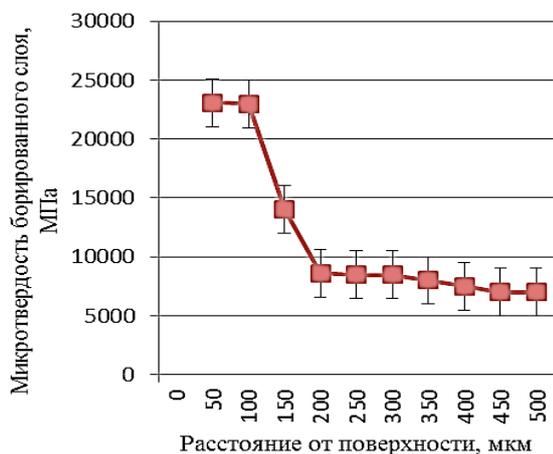


Рисунок 4 – Распределение микротвердости борированного слоя на стали 45

В слое I возникают только бориды железа, которые и составляют его структуру (рисунок 3 а, б), на котором приведен пример разделения на слои I и II.

В слое II наряду с боридами железа обнаруживается α -фаза, доля которой в этом слое постепенно возрастает и, тем не менее, к концу слоя её доля составляет не более 50 % от объема материала слоя. В слое III в отдельных местах еще встречаются бориды железа (рисунок 2), а также в значительных количествах возникают карбобориды $Fe_3(C,B)$ и $Fe_{23}(C,B)_6$, и морфология слоя кардинально изменяется. Поскольку бора поступает много, то объемная доля образующихся карбоборидов оказывается выше, чем карбидов. Нередко и размеры частиц также выше. В слое IV структура стали в основном сохраняется такой, какой она была в стали до борирования.

Основу слоев I и II составляют бориды, а именно, FeB , Fe_2B , Fe_8B , причем слой I состоит исключительно из этих боридов.

Микротвердость определяли с помощью прибора ПМТ-3, распределение микротвердости в зависимости от расстояния показано на рисунке 4. Максимальная микротвердость боридного слоя в пределах 22500 МПа.

Заключение: В работе исследована структура, фазовый состав, микротвердость борированного слоя на среднеуглеродистой стали. Исследования показывают что, борированный слой глубиной 120 мкм имеет микротвердость до 22500 МПа. Механические испытания показывают перспективность использования борированных слоев в условиях сухого трения. При использовании деталей работающих в условиях динамических нагрузок, диффузионный слой выкрашивается. Поэтому необходимы исследования по повышению пластичности боридных покрытий.

Список литературы

1. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л.С. Борирование стали.- М.: Металлургия, 1978. – 239 с.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник// Под ред. Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
3. Гурьев, М.А. Перспективные методы получения упрочняющих покрытий / М.А. Гурьев, Е.А. Кошелева, А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, О. Галаа. - Барнаул, - 2016.
4. Guriev, M.A. Promising techniques for acquisition of the reinforced surfaces./ M.A. Guriev, E.A. Kosheleva, A.M. Guriev, B.D. Lygdenov, O.Galaa, Barnaul, 2016
5. 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.

6. Бутуханов, В.А. Структура диффузионного покрытия В-СR-V / В.А. Бутуханов, Б.Д. Лыгденев, Н.Г. Бильтриков // Ползуновский альманах. - 2013. - № 2. - С. 8-10.

7. Лыгденев, Б.Д. Механизм формирования карбоборидной зоны на феррито-перлитной стали при борировании / Б.Д. Лыгденев, А.М. Гурьев, Э.Э. Мотошкин // Современные наукоемкие технологии. - 2006. - № 5. - С. 38.

8. Бутуханов, В.А. Диффузионные карбидные покрытия на стали У8А / В.А. Бутуханов, Б.Д. Лыгденев // Актуальные проблемы в машиностроении. - 2016. - № 3. - С. 414-418.

9. Бутуханов, В.А. Влияние состава насыщающих порошковых сред на структуру и свойства диффузионных карбидных слоев / В.А. Бутуханов, Б.Д. Лыгденев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2016. - № 2 (71). - С. 80-86.

10. 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.

11. Sizov, I.G. 'A study of thermocycling boroluminizing of carbon steel' / I.G. Sizov, U. L. Mishigdorzhiiyn, D.M. Maharov // Metal Science and Heat Treatment, - 2012, 53, (11-12), - 592-597

12. Sizov, I.G. Influence of thermocycle boroluminizing on strength of steel C30 / I.G. Sizov, U.L. Mishigdorzhiiyn, C. Leyens, B. Vetter, T. Furmann // Surface Engineering, - 2014, 30, (2), - 129-133.

13. 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

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. Иванов, С.Г. Хромирование сталей из насыщающих паст / С.Г. Иванов, А.М. Гурьев // Фундаментальные исследования. - 2006. - № 11. - С. 73.

18. Ivanov, S.G. Chromium coating of steels from saturating pastes / S.G. Ivanov, A.M. Guriev // Fundamental Research. - 2006. - № 11. - С.р.73.

19. Гурьев, А.М. Распределение атомов бора и углерода в диффузионном слое после борирования стали 08КП / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденев, В.И. Мосоров, Б.С. Инхеев // Современные наукоемкие технологии. - 2006. - № 5. - С. 35-36.

20. Гурьев, А.М. Термоциклическое борирование как метод повышения прочности инструментальных сталей / А.М. Гурьев, О.А. Власова, Б.Д. Лыгденев, И.А. Гармаева, А.М. Кириенко, С.Г. Иванов, Е.А. Кошелева // Ползуновский альманах. - 2007. - № 1-2. - С. 85.

21. Гурьев, А.М. Диффузионные покрытия сталей и сплавов / А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, И.А. Гармаева. - Барнаул. - 2013.

22. Лыгденев, Б.Д. Формирование диффузионного слоя на рабочей поверхности инструмента, работающего в условиях динамического износа / Б.Д. Лыгденев, А.М. Гурьев, Э.В. Козлов, В.А. Бутуханов, Ч. Чжу. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2015. Т. 58. - № 2. - С. 117-120.

23. 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. - Р. 49-53

24. 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.

25. 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.

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

27. 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.

28. 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.

29. 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. Бильтри-

ков, Е.А. Кошелева, А.М. Гурьев // Ползуновский альманах. - 2014. - № 2. - С. 137-143.

30. 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.

31. Guriev, M.A. Analysis of elemental composition of boride coating on steels 45 and 45L / M.A. Guriev, D.L. Alotseva, S.G. Ivanov, I.A. Garmayeva, A.M. Guriev, A.A. Sitnikov // Fundamental Problems of Modern of Materials Science. - 2013. Т. 10. - № 3. - pp.437-442.

32. 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.

33. 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.

34. Mei Shunqi, Lygdenov B., Huang J, Zheng W.L., Dong Y.J., Liu C., Butukhanov V. The microstructure and properties of the coating with vanadium borides on carbon steel by use of electron beam in vacuum treatment/ Proceeding of the 4th 2016 International Conference on Material Science and Engineering (ICMSE 2016). AER Advances Engineering Research. Т.101. 302-307 с.

35. Mei Shunqi, Dong Y.J., A.M. Guriev, Zheng W.L., Chao Liu., S.G. Ivanov, M.A. Guriev, T.G. Ivanova, E.V. Chernykh. Morphology and Wear Resistance of Multicomponent Diffusion Coatings/ Proceeding of the 4th 2016 International Conference on Material Science and Engineering (ICMSE 2016). AER Advances Engineering Research. Т.101. 308-313 с.

36. Бутуханов В.А., Грешилов А.Д., Лыгденов Б.Д., Отхонсо Г. Исследование процесса диффузионного насыщения в смеси, содержащей оксид ванадия и алюминия/Ползуновский вестник. 2012. № 1-1. С. 51-55.

37. Гурьев А.М., Ворошнин Л.Г., Хараев Ю.П., Лыгденов Б.Д., Черных Е.В. Циклическое тепловое воздействие при термической и химико-термической обработке инструментальных сталей/Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2005. Т. 2. № 3. С. 37-45.

38. Лыгденов Б.Д., Гармаева И.А., Попова Н.А., Козлов Э.В., Гурьев А.М., Иванов С.Г. Исследование фазового состава и дефектного состояния градиентных структур борированных сталей 20Л, 45, 55 и 5ХНВ/Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2012. Т. 9. № 4-2. С. 681-689.

39. Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М., Гармаева И.А. Влияние режимов борирования на упрочнение поверхности уплотнительного кольца из стали 40ХН2МА/Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2007. Т. 4. № 2. С. 90-93.

Мосоров Владимир Иванович¹ – к.т.н., доцент, зав. кафедрой

Базаров Ринчин Васильевич¹ – студент

Цыдыпов Булат Саянович¹ – аспирант

Лыгденов Бурьял Дондокович^{1,2} – д. т. н., профессор

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

² Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай