

химико-термической обработки; 2) использование электронно-лучевого нагрева непосредственно в процессе химико-термической обработки.

Боридные слои, полученные с использованием электронно-лучевой обработки в вакууме, имеют толщину многократно превышающую толщину покрытий, полученных традиционными методами борирования. При наплавке карбида бора с силой тока 60 мА толщина упрочненного слоя на стали У12 составляет 600 мкм, на стали 20 – 800 мкм. Фазы в поверхностном слое, формируемом при электронно-лучевом борировании, образуются в соответствии с диаграммой состояния Fe-V.

Микроструктура при электронно-лучевом борировании имеет явные преимущества перед микроструктурой слоя, полученного традиционным диффузионным борированием, имеющего ярко выраженное слоистое строение: вверху сплошной слой из моноборида FeV и расположенный под ним слой Fe₂V. Такое строение обуславливает ряд существенных недостатков, основным из которых является то, что твердость по слою меняется ступенчато, вследствие чего происходит скол высокотвердой и хрупкой фазы FeV в процессе эксплуатации изделия. Согласно принципу Шарпи, наиболее твердые структурные составляющие должны залегать в виде изолированных друг от друга включений, а наиболее вязкие – образовывать сплошную матрицу. Формирование слоев, удовлетворяющих данному требованию, возможно при применении электронно-лучевого борирования.

Список литературы

1. Андриевский, Р.А. Прочность тугоплавких соединений / Р.А. Андриевский, А.Г. Ланин, Г.А. Рымашевский – М.: Металлургия, - 1974. – 232 с.
2. Андриевский, Р.А. Фазы внедрения / Р.А. Андриевский, Я.С. Уманский – М.: Наука, - 1977. – 240 с.
3. Самсонов, Г.В. Физическое материаловедение карбидов / Г.В. Самсонов, Г.Ш. Циодхя, В.С. Нешпор – Киев: Наукова думка, - 1974. – 455 с.
4. Лыгденов, Б.Д. Особенности формирования структуры диффузионного слоя и разработка технологии упрочнения литых инструментальных сталей с учетом дендритной ликвации / Б.Д. Лыгденов, А.М. Гурьев, И.А. Гармаева, А.Ц. Мижитов, В.И. Мосоров // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. - 2006. - Т. 3 - № 3. - С. 84-86.
5. 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.

6. Лыгденов, Б.Д. Фазовые превращения в сталях с градиентными структурами, полученными химико-термической и химико-термоциклической обработкой: дис.... канд. техн. наук. - Новокузнецк, - 2004.

7. 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

8. Лыгденов, Б.Д. Термоциклирование. Структура и свойства / Б.Д. Лыгденов, Ю.П. Хареев, А.Д. Грешилов, А.М. Гурьев - Барнаул, - 2014.

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

10. Бутуханов, В.А. Применение металлотермического метода для получения ванадия и молибдена / В.А. Бутуханов, Б.Д. Лыгденов, И.А. Гармаева // *Ползуновский альманах*. - 2011. - № 4. - С. 72-74.

11. Гурьев, А.М. Интенсификация процессов химико-термической обработки металлов и сплавов / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, О.А. Власова // *Успехи современного естествознания*. - 2008. - № 8. - С. 48.

12. Лыгденов, Б.Д. Упрочнение поверхности штамповой оснастки из доэвтектидных сталей / Б.Д. Лыгденов, В.А. Бутуханов, Ш. Мэй, Б.Ш. Цыреторов // *Современные наукоемкие технологии*. - 2014. - № 4. - С. 76-79

13. Бутуханов, В.А. Диффузионное упрочнение сталей в насыщающей среде V+Al+V 4C / В.А. Бутуханов, Н.Г. Суханов, Б.Д. Лыгденов, О. Галаа // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. - 2013. Т. 10. - № 1. - С. 146-148

14. Бутуханов, В.А. Влияние металлотермических реакций на диффузионные процессы при химико-термической обработке / В.А. Бутуханов, Б.Ш. Цыреторов, Б.Д. Лыгденов // 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. 51-52.

15. Lygdenov, B.D. Phase composition of gradient structures on carbon steels after boronizing / B.D. Lygdenov, A.M. Guriev, V.A. Butukhanov, Sh. Mei, Q. Zhou // В сб.: *External fields processing and treatment technology and preparation of nanostructure of metals and alloys: Book of the International seminar articles*. Ed. by V. Gromov. - 2014. - С. 154-160.

16. Бутуханов, В.А. Структура диффузионного покрытия b-CR-V / В.А. Бутуханов, Б.Д. Лыгденов, Н.Г. Бильтриков // *Ползуновский альманах*. - 2013. - № 2. - С. 8-10.

17. Лыгденов, Б.Д. Интенсификация процессов химико-термической обработки при диффузионном титанировании. - Барнаул, 2006.

18. Гурьев, А.М. Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей /

Ползуновский альманах № 2 2015

ФОРМИРОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ СМЕСЕЙ, НАНЕСЕННЫХ НА СТАЛЬНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

**Б. Д. Лыгденов^{1,2}, В. А. Бутуханов², Мэй Шунчи¹,
Е. В. Черных³, И. А. Гармаева³**

¹ Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай

² Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ, Россия

³ Алтайский государственный технический университет,
г. Барнаул, Россия

Работа посвящена интенсификации процесса диффузионного насыщения за счет использования концентрированных источников нагрева. Применение концентрированных источников также позволяет уменьшить хрупкость борированных диффузионных слоев.

Ключевые слова: бориды, карбиды, электронно-лучевой нагрев, сталь

THE FORMATION OF THE DIFFUSION LAYER IN THE PROCESSING OF CONCENTRATED ENERGY SOURCES SUCH AS SURFACE-ACTIVE MIXTURES COATED ON THE STEEL SURFACE

**B. D. Lygdenov^{1,2}, V. A. Butukhanov², Mei Shunqi¹,
E. V. Chernykh³, I. A. Garmaeva³**

¹ Wuhan Textile University, Wuhan, China

² East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

³ Altai state technical University, Barnaul, Russia

The work is devoted to the intensification of the process of diffusion saturation by the use of concentrated heat sources. The use of concentrated sources also reduce the fragility of borated diffusion layers.

Ключевые слова: borides, carbides, electron beam heating, steel

Диффузионное насыщение поверхности железоуглеродистых сплавов бором позволяет увеличить срок службы различных деталей машин и инструментов. Однако, боридные слои, обладая высокой сопротивляемостью абразивному воздействию, не эффективны при динамических нагрузках вследствие высокой хрупкости. Это связано с тем, что диффузионные слои на основе боридов железа, формируемые при традиционных методах ХТО, содержат фазу Fe₂B и высокобористую фазу FeB, которая обладает повы-

шенными твердостью и хрупкостью. Проблема снижения хрупкости боридных покрытий решается в двух направлениях: создание диффузионных слоев с максимальным содержанием фазы Fe₂B вплоть до однофазных боридных покрытий; снижение хрупкости боридных покрытий за счет их легирования.

Применение электронно-лучевого нагрева возможно на разных стадиях формирования слоя: 1) обработка электронным пучком диффузионного слоя, предварительно сформированного одним из методов традиционной

ФОРМИРОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ
ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ СМЕСЕЙ,
НАНЕСЕННЫХ НА СТАЛЬНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, Б.Д. Лыгденов, С.А. Земляков, О.А. Власова, Е.А. Кошелева, М.А. Гурьев // патент на изобретение RUS 2345175 03.04.2007

19. Бутуханов, В.А. Диффузионное упрочнение штамповой оснастки / В.А. Бутуханов, Б.Д. Лыгденов, Б.Ш. Цыреторов // В сб.: Актуальные проблемы в машиностроении: материалы Первой международной научно-практической конференции. - 2014. - С. 459-466.

20. Lygdenov, B.D. Formation of the diffusion layer processing concentrated energy sources surface active mixtures deposited on the steel surface / B.D. Lygdenov, V.A. Butukhanov, Sh. Mei, E.V. Chernykh, I.A. Garmaeva // В сборнике: Effect of external influences on the strength and plasticity of metals and alloys Book of the International seminar articles. Edition in Chief: Professor Sc. D., Starostenkov M.D.. - 2015. - С. 59.

21. 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.

22. Особенности формирования диффузионного слоя при комплексном насыщении углеродистой стали бором и титаном / Б.Д. Лыгденов, А.М. Гурьев, Ш. Мэй, И.А. Гармаева // Успехи современного естествознания. - 2015. - № 1-7. - С. 1171-1173.

23. Лыгденов, Б.Д. Формирование диффузионного слоя при электронно-лучевом ванадировании / Б.Д. Лыгденов, В.А. Бутуханов, Е.В. Черных, И. Цзя // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2015. Т. 12. - № 1. - С. 57-61.

24. Гурьев, А.М. Совершенствование технологии химико-термической обработки инструментальных сталей Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты) / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, О.А. Власова // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2009. - № 1. - С. 14-15.

25. Лыгденов, Б.Д. Перспективные диффузионные покрытия / Б.Д. Лыгденов, А.М. Гурьев, В.И. Мосоров, В.А. Бутуханов // Lulu Press, Inc. Raleigh, North Carolina, USA, 2015. - С. 130.

Лыгденов Бурьял Дондокович^{1,2} – д. т. н., доцент², заведующий кафедрой «Металловедение и технологии обработки материалов»², профессор¹

Бутуханов Вячеслав Александрович² – инженер ЦКП

Мэй Шунчи¹ – профессор, декан факультета Машиностроения и автоматизации

Черных Евгения Владимировна³ – к. ф.-м. н., доцент, докторант

Гармаева Ирина Анатольевна³ – к.т.н., доцент, докторант

¹ Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай

² ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (ВСГУТУ), г. Улан-Удэ, Россия

³ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), г. Барнаул, Россия