

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ БОРИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НАГРЕВА ТОКАМИ ТВЧ

А. М. Гурьев^{1, 2}, М. А. Гурьев³, Б. Д. Лыгденов^{1, 4}, Б. С. Цыдыпов⁴

¹ Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай

² Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

³ ООО «Технологии упрочнения», г. Барнаул, Россия

⁴ Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ, Россия

Проведены исследования по использованию технологии одновременного диффузионного насыщения бором, хромом и титаном рабочей поверхности наружной обоймы шарикоподшипника. Показана возможность формирования диффузионных покрытий на основе бора в условиях ТВЧ-нагрева за время, составляющее 3 – 5 минут. Сформированные в условиях скоростного ТВЧ-борирования покрытия имеют гладкую границу контакта с основным материалом, в то время как покрытия, получаемые традиционным способом, имеют игольчатую границу. Необходимы дальнейшие работы по оптимизации параметров технологического процесса ТВЧ-борирования с целью формирования диффузионных покрытий с игольчатой формой границы контакта и исключения трещин.

Ключевые слова: борирование, упрочнение, сталь, диффузия, ТВЧ-нагрев

DEVELOPMENT OF HIGH-SPEED TECHNOLOGY BORATINGS IN THE CONDITIONS OF HEATING BY HFC CURRENTS

A. M. Guriev^{1, 2}, M. A. Guriev³, B. D. Lygdenov^{1, 4}, B. S. Tsydypov⁴

¹ Wuhan Textile University, Wuhan, China

² Altai State Technical University, Barnaul, Russia

³ LLC «Technologies of hardening», Barnaul, Russia

⁴ East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

Studies were carried out on the technology of simultaneous diffusion saturation with boron, chromium and titanium of the working surface of the ball bearing outer race. The possibility of forming diffusion coatings on the basis of boron under conditions of high-frequency heating for a time of 3 – 5 minutes is shown. The coatings formed under conditions of high-speed HF boriding have a smooth boundary of contact with the base material, while coatings obtained in the traditional way have a needle-like boundary.

Ключевые слова: borating, hardening, steel, diffusion, HF heating

Процессы диффузионного поверхностного насыщения металлов и сплавов в силу своей физической природы относятся к числу достаточно длительных. Поэтому одной из актуальных задач современного материаловедения является поиск возможностей и способов сокращения времени процессов диффузии одновременно с получением требуемого результата.

Одним из способов, позволяющих в значительной степени сократить как время термической обработки [1 – 5], так и время химико-термической обработки (ХТО) является использование ТВЧ [6 – 10]. Однако одной из основных проблем при использовании ТВЧ для термической обработки является сложность контроля скорости и температуры нагрева в процессе ТВЧ-обработки.

В настоящей работе проведены исследования по использованию технологии одновременного диффузионного насыщения

бором, хромом и титаном [11 – 18] рабочей поверхности наружной обоймы шарикоподшипника.



Рисунок 1 – Панорамное изображение упрочненной обоймы подшипника x 50

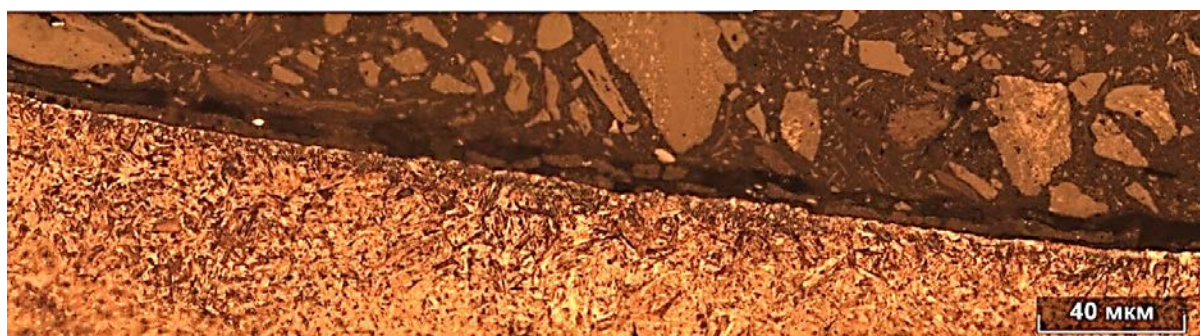


Рисунок 2 – Микроструктура диффузионного покрытия x 500

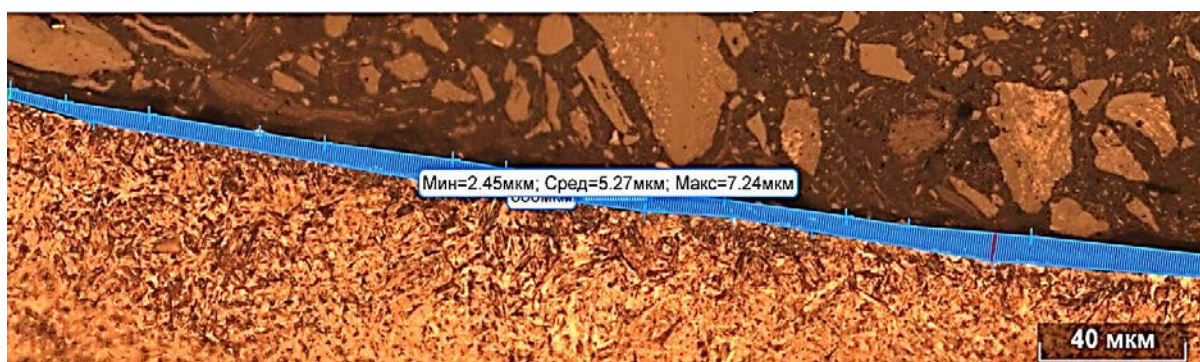


Рисунок 3 – Толщина диффузионного покрытия, измеренная методом линий

Процесс насыщения был разработан таким образом, чтобы при длительности ТВЧ-нагрева, не превышающей 3 минут получить диффузионное покрытие с толщиной не более 15 мкм, сформированное в режиме «твердофазной диффузии». При этом для

придания необходимых технологических и механических свойств основному металлу после нагрева ТВЧ необходима закалка.

В результате расчета и моделирования оптимальных параметров процесса в программном пакете «Statistica» [19 – 25], были

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ БОРИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НАГРЕВА ТОКАМИ ТВЧ

приняты следующие параметры: удельная мощность – 60 – 80 кВт/см², температура ХТО – 1150 – 1350 °С, время термической обработки, включающее нагрев до температуры ХТО и последующая выдержка – 3 минуты, закалочная среда – вода с температурой 18 – 30 °С, охлаждение непосредственно с температуры насыщения посредством спрейера, установленного непосредственно за индуктором. Панорамное изображение поперечного шлифа упрочненной по разработанной технологии, представлено на рисунке 1. Как видно из представленного рисунка, толщина термообработанной зоны составляет от 3 до 5 мм. В верхней части упрочненной обоймы заметна трещина, начинающаяся с упрочненной поверхности и уходящая вглубь металла, общая длина трещины составляет 1,9 мм.

Микроструктура полученного диффузионного слоя и его измеренная толщина представлены соответственно на рисунках 2 и 3.

Как видно из рисунков 2 и 3, сформированное в условиях ТВЧ-нагрева диффузионное покрытие имеет отличную от традиционных боридных покрытий морфологию [26 – 30]. Толщина полученного покрытия колеблется от 2,5 до 7,2 мкм, толщина переходной зоны – от 40 до 60 мкм соответственно. Кроме того, в результате того, что граница контакта между покрытием и основным материалом имеет гладкий вид, покрытие склонно к отслаиванию под действием касательных напряжений.

Выводы:

1. В результате химико-термической обработки в условиях ТВЧ-нагрева возможно формирование диффузионных покрытий за время, в десятки раз меньшее, чем это требуется при нагреве в условиях традиционного печного нагрева.

2. Сформированные в условиях скоростного ТВЧ-борирования покрытия имеют гладкую границу контакта с основным материалом, в то время как покрытия, получаемые традиционным способом, имеют игольчатую границу.

3. Необходимы дальнейшие работы по оптимизации параметров технологического процесса ТВЧ-борирования с целью формирования диффузионных покрытий с игольчатой формой границы контакта и исключения трещин.

Список литературы

1. Гурьев, А.М. Влияние параметров борирования на структуру стали и физико-механические свойства диффузионного слоя / Гурьев А.М., Иванов С.Г., Лыгденов Б.Д., Власова

О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А., Гармаева И.А. // Ползуновский вестник. – 2007. – № 3. – С. 28-34.

2. Иванов, С.Г. Фазовые превращения и структура комплексных боридных покрытий / Иванов С.Г., Гармаева И.А., Андросов А.П., Зобнев В.В., Гурьев А.М., Марков В.А. // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1-1. – С. 106-108.

3. Гурьев, М.А. Комплексное диффузионное упрочнение тяжелонагруженных деталей машин и инструмента / Гурьев М.А., Иванов С.Г., Кошелева Е.А., Иванов А.Г., Грешилов А.Д., Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Околович Г.А. // Ползуновский вестник. – 2010. – № 1. – С. 114-121.

4. Гурьев, А.М. Диффузионные покрытия сталей и сплавов / Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гармаева И.А. – Барнаул, 2013. – 221 с.

5. Структурно-фазовые состояния перспективных металлических материалов / Багмутов В.П., Белов Е.Г., Божко И.А., Будовских Е.А., Ващук Е.С., Власова О.А., Викарчук А.А., Вострецова А.В., Громов В.Е., Громова А.В., Гун Г.С., Гурьев А.М., Данилов В.И., Дмитриев С.В., Ефимов О.Ю., Ерошенко А.Ю., Зуев Л.Б., Иванов Ю.Ф., Иванов С.Г., Иванова О.В. и др. Отв. ред. Громов В.Е. - Новокузнецк, 2009.

6. Зобнев, В.В. Технологические основы создания износостойкого инструмента / Зобнев В.В., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Марков А.М. // Ползуновский альманах. – 2012. – № 1. – С. 271-273.

7. Ivanov, S.G. Features of multicomponent saturation alloyed by steels / Ivanov S.G., Garmaeva I.A., Guriev M.A., Guriev A.M., Starostenkov M.D. Lecture Notes in Control and Information Sciences. // 2015. – Т. 22. – С. 49-53.

8. Иванов, С.Г. Особенности кинетики диффузионного насыщения углеродистых сталей бором и хромом / Иванов С.Г., Гурьев А.М., Бильтриков Н.Г., Кошелева Е.А., Иванова Т.Г., Левченко А.А. // Ползуновский альманах. – 2013. – № 2. – С. 157-160.

9. Зобнев, В.В. Упрочнение рабочих поверхностей стальных деталей наплавочным материалом на основе борида железа / Зобнев В.В., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Черных Е.В., Гурьев А.М., Марков А.М. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2014. – Т. 11. – № 3. – С. 398-401.

10. Хараев, Ю.П. Предварительная термоциклическая обработка быстрорежущих сталей для литого металлорежущего инструмента / Хараев Ю.П., Гурьев А.М., Земляков С.А., Иванов С.Г., Баянова Е.Э. // Ползуновский альманах. – 2004. – № 4. – С. 70-71.

11. Гурьев, А.М. Механизм образования боридных игл при диффузионном комплексном борировании из насыщающих обмазок / Гурьев А.М., Иванов С.Г., Грешилов А.Д., Земляков С.А. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2011. – № 3. – С. 34-40.

12. Гурьев, А.М. Механизм диффузии бора, хрома и титана при одновременном многокомпонентном насыщении поверхности железоуглеродистых сплавов / Гурьев А.М., Иванов С.Г. // Фун-

даментальные проблемы современного материаловедения. – 2011. – Т. 8. – № 3. – С. 92-96.

13. Гурьев, А.М. Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей / Гурьев А.М., Иванов С.Г., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. // патент на изобретение RUS 2345175 03.04.2007

14. Иванов, С.Г. Комплексное насыщение сталей бором и хромом-борохромирование / Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Власова О.А., Гурьев М.А. // Ползуновский альманах. – 2008. – № 3. – С. 53-54.

15. Гурьев, М.А. Анализ влияния природы легирующих элементов в высоколегированных сталях на процессы комплексного многокомпонентного диффузионного борирования / Гурьев М.А., Гурьев А.М., Иванов А.Г., Иванов С.Г. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. // 2010. – № 5. – С. 155-157.

16. Иванов, С.Г. Исследование процессов диффузионного насыщения сталей из смесей на основе карбида бора / Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Власова О.А., Гурьев М.А. // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – № 3. – С. 33.

17. Гурьев, А.М. Способ упрочнения деталей из штамповых сталей / Гурьев А.М., Иванов С.Г., Земляков С.А., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. // патент на изобретение RUS 2360031 18.07.2007

18. Власова, О.А. Оптимизация многокомпонентной химико-термической обработки стали 30X / Власова О.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Чех С.А. // Современные наукоемкие технологии. 2008. – № 3. – С. 32.

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

20. Кошелева, Е.А. Оптимизация химического состава насыщающих смесей при диффузионном борировании инструментальных сталей / Кошелева Е.А., Гурьев А.М. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2009. – № 5. – С. 76-77.

21. Лыгденов, Б.Д. Термоциклирование. Структура и свойства / Лыгденов Б.Д., Хараев Ю.П., Грешилов А.Д., Гурьев А.М. - Барнаул, 2014. – 158 с.

22. Гурьев, А.М. Исследование процессов диффузии в стали при циклическом тепловом воздействии / Гурьев А.М., Хараев Ю.П., Гурьева О.А., Лыгденов Б.Д. Современные проблемы науки и образования. – 2006. – № 3. – С. 65-66.

23. Гурьев, А.М. Интенсификация процессов химико-термической обработки металлов и сплавов / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Власова О.А. // Фундаментальные исследования. – 2008. – № 8. – С. 10.

24. Гармаева, И.А. Исследование влияния различных факторов при борировании на механические свойства стали с применением математической модели / Гармаева И.А., Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М., Власова О.А. Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. – № 10. – С. 30-32.

25. Гурьев, А.М. Термоциклическое борирование как метод повышения прочности инструментальных сталей / Гурьев А.М., Власова О.А., Лыгденов Б.Д., Гармаева И.А., Кириенко А.М., Иванов С.Г., Кошелева Е.А. // Ползуновский альманах. – 2007. – № 1-2. – С. 85-88.

Гурьев Алексей Михайлович^{1, 2} – д. т. н., профессор

Гурьев Михаил Алексеевич³ – к. т. н.

Лыгденов Бурьял Дондокович^{1, 4} – д. т. н., профессор

Цыдыпов Булат Саянович⁴ – аспирант

¹ Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай

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

³ ООО «Технологии упрочнения», г. Барнаул, Россия

⁴ ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (ВСГУТУ), г. Улан-Удэ, Россия