

ДИФФУЗИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЕЙ БОРОМ СОВМЕСТНО С ХРОМОМ, ВОЛЬФРАМОМ И ТИТАНОМ

**А. М. Гурьев^{1, 2}, Б. Д. Лыгденов^{1, 3}, М. А. Гурьев²,
И. А. Гармаева³, Мэй Шунчи¹, Е. А. Кошелева²**

¹ Уханьский текстильный университет, Ухань, Китай

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

³ Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
Улан-Удэ, Россия

Проведены комплексные исследования структуры и свойств образцов сталей и чугуна различного состава после процессов совместного насыщения бором и другими элементами. Изучены структура, фазовый и химический состав полученных диффузионных слоев.

Ключевые слова: бор, титан, упрочнение, диффузия, химико-термическая обработка

DIFFUSION HARDENING OF THE SURFACE BY STEEL BORON TOGETHER WITH CHROME, TUNGSTEN AND TITANIUM

**A. M. Guriev^{1, 2}, B. D. Lygdenov^{1, 3}, M. A. Guriev²,
I. A. Garmaeva³, Мэй Шунчи¹, E. A. Kosheleva²**

¹ Wuhan Textile University, Wuhan, China

² Altai State Technical University, Barnaul, Russia

³ East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

Complex researches of structure and properties of exemplars steels and cast iron of various structure after processes of collateral saturation are conducted by boron and other elements. The structure, phase and chemical composition of the received diffusion layers are studied.

Keywords: boron, titanium, hardening, diffusion, chemical heat treatment

Во многих областях науки и техники в последнее время все большее внимание уделяется методам поверхностного упрочнения сталей. В процессе эксплуатации деталей машин и инструмента наиболее интенсивным внешним воздействиям подвергаются их поверхностные слои, поэтому нередко структура и свойства именно поверхностных слоев оказывают определяющее влияние на работоспособность изделий в целом. Следует так же отметить, что эта тенденция обусловлена еще и проблемой экономии стратегических металлов (хром, кобальт, вольфрам, марганец, ванадий, молибден, ниобий, металлы платиновой группы) и перехода к массовому потреблению экономно-легированных сталей.

Существует множество способов упрочнения поверхности сталей и сплавов: напыление, лазерное упрочнение, наплавка,

накатка, применение различных технологий нанесения покрытий. Однако применение таких технологий требует использования сложного, часто уникального, дорогостоящего и энергоёмкого оборудования, дорогостоящих упрочняющих сплавов, высококвалифицированного персонала. Поэтому особый интерес представляет разработка новых высокоэффективных методов упрочнения деталей машин и инструмента за счет диффузионного насыщения поверхности металлов и сплавов различными химическими элементами, метод химико-термической обработки (ХТО).

Широко используемая традиционная ХТО требует большого расхода электроэнергии в связи с длительностью высокотемпературных диффузионных процессов, хотя и повышает износостойкость инструмента, а это приводит к повышению стоимости изделия. Одним из

наиболее перспективных методов ХТО является диффузионное борирование, которому принадлежит лидерство в повышении таких свойств материалов как износостойкость, теплостойкость и твердость поверхности. Ряд исследований воздействия насыщающих сред в виде обмазок при ХТО показал, что использование соединений бора с хромом в качестве добавки к карбиду бора, значительно увеличивает срок службы деталей машин и инструмента. Борирование, хромирование, титанирование и совмещенные процессы (борохромирование, боротитанирование и боровольфраммирование) эффективнее, чем традиционно используемые цементация, азотирование и др. практически по всем параметрам свойств поверхностных слоев материала. Боридные слои на сталях отличаются высокой износостойкостью, хромирование придает жаростойкость, а комбинированные покрытия совмещают в себе исходные свойства однокомпонентных. Работоспособность борохромированных слоев почти в два раза выше, чем борированных. Однако, известные методы получения таких упрочняющих покрытий несовершенны и достаточно трудоемки.

Процессы многокомпонентного насыщения позволяют сформировать многофазную структуру поверхностного слоя, обладающего комплексом полезных свойств. В ряде случаев ХТО является единственно возможным способом получения требуемых эксплуатационных свойств не только поверхности, но и изделия в целом. Более того, химико-термической обработкой можно получать такое сочетание свойств упрочненного изделия, которое другими методами получить невозможно. В этом случае ХТО можно рассматривать не как определенную операцию изготовления детали, а как метод получения принципиально нового конструкционного материала. Многокомпонентное насыщение разными элементами или насыщение ими наружной и внутренней поверхности изделия дает возможность создавать многослойные композиционные материалы с уникальными свойствами.

В настоящей работе изучали процессы упрочнения сталей и чугуна различного состава. Провели комплексные исследования структуры и свойств образцов после процессов совместного насыщения бором и другими элементами. Химико-термическую обработку проводили из насыщающих обмазок (паст) на основе карбида бора, нанесенных на поверхность упрочняемых изделий и образцов. В качестве добавок использовали как чистые металлы, так и их соединения (оксиды, кар-

биды, бориды). Изучали структуру, фазовый и химический состав полученных диффузионных слоев. Металлографическое исследование проводили на оптических микроскопах и методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) на электронном растровом микроскопе JSM-6510 LV JEOL с системой микроанализа INCA Energy 350, Oxford Instruments, просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на электронном микроскопе ЭМ-125К и атомно-силовой микроскопии (АСМ) на микроскопе «FEMTOSKAN» в режиме сканирования рельефа поверхности. Механические свойства определяли по стандартным методикам. Износостойкость определяли в лабораторных условиях на машине Амслера по ГОСТ 47421-73. ДюрOMETрические исследования производили на твердометре Роквелла ТР 5005 согласно ГОСТ 9013-82 и на приборе ПМТ-3М по ГОСТ 9450-76.

Проведено борохромирование быстрорежущей стали Р6М5 из насыщающей обмазки на основе карбида бора. В результате анализа структуры поперечных микрошлифов исследуемых образцов была показана принципиальная возможность упрочнения вольфрам и молибденсодержащих быстрорежущих сталей из насыщающих обмазок на основе карбида бора.

Показано, что при насыщении поверхности бором и хромом, по разработанной авторами технологии, на стали образуется диффузионный слой толщиной 20 – 50 мкм. Слой имеет характерное для боридных слоев игольчатое строение. В силу того, что сталь Р6М5 является высоколегированной и имеет сложный химический состав, боридные иглы имеют закругленные концы и значительный диаметр. Между иглами заметно выделение различных фаз, преимущественно карбоборидов сложного состава на основе хрома, молибдена и вольфрама (рисунок 1).

Исследования показали, что при борохромировании химический состав претерпевает значительные изменения в направлении от поверхности вглубь. Так, содержание бора изменяется от 22,67 % на поверхности слоя до 7,35 % на глубине 80 мкм. Содержание вольфрама, молибдена, хрома и углерода – соответственно от 6,68 до 6,41; 5,10 – 5,32; 7,25 – 4,27 и 0,12 – 0,84. Причем на глубине около 30 мкм, где проходит граница между слоем сплошных боридов и переходной зоной химический состав изменяется наиболее кардинально - содержание таких элементов как В, С, W, Мо, V, Cr находится соответственно на уровне 16,49; 1,83; 5,63; 4,81; 1,86; 4,68 %.

ДИФфуЗИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЕЙ БОРОМ СОВМЕСТНО С ХРОМОМ, ВОЛЬФРАМОМ И ТИТАНОМ

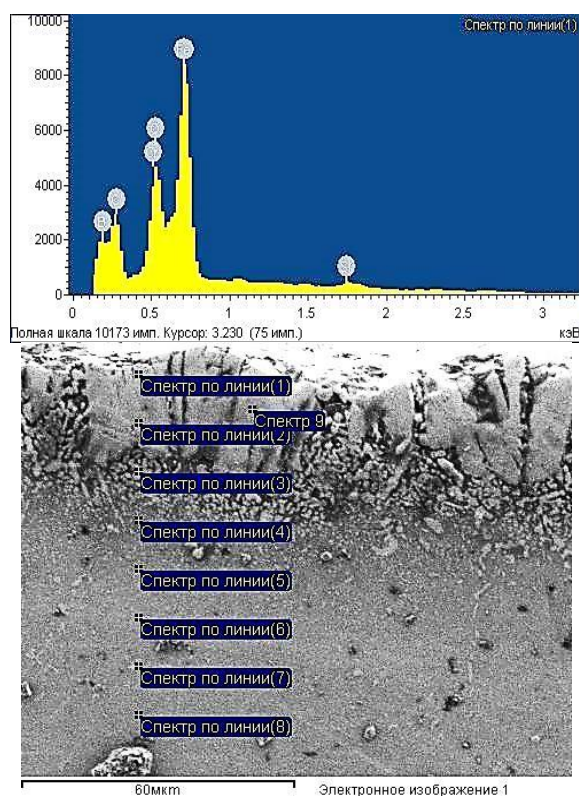


Рисунок 1 – Строение борохромированного слоя на стали Р6М5

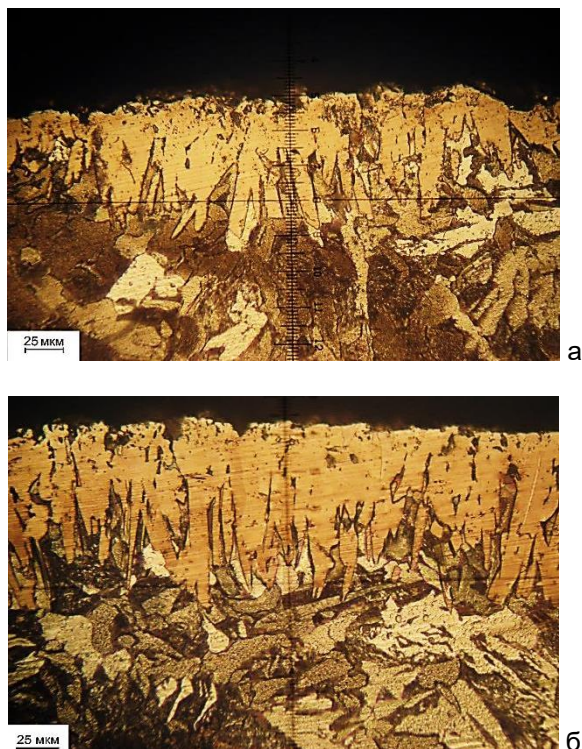


Рисунок 2 – Микроструктура диффузионного слоя на стали Ст3: а) борвольфрамирование; б) борирование

Испытания на износостойкость в лабораторных условиях показали 2,5 кратный рост ресурса работы упрочненного изделия по сравнению с неупрочненным при нагрузке вплоть до 40 МПа/мм². Однако при нагрузках, превышающих эту величину, происходит продавливание упрочненного слоя и снижение износостойкости упрочненного изделия до значений в 1,5 – 2 раза меньших, чем у неупрочненной детали. Это объясняется тем, что в процессе диффузионного насыщения под упрочненным боридным слоем образуется переходная зона со значительно меньшей твердостью. При больших нагрузках происходит продавливание мягкого слоя разрушающимися более твердыми кристаллами боридов, а образовавшиеся в результате разрушений их мелкие осколки, как абразив, значительно ускоряют износ. Поэтому для деталей испытывающих при работе нагрузки, превышающие 40 МПа/мм² необходимо проводить закалку изделия непосредственно от температуры диффузионного насыщения. В этом случае переходная зона упрочняется и продавливания боридного слоя не наблюдается.

При введении в смесь для борирования вольфрама, либо его соединений (карбидов или оксидов) структура диффузионного слоя по сравнению с борированием изменяется: боридные иглы становятся толще и по большей части закругляются (рисунок 2). Часть игл при этом начинает расти под углом к поверхности образца, по границам бывших зерен. Количество высокобористой фазы незначительно возрастает, так как вольфрам способствует ее образованию. Наряду с этим добавка вольфрама в насыщающую смесь увеличивает хрупкость низкобористой фазы Fe₂B. Усредненная толщина образующегося боридного слоя в случае борвольфрамирования составляет порядка 20 мкм, что 3 – 3,5 раза меньше, чем при однокомпонентном борировании. Существенные изменения в случае борвольфрамирования с применением в качестве инертной добавки углерода претерпевают переходная зона и сердцевина образца. Исчезает видманштеттова структура, количество перлита увеличено по сравнению с количеством, характерным для равновесной структуры этой стали.

При испытаниях на износостойкость при абразивном износе при удельной нагрузке 40 МПа/мм² оба покрытия на стали Ст3 показывают примерно одинаковый результат, при нагрузке выше 40 МПа/мм² лучший результат показывает бор-никелевое покрытие, за счет большей толщины. Характер износа бор-

никелевого покрытия – микровыкрашивание, аналогичный характер износа наблюдается при испытании бор-вольфрамового покрытия, однако в силу его более высокой хрупкости микротрещины формируются задолго до выкрашивания. При адгезионном износе лучший результат показало бор-вольфрамовое покрытие, очагов схватывания на нем обнаружено не было. Это можно объяснить тем, что в месте контакта покрытия и контртела повышения температуры было достаточно для окисления покрытия и образовавшиеся окислы выступили в роли твердой смазки.

Были также проведены испытания бор-вольфрамового и бор-никелевого покрытия на стали Ст3 на коррозионную стойкость. Стойкость обоих покрытий в 20 % растворе NaCl оказалась одинаковой, следов коррозии не обнаружено при выдержке образцов в течение 3 суток. При замене раствора поваренной соли на 10 % раствор NaOH на бор-вольфрамовом покрытии были обнаружены незначительные следы питтинговой коррозии, однако зафиксировать потерю массы не удалось, на бороникелевом покрытии следов коррозии не обнаружено. При испытании этих покрытий в 15 % водных растворах кислородсодержащих минеральных кислот (H_2SO_4 и HNO_3) наибольшую стойкость показало бор-вольфрамовое покрытие – потеря массы на нем составила в среднем в 1,5 раза меньше. Однако в растворе соляной кислоты наибольшую стойкость показало покрытие на основе бора и никеля – следов коррозии на нем не было обнаружено при изменении концентрации в пределах 3 – 15 %.

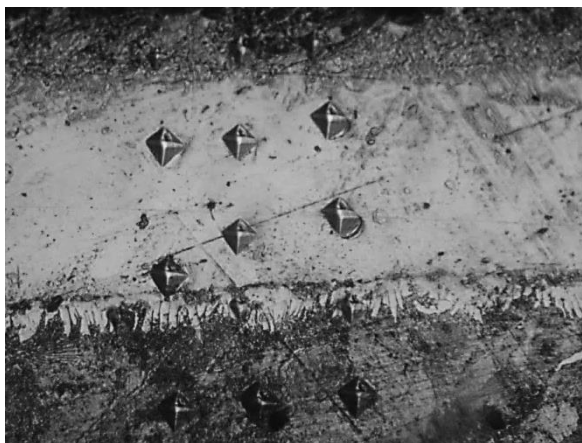


Рисунок 3 – Микроструктура боротитанированного слоя на стали У8 при температуре насыщения 1000 °С. Толщина слоя 120 мкм (х 400)

Исследование совместного насыщения бором и титаном показало, что в первоначальный период насыщения наблюдается активная диффузия бора в глубь металла, а в последующем идет рост диффузионного слоя за счет наращивания атомами титана. В промежутке между этими слоями, согласно дюрометрических измерений, обнаруживается подслой с достаточно низкой микротвердостью (рисунок 3). Установлено, что это обезуглероженные соединения железа с титаном. Бор оттесняет углерод в глубь металла, а титан, наоборот, вытягивает его, поэтому происходит образование «мягкой сердцевин», которая способствует лучшей притирке сопряженных поверхностей. В связи с этим можно заключить, что комплексное насыщение бором и титаном на основе карбида бора и окиси титана является перспективным методом повышения эксплуатационных свойств деталей машин. Следует также отметить, что особую роль при этом играет мягкая сердцевина диффузионного слоя.

Список литературы

1. Ворошнин, Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов. - Минск: Беларусь, 1981. - 205 с.
2. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Физические основы термоциклического борирования. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. - 216 с.
3. Гурьев, А.М. Особенности формирования диффузионного слоя при термоциклическом борировании углеродистой стали / Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. / В кн.: Эволюция дефектных структур в конденсированных средах.: Сб. тезисов докладов 5-ой Международной школы-семинара. - 2000. - С. 149-150.
4. Лыгденов, Б.Д. Влияние состава насыщающей среды на структуру и свойства диффузионного слоя при титанировании сталей / Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М. // Известия высших учебных заведений. - Физика. - 2000. - Т. 43. - № 11. - С. 269.
5. Гурьев, А.М. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом борировании феррито-перлитной стали / Гурьев А.М., Козлов Э.В., Жданов А.Н., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. // Известия высших учебных заведений. - Физика. - 2001. - № 2. - С. 58.
6. Gur'ev, A.M. Transformation of the phase composition and the mechanism of transition region structuring in a ferrite-pearlite steel subjected to thermal-cycling borating / Gur'ev A.M., Kozlov E.V., Zhdanov A.I., Ignatenko L.I., Popova I.A. // Russian Physics Journal. - 2001. - Т. 44. - № 2. - С. 183-188.
7. Guriev, A.M. Transition zone forming by different diffusion techniques in borating process of ferrite-pearlite steels under the thermocyclic conditions / Guriev A.M., Kozlov E.V., Lygdenov B.D., Kirienko

ДИФфуЗИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЕЙ БОРОМ СОВМЕСТНО С ХРОМОМ, ВОЛЬФРАМОМ И ТИТАНОМ

А.М., Chernyh E.V. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2004. - Т. 1. - № 2. - С. 54-60.

8. Гурьев, А.М. Термоциклическое и химико-термоциклическое упрочнение сталей / Гурьев А.М., Ворошнин Л.Г., Хараев Ю.П., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Гурьева О.А., Колядин А.А., Попова О.В. // Ползуновский вестник. - 2005. - № 2-2. - С. 36-43.

9. Гурьев, А.М. Диффузионное термоциклическое упрочнение поверхности стальных изделий бором, титаном и хромом / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Иванов С.Г., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гармаева И.А., Гурьев М.А. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2007. - Т. 4. - № 1. - С. 30-35.

10. Гурьев, А.М. Влияние параметров борохромирования 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.

11. Власова, О.А. Повышение прочности диффузионных карбоборидных покрытий термоциклированием в процессе их получения / Власова О.А., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Кошелева Е.А., Гурьев А.М. // В сб.: Наука и молодежь - 2007 (НИМ - 2007) Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Наука и молодежь - 2007" (НИМ-2007). - 2007. - С. 110-112.

12. 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.

13. Гурьев, А.М. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Попова Н.А., Козлов Э.В. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - 250 с.

14. Ворошнин Л.Г. Перспективы развития химико-термической обработки // Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. №1. С. 5 - 8.

15. Гурьев, А.М. Новый способ диффузионного термоциклического упрочнения поверхностей железоуглеродистых сплавов / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Иванов С.Г., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А., Земляков С.А. // Ползуновский альманах. - 2008. - № 3. - С. 10-16.

16. Гурьев, А.М. Фазовый состав и механизм образования диффузионного слоя при борировании сталей в условиях циклического теплового воздействия / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Власова О.А., Иванов С.Г., Козлов Э.В., Гармаева И.А. // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2008. - № 1. - С. 20-27.

17. 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.

18. Кошелева, Е.А. Оптимизация химико-термоциклической обработки стали 30Х / Кошеле-

ва Е.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Власова О.А., Бруль Т.А. // Фундаментальные исследования. - 2008. - № 2. - С. 108-109.

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

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. Гурьев, А.М. Многокомпонентное диффузионное упрочнение поверхности деталей машин и инструмента из смесей на основе карбида бора / Гурьев А.М., Грешилов А.Д., Кошелева Е.А., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванов А.Г., Долгоров А.А. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). - 2010. - № 2. - С. 19-23.

26. 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.

27. Гурьев, А.М. Структура и свойства упрочненных бором и бором совместно с титаном поверхности штамповых сталей 5ХНВ и 5Х2НМВФ / Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванов А.Г., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Долгоров А.А. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2010. - Т. 7. - № 1. - С. 27-31.

28. 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.

29.Гурьев, М.А. Упрочнение литых сталей поверхностным легированием из борсодержащих обмазок / Гурьев М.А., Иванов А.Г., Иванов С.Г., Гурьев А.М. // Успехи современного естествознания. - 2010. - № 3. - С. 123.

30.Влияние добавок легирующих элементов в обмазку на процессы комплексного многокомпонентного диффузионного насыщения стали Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванов А.Г., Гурьев А.М. Современные наукоемкие технологии. 2010. № 7. С. 170-172.

31.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.

32.Гурьев, А.М. Механизм диффузии бора, хрома и титана при одновременном многокомпонентном насыщении поверхности железоуглеродистых сплавов / Гурьев А.М., Иванов С.Г. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2011. - Т. 8. - № 3. - С. 92-96.

33.Зобнев, В.В. Многокомпонентное упрочнение поверхности сталей бором совместно с титаном, хромом и вольфрамом / Зобнев В.В., Гурьев А.М., Марков А.М. // В сб.: Инновации в машиностроении: Сб. трудов 2-ой Международной научно-практической конференции. Под ред. В.Ю. Блюменштейна. - 2011. - С. 323-330.

34.Гурьев, М.А. Технология нанесения многокомпонентных упрочняющих покрытий на стальные детали / Гурьев М.А., Фильчаков Д.С., Гармаева И.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Околович Г.А. // Ползуновский вестник. - 2012. - № 1-1. - С. 73-78.

35.Иванов, С.Г. Особенности диффузии атомов бора и хрома при двухкомпонентном насыщении поверхности стали Ст3 / Иванов С.Г., Гармаева И.А., Гурьев А.М. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2012. - Т. 9. - № 1. - С. 86-88.

36.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.

37.Иванов, С.Г. Формирование поверхности при диффузионном боротитанировании сталей / Иванов С.Г., Гармаева И.А., Гурьев А.М. // Международный журнал экспериментального образования. - 2012. - № 5. - С. 42.

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

39.Гурьев, М.А. Технология упрочнения стальных изделий в процессе литья / Гурьев М.А., Фильчаков Д.С., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Деев В.Б. // Литейщик России. - 2013. - № 6. - С. 36-38.

40.Иванов, С.Г. Особенности многокомпонентного насыщения легированных сталей / Иванов С.Г., Гармаева И.А., Гурьев М.А., Гурьев А.М. // Современное машиностроение. - Наука и образование. - 2013. - № 3. - С. 1155-1160.

41.Иванов, С.Г. Особенности диффузионного многокомпонентного насыщения поверхности штамповых сталей / Иванов С.Г., Гурьев М.А., Гармаева И.А., Кошелева Е.А., Гурьев А.М. // Ползуновский альманах. - 2013. - № 2. - С. 81-85.

42.Иванов, С.Г. Микроструктура поверхности многокомпонентных диффузионных покрытий на основе бора / Иванов С.Г., Гурьев А.М., Русакова А.В., Гурьев М.А., Старостенков М.Д. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2013. - Т. 10. - № 1. - С. 130-133.

43.Гурьев, А.М. Эволюция химического состава поверхности стали при комплексном насыщении бором, хромом и титаном / Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванова Т.Г., Старостенков М.Д. // Ползуновский альманах. 2014. № 2. С. 164-166.

44.Guriev, A.M. Surface hardening of steels with boron / Guriev A.M., Ivanov S.G., Guriev M.A., Mei Sh., Gong W. // 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. 149-153.

45.Lygdenov, B.D. Phase composition of gradient structures on carbon steels after boronizing / Lygdenov B.D., Guriev A.M., Butukhanov V.A., Mei Sh., Zhou Q. // 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.

46.Ivanov, S.G. Special features of preparation of saturating mixtures for diffusion chromoborating / Ivanov S.G., Guriev A.M., Starostenkov M.D., Ivanova T.G., Levchenko A.A. // Russian Physics Journal. 2014. - Т. 57. - № 2. - С. 266-269.

47.Гурьев, М.А. Перспективные методы получения упрочняющих покрытий / Гурьев М.А., Кошелева Е.А., Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Галаа О. - Барнаул, 2016. - 182 с.: ил.

48.Guriev, A. M. Boriding of mild steel / Guriev A. M., Lygdenov B. D., Guriev M. A., Shunqi M., Vlasova O. A. - Raleigh, North Carolina, USA: Lulu Press, 2015. - 141 p.

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

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

Гурьев Михаил Алексеевич² – к. т. н.

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

Мэй Шунчи¹ – профессор

Кошелева Елена Алексеевна² – к. т. н., доцент

¹Уханьский текстильный университет, г. Ухань, КНР

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

³ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления (ВСГУТУ)», г. Улан-Удэ, Россия