

Иванов Сергей Геннадьевич

**РАЗРАБОТКА СОСТАВА НАСЫЩАЮЩЕЙ СМЕСИ
И ТЕХНОЛОГИИ ДИФфуЗИОННОГО БОРОХРОМИРОВАНИЯ
ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН
И ИНСТРУМЕНТА**

05.02.01 «Материаловедение» в отрасли «Машиностроение»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул – 2007

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении
высшего профессионального образования
«Алтайский государственный технический университет
им. И. И.Ползунова» (АлтГТУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Гурьев Алексей Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Марков Андрей Михайлович

кандидат технических наук, доцент
Акимов Валерий Викторович

Ведущее предприятие: ГОУ ВПО «Сибирский государственный
индустриальный университет»

Защита состоится «14» ноября 2007 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д. 212.004.07 в ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46. E-mail: berd50@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова».

Автореферат разослан «12» октября 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д. 212.004.07
кандидат технических наук, доцент  А. А. Бердыченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Внедрение новых технологических процессов в промышленности в ряде случаев тормозится отсутствием материалов, способных работать в экстремальных условиях. Изыскание новых возможностей изменения комплекса физико-механических свойств металлов в заданном направлении является актуальной задачей современного материаловедения. Решение этой задачи требует совершенствования существующих и создания новых методов обработки металлов. Чаще всего в процессе эксплуатации подвергаются наиболее интенсивным внешним воздействиям поверхностные слои деталей и инструмента, поэтому зачастую структура и свойства именно поверхностных слоев оказывает важное влияние на работоспособность изделий в целом.

Одним из основных, широко известных и наиболее перспективных способов упрочнения поверхности стальных изделий является химико-термическая обработка (ХТО). Ее применение экономически более выгодно, чем получение легированной стали с аналогичными свойствами и, как правило, может производиться на любом предприятии, имеющем термическое оборудование. Химико-термической обработкой изделий можно придать такой комплекс эксплуатационных свойств, достижения которого объемным легированием или невозможно (азотирование, борирование), или экономически невыгодно (молибденирование, хромониобирование и др.).

ХТО чаще всего проводят при высокотемпературной изотермической или изотермически-ступенчатой выдержке с полной перекристаллизацией стали в аустенитное состояние. Это приводит к перегреву – структура и механические свойства сталей, кроме твердости и износостойкости, ухудшаются. Есть и другие недостатки в технологии ХТО с высокотемпературной выдержкой в процессе насыщения: коробление, высокая энергоёмкость процесса.

Указанные недостатки можно устранить при диффузионном насыщении поверхности сплава в режиме термоциклирования (ТЦО), а также при совместном насыщении поверхности металла несколькими химическими элементами т.е. при двух- или многокомпонентном насыщении.

К перспективным методам ХТО относится борирование, хромирование, титанирование и совмещенные процессы: борохромирование, боротитанирование и др. Эти способы ХТО более эффективны, чем традиционно используемые цементация, азотирование и цианирование практически по всем параметрам свойств поверхностных слоев материала. Так, например, боридные слои на сталях отличаются высокой износостойкостью, силицидные – кислотостойкостью, хромирование придает жаростойкость, а комбинированные покрытия зачастую совмещают в себе исходные свойства однокомпонентных покрытий и в некоторой степени нивелируют недостатки соответствующих однокомпонентных покрытий. Борохромирование, например, позволяет снизить хрупкость поверхностных слоев, повысить их жаростойкость по сравнению с борированными при практически одинаковой их твердости и износостойкости. Работоспособность борохромированных слоев в 1,5–1,75 раза выше, чем борированных. Однако известные методы получения таких покрытий несовершенны и достаточно трудоемки. Такие покрытия обычно получают последовательным высокотемпературным насыщением этими элементами, в литературе нет достаточных сведений об эффективных способах одновременного насыщения поверхности стали бором и хромом. Решение этой проблемы является важной материаловедческой задачей.

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с программой Министерства образования и науки РФ по фундаментальным исследованиям в области технических наук

и при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 05-08-50241-а), по приоритетному направлению ФЦТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002-2006 годы – «Индустрия наносистем и материалы» (государственный контракт № 02.444.11.7313) и при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям и Федерального агентства по образованию Программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («У.М.Н.И.К.»).

Цель диссертационной работы. Повышение работоспособности деталей машин и инструмента за счет применения установленных закономерностей структурообразования в сталях с боридными диффузионными покрытиями после борирования и комплексного насыщения бором совместно с хромом и титаном.

Для достижения поставленной цели в работе решались **следующие задачи**:

1. Проведение анализа условий работы, выявление причин выхода из строя и выбор способа повышения стойкости инструмента и деталей машин.
2. Исследование структуры сталей Ст3, 30Х, 30ХМ, У8 и фазового состава полученных диффузионных слоев на основе бора и хрома и их физико-механических свойств (твердость, пластичность).
3. Изучение параметров режима насыщения (состав смеси, температура процесса, длительность насыщения и т. д.) на структуру и физико-механические свойства борхромовых и бортитановых слоев.
4. Установление зависимостей, связывающих механические свойства исследуемых сталей с технологическими параметрами химико-термической обработки. Построение математических моделей процесса двухкомпонентного насыщения углеродистой стали бором и другими элементами.
5. Изучение характера износа упрочненных слоев для выяснения особенностей разрушения диффузионных покрытий в процессе эксплуатации в условиях абразивного и адгезионного износа.
6. Определение оптимального сочетания и количественного содержания компонентов насыщающей среды для поверхностного упрочнения сталей. На основе изученных представлений о поведении сталей с диффузным покрытием разработать новые составы обмазок для многокомпонентного насыщения и рекомендовать для них оптимальные режимы химико-термоциклической обработки.

Научная новизна работы:

Установлена возможность проведения процесса одновременного насыщения бором и хромом, а также бором и титаном конструкционных и инструментальных сталей. Введение в насыщающую смесь для борирования сталей хрома ускоряет процесс насыщения на 7–10 % и толщину диффузионного слоя на 10–15%.

Разработаны новые составы насыщающих сред для поверхностного упрочнения сталей. Состав для одновременного насыщения бором и хромом, содержащий диборид хрома (CrB_2), карбид бора (B_4C), графит, бентонит, фторид натрия (NaF). И состав для одновременного боротитанирования, дополнительно содержащий в качестве насыщающего компонента диборид титана (TiB_2).

Установлено положительное влияние циклического температурного воздействия с фазовыми $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращениями в интервале температур 600–1000°C на интенсификацию диффузионных процессов.

Установлены зависимости, связывающие механические свойства сталей с технологическими параметрами химико-термической обработки и определены оптимальные режимы ХТО сталей. При одновременном боротитанировании или борохромировании оптимальная температура процесса составляет 900–1050°C, в зависимости от марки стали и

состава смеси, время насыщения – от 4 до 8 часов. При термоциклическом насыщении к вышеперечисленным параметрам добавляется количество циклов и время выдержки при максимальной и минимальной температуре, оптимальное количество циклов лежит в диапазоне 10–20 и зависит от материала упрочняемого изделия. Время выдержки при минимальной и максимальной температурах цикла составляет от 1 мин до 1 часа и зависит от размеров упрочняемого изделия.

Циклический нагрев и охлаждение в интервале температур фазовых превращений (600 – 950°C) значительно ускоряют процессы диффузионного борирования и борохромирования. При химико-термоциклическом насыщении диффузионный слой образуется в 1,5–2,0 раза быстрее, чем при изотермическом насыщении.

Значение для теории и практики. Совокупность экспериментальных и теоретических результатов, полученных при проведении исследований, позволяет:

- разработать способы химико-термической и химико-термоциклической обработки инструмента из углеродистых и легированных сталей с целью повышения его износостойкости;

- дать рекомендации по корректировке традиционных технологических процессов, позволяющие заменить твердосплавный инструмент на стальной, упрочненный борохромированием с целью снижения себестоимости изготовления и повышения конкурентоспособности производства;

- результаты исследований позволили: а) разработать высокоэффективную технологию упрочнения кондукторных втулок для глубокого сверления корпусов форсунок, повысившую их стойкость в 8–12 раз; б) разработать технологию хромоборирования ножей из стали 65Г для бесцентрового шлифования;

Достоверность результатов обеспечивается применением современных методов исследования в материаловедении, необходимым и достаточным количеством экспериментального материала для корректной статистической обработки, сопоставлением полученных результатов с данными других авторов, совпадением теоретических расчетов и экспериментально полученных результатов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель, связывающая параметры процесса насыщения, такие как температура и время процесса насыщения при изотермическом способе, при термоциклическом – максимальная и минимальная температуры в цикле, а также время выдержки при этих температурах при термоциклическом насыщении, насыщения с прочностью и пластичностью.

2. Установленные зависимости твердости и пластичности сталей Ст3, 30Х, 30ХМ, У8 с диффузионными покрытиями на основе бора и хрома от режима насыщения (температура, время, химический состав насыщающей обмазки).

3. Разработанные способы диффузионного поверхностного упрочнения, заключающиеся в нагреве и выдержке в термической печи при температуре 900–1050°C упрочняемого изделия в обмазке, содержащей борид титана или хрома, карбид бора, фторид натрия, углерод.

Апробация работы: Основные положения и результаты проведенных исследований докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и семинарах: VI международной научно-практической конференции «Проблемы развития литейного, сварочного и кузнечно-штампового производств» (Барнаул, 2004), XXVII научно-практической конференции «Проблемы современного материаловедения и новые материалы» (Новокузнецк, 2005), VII межрегиональной научно технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире» (Рубцовск, 2005), VI Всероссийской школе-

семинаре с международным участием «Новые материалы. Создание, структура, свойства-2006» (Томск, 2006), XVII Петербургских чтений по проблемам прочности, посвященных 90-летию со дня рождения профессора А.Н. Орлова. (Санкт-Петербург, 2007), II научной конференции с международным участием «Актуальные проблемы науки и образования» (Куба, Варадеро, 2007), международной конференции «Современные материалы и технические решения» (Италия, о.Сицилия, 2007), IV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь – 2007» (Барнаул, 2007), международной научной конференции «Перспективы развития вузовской науки», (Сочи, 2007), Международной научной школе-конференции «Фундаментальное и прикладное материаловедение» (Барнаул, 2007).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 27 печатных работах, из них одна статья в издании, рекомендованном ВАК РФ и 2 заявках на выдачу патентов РФ на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы из 104 наименований и приложения, содержит 175 страниц машинописного текста, включая 31 таблицу и 54 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлено обоснование актуальности проводимых исследований, отмечена научная новизна, практическая значимость и реализация результатов работы.

В первой главе на основе литературных данных проведен анализ различных видов химико-термической обработки и изучено влияние способов ХТО на стойкость инструмента и деталей машин в различных условиях износа. Подробно рассмотрены вопросы по применению химико-термической обработки (ХТО) для различных видов сталей. Выделены основные параметры химико-термической обработки. Указана цель и задачи исследования.

Во второй главе характеризуются используемые в исследовании материалы, методы проведения экспериментов, применяемые методы исследования микроструктуры и механических свойств, рентгеноструктурного анализа.

В качестве исследуемых материалов выбраны конструкционные стали Ст3, 30Х, 30ХМ, 65Г и инструментальная сталь У8А. Приведен химический состав компонентов насыщающей смеси применяемой для диффузионного насыщения (карбид бора, оксиды хрома, титана, кремния, бориды хрома и титана, алюминиевый порошок и др.)

Металлографические исследования упрочнённых образцов проводили на оптических МИМ-7, МИМ-10, “Neophot-32” и электронных микроскопах: (растровом BS-300 “Tesla” и просвечивающем ЭМ-125К с использованием гониометрической приставки и при ускоряющем напряжении 125 кВ). Для просмотра в оптическом микроскопе шлифы готовились методами химического и электрохимического травления. Идентификация фазового состава и определение размеров и объемной доли выделений проводилось по изображениям, подтвержденным микродифракционными картинками и темнопольными изображениями, полученными в соответствующих рефлексах.

При приготовлении фольг для просмотра в электронном микроскопе из образцов на различных глубинах вырезались тонкие пластинки толщиной 0,2–0,3 мм на электроискровом станке. Режим вырезки был подобран таким образом, что не вносил дополнительной деформации и, следовательно, не влиял на структуру образца. Фольги полировались электролитически.

По снимкам, полученным в оптическом и электронном микроскопах, измерялись следующие параметры: средние размеры зерен; размеры, плотность и объемные доли выделений; скалярная плотность дислокаций, амплитуда кривизны-кручения решетки. Оп-

ределение средних размеров зерен (D) проводилось методом случайных секущих по микрошлифам. Границы зерен вытравливали электролитически. Средний размер зерен в объеме материала определяли исходя из средних размеров зерен, измеренных по микрошлифам.

ДюрOMETрические исследования проводили на ПМТ-3. Испытания на износостойкость в лабораторных условиях проверялись на машине Амслера по методикам, описанным в ГОСТ 17367–71.

Съемки рентгенограмм проводили на дифрактометре ДРОН-1,5 в монохроматическом Fe-K_α излучении с автоматической записью на диаграммную ленту в автоматическом режиме.

В **третьей главе** получены математические модели процесса изотермического и термоциклического борохромирования для стали 30X и математическая модель многокомпонентной насыщающей обмазки для диффузионного боротитанирования.

Анализ результатов статистической обработки экспериментальных данных показывает, что при изотермическом насыщении основными критериями, определяющими износостойкость диффузионных борохромовых слоев, являются температура процесса насыщения, время выдержки при температуре насыщения и количество хрома в насыщающей обмазке, а основными критериями, определяющими толщину диффузионного слоя, – температура и время насыщения. Бор в насыщающей обмазке в количестве 50–70% оказывает более слабое влияние на износостойкость и толщину диффузионного слоя по разработанным способам упрочнения. При снижении количества бора ниже 50% начинает сказываться его влияние на износостойкость и толщину слоя.

Математические модели, описывающие зависимость физико-механических свойств (износостойкость и толщина диффузионного слоя) от варьируемых факторов и имеющие следующий вид:

$$\varepsilon = 14,6750 + 0,7575X_1 + 0,6312X_2 + 0,5987X_4 - 0,5425X_1X_3 + 0,5912X_1X_4$$

$$h = 149,0625 + 49,0625X_1 + 39,6875X_2 + 17,8125X_4$$

где ε – относительная износостойкость (эталон – закаленная низкоотпущенная сталь У8), h – толщина диффузионного слоя, мкм, X_1 – температура процесса насыщения, °C; X_2 – время процесса насыщения, час.; X_3 – количество бора в насыщающей обмазке масс. %; X_4 – количество хрома в насыщающей обмазке масс. %.

Указанные факторы варьировали в следующих пределах: X_1 – от 950 до 1050°C; X_2 – от 4 до 6 ч; X_3 – от 50 до 70 %; X_4 – от 10 до 20 % масс.

Установлено, что:

1. При количестве бора ниже 50%, не удается получить равномерный по толщине диффузионный слой.
2. При количестве карбида бора в смеси около 40% и ниже возможен прогар насыщающей обмазки, в результате чего происходит окисление и обезуглероживание упрочняемого изделия.
3. При отклонении количества бора от оптимального, происходит изменение физико-механических свойств диффузионного слоя.

Для аналитического описания зависимости изучаемого свойства от химического состава насыщающей смеси в многокомпонентных системах более удобен метод симплексных решеток. Метод позволяет получать не только математическую модель исследуемой зависимости, но и ее графическую интерпретацию, что нагляднее и иногда даже необходимо. Данный метод был применен при изучении влияния состава многокомпонентных

насыщающих сред на износостойкость борхромовых и бортитановых покрытий на стали 30Х.

Математическая модель третьей степени, учитывающая все взаимодействия факторов выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \varepsilon = & 48,64 X_1 + 14,18 X_2 + 83,74 X_3 - 37,85 X_1 X_2 + 78,63 X_1 X_3 - \\ & - 56,23 X_1 X_2 (X_1 - X_2) + 63,27 X_1 X_3 (X_1 - X_3) + 24,45 X_2 X_3 (X_2 - X_3) + \\ & + 96,97 X_1 X_2 X_3 \end{aligned}$$

где X_1 – количество борида титана, масс. %; X_2 – количество карбида бора, масс. %; X_3 – количество фторида натрия, масс. %.

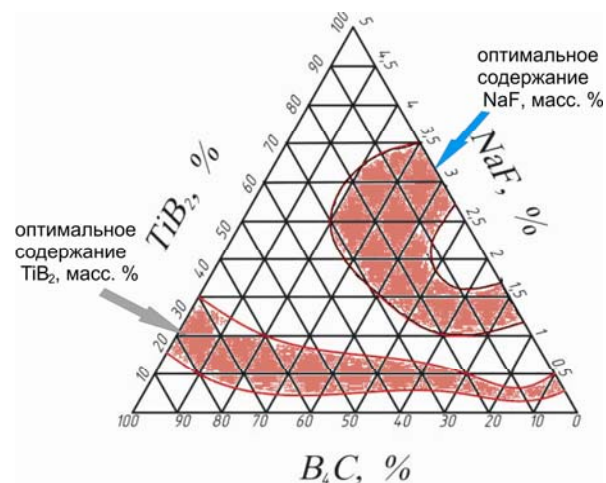


Рисунок 1 – Концентрационный треугольник оптимизации состава для бортитанирования по износостойкости

Из рисунка 1 видно, что наиболее оптимальны составы, содержащие 17–30% масс. диборида титана, 15–40% масс. карбида бора и 1,2–3,5% фторида натрия в качестве активатора. Однако, так как мы имеем дело с насыщением из обмазки в агрессивной печной атмосфере, то содержание карбида бора увеличено до 50–60%, так как часть его расходуется на защиту системы «насыщаемое изделие – насыщающая среда» от воздействия агрессивной печной атмосферы. Хорошо бы уделить внимание достоверности модели, её сходимости с экспериментом.

Четвертая глава посвящена изучению влияния химического состава обмазок и насыщаемых сталей, а также различных параметров насыщения на толщину, фазовый состав и физико-механические свойства диффузионных слоев.

Влияние состава смеси на толщину и фазовый состав полученных диффузионных слоев показано на рисунке 2.

Как видно из приведенных рисунков, на толщину диффузионного слоя и его внешний вид оказывает влияние, как химический состав насыщающей обмазки, так и ее гранулометрический состав. Все компоненты насыщающей смеси имели размер гранул 0,1–0,2 мм, если это не оговорено специально.

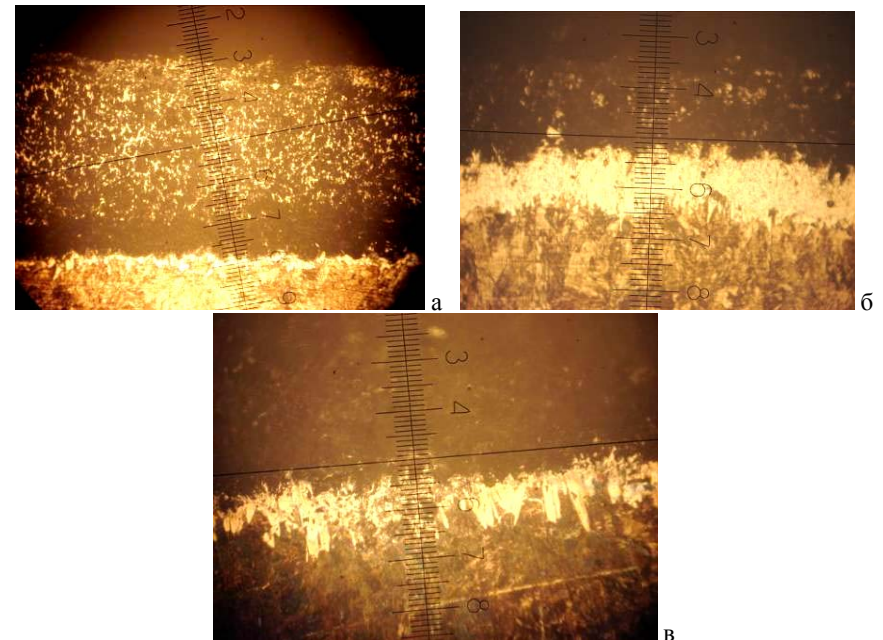


Рисунок 2 – Структура диффузионного слоя, полученная при насыщении из смеси состава: а, б – смесь на основе CrB_2 и V_4C фракции 0,5–1 мм и 0,1–0,2 мм соответственно,; в – на основе V_4C фракции 0,1–0,2 мм и TiB_2 , (температуре 1150°C, времени насыщения 6 ч, цена малого деления шкалы –10 мкм)

Пористость диффузионного слоя на рисунке 2а свидетельствует о слишком высокой насыщающей способности смеси, в результате чего диффузионный слой растет наружу, а диффузия железа через слой боридов происходит гораздо медленнее. Механические свойства данного слоя низкие – высокая микротвердость (28000–30000 МПа) здесь сочетается с высокой хрупкостью, порой приводящей к самоскалыванию слоя. Более высокие механические свойства имеет слой, показанный на рисунке 2б. Как видно из рисунка, данный слой более плотный и имеет характерное для боридных слоев игольчатое строение, что благоприятно сказывается на комплексе физико-механических свойств – повышается устойчивость слоя к скалыванию при приложении касательных напряжений. Так как иглы боридной фазы имеют большую поверхность контакта с подложкой, а, следовательно, и большую поверхностную энергию, он менее склонен к скалыванию, чем слой, показанный на рисунке 2а. При замене борида хрома боридом титана получается слой, показанный на рисунке 2в. Данный слой имеет более сложное строение, чем борохромированные слои и меньшую толщину. Однако комплекс физико-механических свойств, таких как твердость, пластичность, износостойкость и т.д., данного слоя несколько выше, например, микротвердость достигает 35000 МПа.

Влияние температуры насыщения на толщину и вид многокомпонентных боридных слоев показано на рисунке 3. Из фотографий видно, что в интервале температур 950–1150°C, температура насыщения на микроструктуре диффузионных слоев сказывается довольно слабо. Исключение составляет температура 1150°C, при которой образовался

пористый, очень хрупкий слой. С другой стороны высокая температура насыщения приводит к росту зерна сердцевины детали, что отрицательно сказывается на комплексе физико-механических свойств детали: уменьшение ударной вязкости может достигать 5 раз, пластичности – до 3 раз.

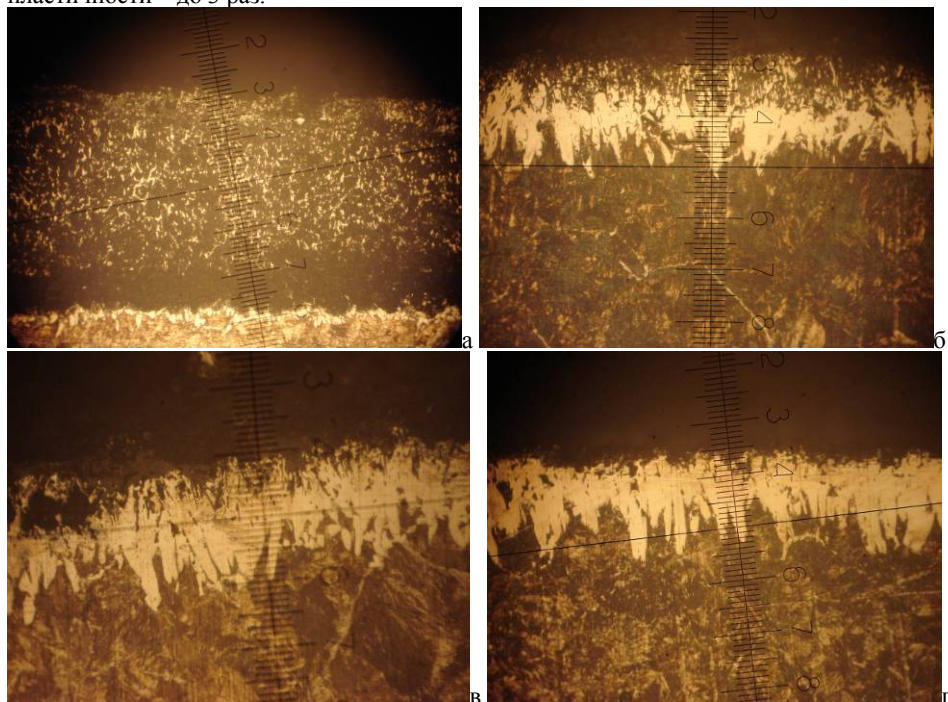


Рисунок 3 – Влияние температуры насыщения на толщину диффузионных слоев, время насыщения 6 ч., где а – 1150°C, б – 1100°C, в – 1050°C, г – 950°C (цена малого деления шкалы 10мкм)

Немаловажное влияние на микроструктуру, толщину и пластичность получающихся диффузионных слоев оказывает химический состав насыщаемой стали (см. рисунок 4). Из представленных на данном рисунке фотографий видно, что в зависимости от марки стали, микроструктура диффузионных слоев, их толщина и фазовый состав изменяются в довольно значительных пределах. Так, при борохромировании, на стали Ст3 идет преимущественно процесс насыщения хромом. Слой плотный, граница раздела гладкая, толщина слоя достигает 250 мкм. Механические свойства данного диффузионного слоя находятся на невысоком уровне – микротвердость его незначительна (3000–4000 МПа) по сравнению с боридным слоем (до 22500 МПа). Химический состав данного слоя от поверхности к сердцевине следующий: твердый раствор железа в хrome с массовым содержанием хрома до 60–70%, затем твердый раствор хрома в железе с массовой долей хрома 35–40% и включения карбидов хрома состава Cr_{23}C_6 , внутренний слой, прилегающий к границе раздела, представляет собой механическую смесь твердого раствора хрома в железе с содержанием хрома около 20% и карбидов хрома состава Cr_{23}C_6 или Cr_7C_3 . По всей толщине диффузионного слоя заметны следы бора в виде твердого раствора, также бор легирует

карбиды хрома.

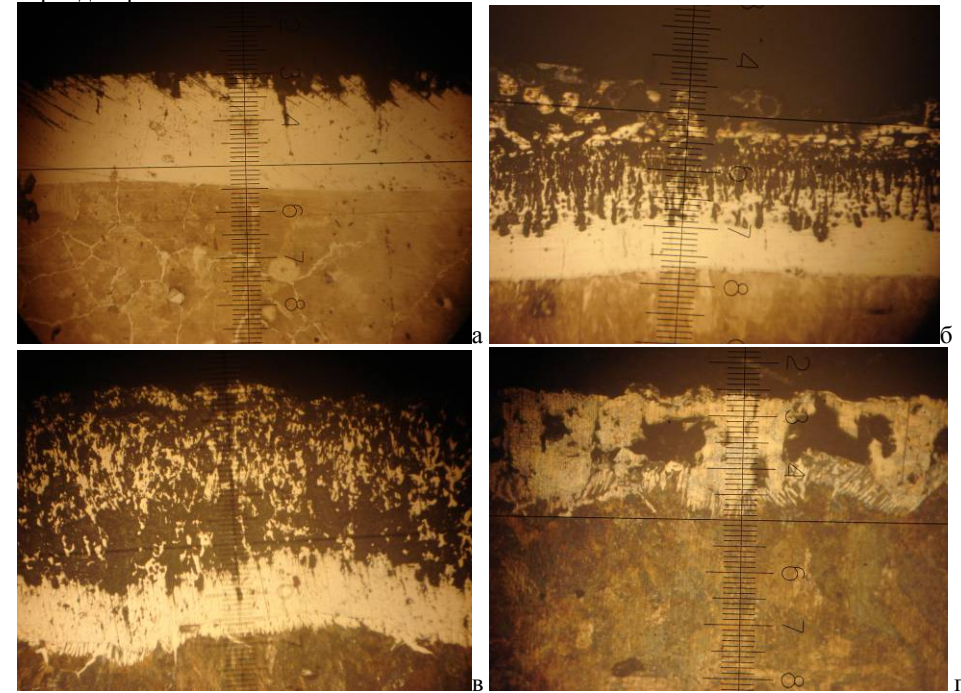


Рисунок 4 – Влияние химического состава насыщаемой стали на фазовый состав, микроструктуру и толщину диффузионных борохромированных слоев при насыщении из обмазки, содержащей оксид хрома: а) слой на стали Ст3, б) слой на стали 30X, в) слой на стали 30XM, г) слой на стали У8 (цена малого деления шкалы 10 мкм)

Диффузионный слой, образующийся на стали 30X при прочих равных условиях показан на рисунке 4 б). Данный слой имеет более сложное строение, чем слой на стали Ст3. Верхняя часть слоя представляет собой смесь твердого раствора железа в хроме (белые иглы) и боридов хрома и железа (темные иглы) с преобладанием диборида хрома CrB_2 . Под игольчатой частью слоя находится рабочий подслой, представляющий собой механическую смесь, состоящую из твердого раствора железа в хроме, карбидов, боридов и карбоборидов хрома и железа. Микротвердость данного подслоя достигает 6500–7000 МПа при микротвердости сердцевины, не превышающей 280 МПа. Граница раздела также претерпевает изменения – появляются боридные иглы размером 15–25 мкм. Общая толщина диффузионного слоя достигает 300 мкм, а толщина рабочего слоя – 70–90 мкм. При минимальной толщине рабочего слоя, исключающей его продавливание, равной 50 мкм, этого вполне достаточно для работы большинства инструмента и деталей машин.

Диффузионный слой, образующийся при борохромировании стали 30XM, имеет вид, показанный на рисунке 4, в. Здесь можно заметить, что слой претерпевает еще большую эволюцию. Данное покрытие можно разделить уже на три хорошо различимые зоны: верхний слой – механическая смесь твердого раствора железа в хроме и боридов хрома, средний подслоя представляет собой преимущественно бориды хрома, легированный

боридами железа и карбидами хрома, а также карбоборидами железа и хрома. И нижний, так называемый рабочий слой, представляет собой уже преимущественно бориды железа, в значительной степени легированные хромом. В данном слое можно наблюдать текстурированность структуры, характерную для боридных слоев.

Граница раздела между диффузионным слоем и основным металлом представлена в виде игл, характерных для боридных слоев, длиной 20–40 мкм.

Иглы боридной фазы на сталях можно условно разделить на три типа:

Тип 1. – самый распространенный – острые, растущие перпендикулярно поверхности раздела иглы, состоящие, как правило, из боридов железа состава Fe_2B (рисунок 5, цена малого деления шкалы 10мкм);

Тип 2. – менее распространенный тип, но все же довольно часто встречаемый: иглы, расположенные перпендикулярно поверхности, но имеющие закругленный конец. Это, как правило, является результатом действия углерода и легирующих элементов, таких как Cr, Nb, Ti, V, Mo и т.д. (рисунок 6, цена малого деления шкалы 10мкм);

Тип 3. – редко встречающийся, но наиболее благоприятный с точки зрения прочности сцепления диффузионного слоя с основой: иглы, расположенные под углом к поверхности раздела. Как правило, такие иглы располагаются по границам зерен или растут в теле зерна по местам больших скоплений дислокаций, имеющих большую протяженность (рисунок 7, цена малого деления шкалы 10мкм).

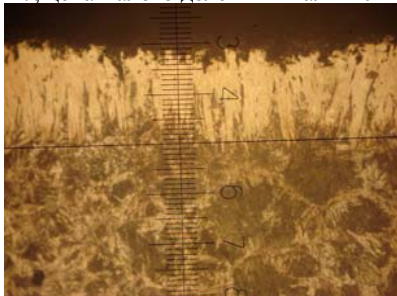


Рисунок 5 – боридный слой 1 типа

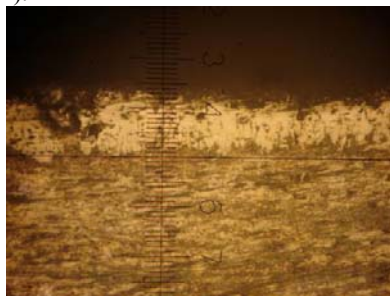


Рисунок 6 – боридный слой 2 типа

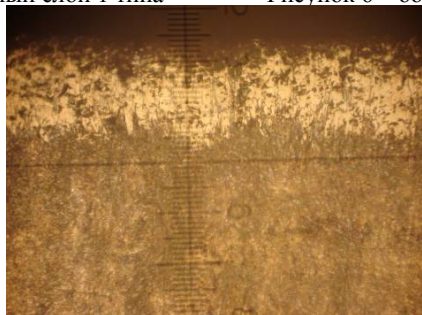


Рисунок 7 – боридный слой 3 типа

В результате проведенных испытаний на износостойкость при адгезионном и абразивном износе выявлено, что износостойкость борохромированной стали 30Х превосходит износостойкость закаленной и низкоотпущенной стали У8 при адгезионном износе – в 12÷37 раз в зависимости от состава насыщающей обмазки, при абразивном износе – в

2,9÷8 раз. Причем слои, полученные насыщением из различных обмазок, отличаются износостойкостью при различном характере износа. Эти данные иллюстрируются рисунком 8.

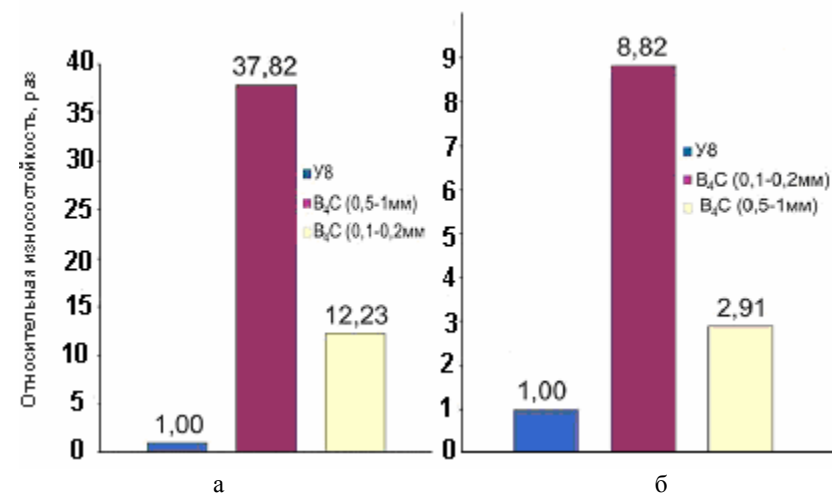


Рисунок 8 – Относительная износостойкость борохромированной стали 30X: а – при адгезионном износе, б – при абразивном износе (У8 – эталон)

Наибольшей микротвердостью обладают диффузионные слои, полученные комплексным насыщением бором и хромом на стали У8 где она достигает 35700 МПа (см. рис.9).

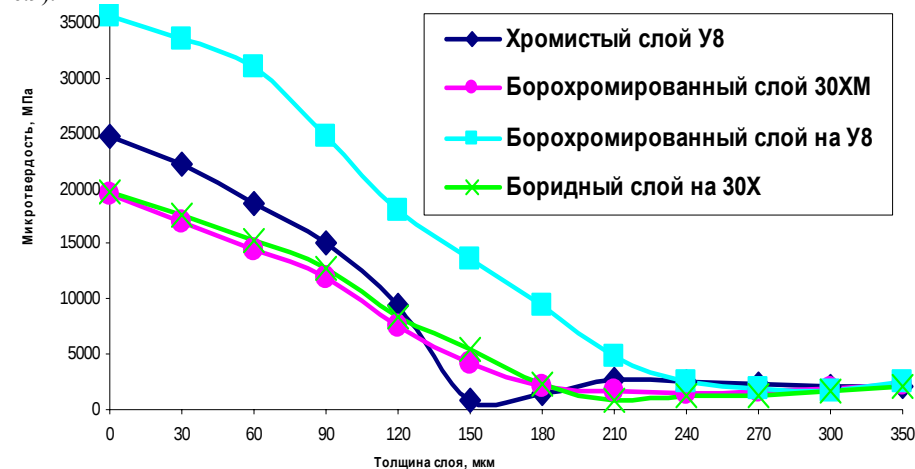


Рисунок 9 – Распределение микротвердости диффузионного слоя на различных сталях

Диффузионный слой в данном случае состоит не только из боридов и карбоборидов железа и хрома, но и из карбидов хрома. При этом под диффузионным слоем не обнаруживается обезуглероженной зоны, обладающей низкой твердостью (см. кривую Хромистый слой У8, рисунок 9).

Результаты испытаний на износостойкость боротитанированных слоев на стали 30Х представлены на рисунке 10. Условия испытаний были аналогичны.

Испытания на износостойкость проводили на машине Амслера. При испытаниях на адгезионный износ использовали диск из стали ШХ15 подвергнутый закалке и низкому отпуску с твердостью 61–62 HRC. Нагрузка на испытуемый образец при этом составляла 40Н. При испытании на абразивную износостойкость в качестве контртела использовали абразивную шкурку с размером частиц 100–120 мкм. Нагрузка на испытуемый образец при этом составляла 4Н.

В качестве смеси №1 была использована смесь, содержащая преобладающее количество борида титана. Толщина диффузионного слоя при этом не превышала 55 мкм. Смесь №2 содержала борид титана в качестве добавки, а в качестве основного насыщающего компонента применяли карбид бора, который является более активным поставщиком бора и создает более эффективную защиту насыщающей обмазки от воздействия внешней среды. Как видно из представленного рисунка, смесь, содержащая карбид бора более эффективна, чем смесь с преобладанием борида титана.

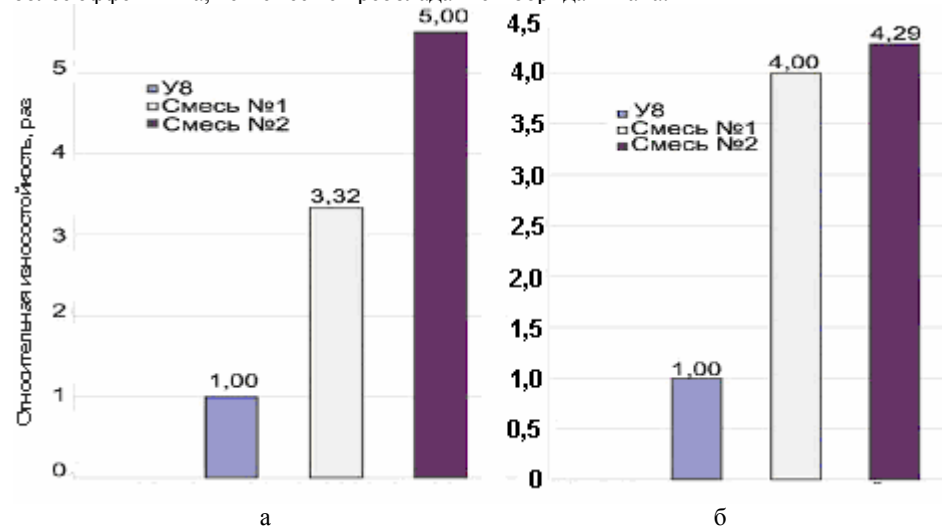


Рисунок 10 – Относительная износостойкость боротитанированной стали 30Х, где а – адгезионный износ, б – абразивный износ (У8 – эталон)

Пятая глава посвящена вопросам испытаний и внедрения в производство изделий, упрочненных по разработанным методам. Показано, что износостойкость кондукторной втулки для глубокого сверления после борирования возросла в 8–12 раз, ресурс борохромированных ножей из стали 65Г ниже ресурса ножей из твердого сплава ВК8 всего на 20% при значительно меньшей стоимости их изготовления (в 2–3 раза).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Установлено, что наиболее эффективным способом упрочнения деталей машин и инструмента, приводящим к повышению стойкости, является многокомпонентное диффузионное насыщение из обмазок бором совместно с хромом.

2. Исследованы структуры диффузионных слоев, полученных одновременным насыщением сталей в условиях, когда существовали возможности образования больших количеств как боридов, так и карбидов и карбоборидов различного химического состава. Исследование насыщающей способности новых активных сред для ХТО показало следующее:

- насыщение из обмазок более экономично по отношению к другим способам ХТО и эффективно с точки зрения управления параметрами процесса насыщения при ХТЦО (количество циклов, время выдержки при максимальной и минимальной температурах цикла) и получения покрытия с заданными свойствами.

- борид хрома – перспективная насыщающая среда, обеспечивающая одновременное насыщение бором и хромом.

- борид титана, используемый в качестве добавки к стандартному составу для борирования позволяет производить комплексное насыщение титаном и бором.

3. Исследованы и описаны основные закономерности и механизмы одновременного насыщения сталей бором и хромом или титаном конструкционных и инструментальных углеродистых и низколегированных сталей. Установлено, что диффузия по границам зерен является главным механизмом карбоборирования за исключением наружного слоя, где решающим фактором является реакционная диффузия. Формирующиеся в ходе борохромирования новые границы зерен и субзерен выполняют тройную роль. Во-первых, они служат основным каналом насыщения атомами бора и углерода основных глубинных слоев. Во-вторых, на них локализована большая часть карбоборидов. В-третьих, на них расположена значительная часть атомов бора и углерода, еще не образовавшихся боридов и карбоборидов.

4. Показано, что циклический нагрев и охлаждение в интервале температур 600–1000°С с выдержкой от 1 мин. до 1 ч и количестве циклов от 3 до 20 значительно (в 1,5–2 раза) ускоряют кинетику процесса ХТО железоуглеродистых сплавов.

5. Определено оптимальное сочетание и количественное содержание компонентов насыщающей среды для поверхностного упрочнения сталей. На основе изученных представлений о поведении сталей с диффузным покрытием разработаны новые составы обмазок для многокомпонентного насыщения и рекомендованы для них оптимальные режимы химико-термической и химико-термоциклической обработки.

6. Проведены производственные испытания деталей машин и инструмента, подвергнутых ХТО и ХТЦО по разработанным режимам. Испытания показали, что стойкость сверл после боротитанирования в изотермических условиях повышается до шести раз. Стойкость борохромированных ножей для бесцентрового шлифования корпуса распылителя из стали 65Г на 20–30% ниже по сравнению с твердосплавными при стоимости их изготовления в 2–3 раза ниже. Стойкость кондукторных втулок для глубокого сверления топливоподводящих отверстий корпусов форсунок возросла в 8–12 раз. Стойкость проволокопротяжных роликов, подвергнутых борохромированию возросла в 10–12 раз.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. 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. // Материалы VI международной научно-практической конференции «Проблемы развития литейного, сварочного и кузнечно-штампового производств». – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2004. – С. 46-48.

2. 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.

3. Иванов С.Г. Влияние скорости охлаждения на структуру стали Р18 / Иванов С.Г., Гурьев А.М. //Тезисы докладов XXVII научно-практической конференции «Проблемы современного материаловедения и новые материалы». – Новокузнецк: Изд-во СИБГИУ, 2005. – С. 25-26.

4. Колядин А.А. Термоциклическая обработка сталей: проблемы и перспективы. /Колядин А.А., Иванов С.Г. // Тезисы докладов VII межрегиональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире». – Рубцовск: Изд-во РИО, 2005. – С. 49.

5. С.Г. Иванов Влияние скорости охлаждения при кристаллизации на структуру литой стали 25НЗ. / С.Г. Иванов, М.А. Гурьев // Вестник АлтГТУ. - 2005. - № 3-4. - С. 165-167.

6. Гурьев А.М. Особенности формирования структуры диффузионного слоя на литой стали при химико-термической обработке. / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Махаров Д.М., Мосоров В.И., Черных Е.В., Гурьева О.А., Иванов С.Г. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2005. - №1.- С. 39-41.

7. Иванов С.Г. Диффузионное хромирование сталей из насыщающей обмазки. / Иванов С.Г., Гурьев А.М., Земляков С.А., Кошелева Е.А. // Ползуновский альманах. – 2006. - №3.- С. 191.

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

9. Гурьева О.А. Термоциклическое борирование литых сталей. / Гурьева О.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М. // Труды VI Всероссийской школы-семинара с международным участием «Новые материалы. Создание, структура, свойства-2006». - Томск: Изд-во ТПУ, - 2006. - С.91- 93.

10. Иванов С.Г. Термоциклическое упрочнение литой стали 25НЗ электрошлакового переплава. / Иванов С.Г., Гурьев А.М., Хараев Ю.П. // Труды VI Всероссийской школы-семинара с международным участием «Новые материалы. Создание, структура, свойства-2006». - Томск: Изд-во ТПУ, - 2006. - С.94- 97.

11. Гурьев А.М. Повышение прочности инструментальных сталей методом термоциклического борирования. / Гурьев А.М., Власова О.А., Лыгденов Б.Д., Иванов С.Г., Гармаева И.А., Мижитов А.Ц. // XVII Петербургские чтения по проблемам прочности. Посвященные 90-летию со дня рождения профессора А.Н. Орлова. Сборник материалов. – СПб, 2007. - С. 196-198.

12. Иванов С.Г. Диффузионное насыщение сталей из насыщающих обмазок. / Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Бруль Т.А. // Фундаментальные исследования. - 2007.- №4.- С.37–38.

13. Иванов С.Г. Диффузионное насыщение сталей из насыщающих обмазок. / Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Бруль Т.А. // Материалы II научной конференции с международным участием «Актуальные проблемы науки и образования», Варадеро (Куба) 19-30марта 2007г. – Москва: Изд-во РАЕ, 2006. -С. 37-38.

14. Иванов С.Г. Диффузионное борохромирование сталей из обмазок. / Иванов С.Г., Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д. // XIII Международная научно-практическая конферен-

ция "Современные техника и технологии СТТ 2007" 26- 30 марта 2007 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. - С. 48-49.

15. Иванов С.Г. Разработка способа диффузионного боротитанирования деталей машин и инструмента. / С.Г. Иванов, О.А. Власова, А.М. Гурьев, Е.А. Кошелева, М.А. Гурьев // Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь – 2007» (НиМ-2007) – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007.- С. 28–30.

16. Е.А. Кошелева Разработка способа термоциклического борохромирования деталей машин и инструмента. / Е.А. Кошелева, С.Г. Иванов, О.А. Власова, А.М. Гурьев, Т.Е. Другова// Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь – 2007» (НиМ-2007) – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007.- С. 45–48.

17. О.А. Власова Повышение прочности диффузионных карбоборидных покрытий термоциклированием в процессе их получения. / О.А. Власова, А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, Е.А. Кошелева, М.А. Гурьев // Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь – 2007» (НиМ-2007) – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007.- С. 110–112.

18. А. М. Гурьев Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей. [Текст] Заявка на выдачу патента РФ № 112368/02 МПК C23C 10/30, C23C 10/28 А. М. Гурьев, С.Г. Иванов, Б. Д. Лыгденов, С. А. Земляков, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, М. А. Гурьев; заявитель и патентообладатель АлтГТУ им. И.И. Ползунова. Заявл. 03.04.2007. – 9с.

19. A.M. Guriev DIFFUSION SATURATION OF STEELS FROM COATS. / A.M. Guriev, S.G. Ivanov, B.D. Ligdenov, O.A. Vlasova, E.A. Kocheleva, I.A. Garmaeva, A.C. Mijitov // VIII Miedzynarodowa Konferencja Naukowa „Nowe technologie i osiagniecia w metalurgii i inzynierii materialowej” 25 czerwca 2007.-Czestochowa: Politechnica Czestochowska. -P.179 - 183. (Польша).

20. А. М. Гурьев 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.- №1.-С. 30 – 35.

21. А. М. Гурьев Новые методы диффузионного термоциклического упрочнения поверхности стальных изделий бором совместно с титаном и хромом./ Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Иванов С.Г. Власова О.А., Гармаева И.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. // Успехи современного естествознания -2007.- №10.- С. 89-91.

22. Кошелева Е.А. Разработка методов интенсификации химико-термической обработки инструментальных сталей. / Кошелева Е.А., Гурьев А.М., Иванов С.Г., Власова О.А // Фундаментальные исследования- №10.- 2007.- С.91.

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

24. Хараев Ю.П. Особенности формирования карбидной фазы литой быстрорежущей стали. / Хараев Ю.П., Власова О.А., Иванов С.Г., Попова Н.А. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения- 2007.- №1. -С. 129 – 131.

25. Гурьев А.М. Способ упрочнения деталей из штамповых сталей. Заявка на выдачу патента РФ № 112368/02 МПК C23C 10/30, C23C 10/28 А. М. Гурьев, С.Г. Иванов, Б. Д. Лыгденов, С. А. Земляков, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, М. А. Гурьев; заявитель и патентообладатель АлтГТУ им. И.И. Ползунова. Заявл. 18.07.2007 – 9с.

26. Гурьев А.М. Новые методы диффузионного термоциклического упрочнения поверхности стальных изделий бором совместно с титаном и хромом / Гурьев А.М.,

Власова О.А., Лыгденов Б.Д., Гармаева И.А., Кошелева Е.А., Иванов С.Г., Гурьев М.А. // Успехи современного естествознания - 2007.- №10. - С. 89-91.

27. 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. 51-58.