

Власова Ольга Алексеевна

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ
МЕТОДАМИ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Специальность 05.02.01 – Материаловедение в машиностроении

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Барнаул – 2009

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

Научный руководитель:	Заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук, профессор Старостенков Михаил Дмитриевич
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Марков Андрей Михайлович Доктор физико-математических наук, профессор Плотников Владимир Александрович
Ведущая организация:	ГОУ ВПО «Сибирский государствен- ный индустриальный университет» г. Новокузнецк

Защита состоится « 18 » июня 2009 года в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.07 ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46.

Е-mail: berd50@mail.ru

Факс: 8(3852) 36-84-13

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

Автореферат разослан « 15 » мая 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,

доцент



А. А. Бердыченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одним из перспективных видов упрочнения сталей является термоциклическая обработка (ТЦО). В отличие от других видов термообработки, структурные и фазовые превращения при термоциклической и химико-термоциклической обработке (ХТЦО) совершаются многократно при изменяющейся температуре «нагрева – охлаждения». Необходимость многократного повторения обработки при заданных температурах, как правило, обусловлена стремлением накопить изменения в структуре, которые коренным образом улучшают качество изделий и придают им свойства, недостижимые при одноразовой термической обработке.

В силу специфики процессов, происходящих в условиях циклических воздействий, при термоциклической обработке возможно изменение и кинетики, и механизмов процессов структурообразования, целенаправленное изменение комплекса свойств сплавов, а, следовательно, надежности и долговечности изделий. Научные исследования и практический опыт применения убеждают в ее перспективности для повышения конструкционной прочности, пластичности, износостойкости и других физико-механических свойств сталей и сплавов.

В последнее время большое внимание уделяется изучению возможностей применения ТЦО с целью улучшения структуры и механических свойств сталей для повышения работоспособности инструмента. В результате разработок ряд новых технологий предварительной термоциклической обработки, имеются сведения и об использовании ТЦО в качестве окончательной термической обработки. Однако выбор режимов ТЦО до сих пор ведется эмпирическим путем. Недостатками этих технологий является то, что повышение пластичности стали не сопровождается необходимым высоким уровнем ее прочностных свойств, а также то, что все ранее известные способы достаточно трудоемки и длительны.

Отсутствие обоснованных представлений о механизме формирования комплекса оптимальных свойств в процессе ТЦО создало условия нерационального выбора и зачастую неэффективного использования потенциальных возможностей перспективного метода упрочнения сталей и сплавов.

Недостаточная изученность и противоречивое понимание взаимного влияния различных параметров термоциклирования (температура в цикле, скорости нагрева и охлаждения, количество термических циклов и др.) создало предпосылки для применения широкого спектра способов ТЦО, отличающихся не только принципом воздействия на структуру (с полными фазовыми превращениями, с частичными или без таковых), но и самое главное, различающихся до 20–50 раз энергозатратами для получения необходимого результата. В связи с этим, исследования направленные на совершенствование окончательной ТЦО и ХТЦО инструментальных сталей являются актуальными.

Настоящая работа выполнялась в соответствии с программой Министерства образования и науки РФ, поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 07-08-12152, грантом на стажировку в крупном российском научном центре – Томском политехническом университете, в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002–2006 годы (по направлению «Индустрия наносистем и материалы») и Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по Программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») (Государственный контракт № 5230).

Цель работы. Повышение эксплуатационных свойств инструмента за счёт применения установленных закономерностей формирования структуры и свойств в сталях при циклическом тепловом воздействии, а также разработка и оптимиза-

ция способа термоциклического и химико-термоциклического упрочнения инструмента.

Для достижения цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

1. Провести анализ условий работы, выявить причины выхода из строя и выбрать метод повышения стойкости штампового инструмента.
2. Установить основные технологические параметры окончательной термоциклической обработки инструментальных штамповых сталей.
3. Установить зависимость, связывающую физико-механические свойства с технологическими параметрами термоциклической обработки инструментальных сталей и оптимизировать основные технологические параметры ТЦО.
4. Исследовать особенности изменения структуры и физико-механических свойств сталей в процессе циклического теплового воздействия.
5. Исследовать методами структурного анализа фазовый состав и строения инструментальных сталей после ХТЦО.
6. По результатам проведенных исследований разработать способ упрочнения, рекомендовать оптимальные режимы химико-термической обработки и апробировать в производственных условиях упрочненную штамповую оснастку и инструмент.

Научная новизна работы.

Установлены аналитические зависимости физико-механических свойств (твердость, ударная вязкость, прочность) от технологических параметров термоциклической обработки (температура и время, количество термоциклов) на примере инструментальных сталей X12M, 5X2NMФ.

Установлено, что в сталях с различной исходной структурой формирование оптимального комплекса физико-механических свойств, сочетающего высокую твердость и прочность с достаточной пластичностью и ударной вязкостью, происходит при термоциклировании в интервале, где максимальная температура в цикле равна температуре закалки, а минимальная – температуре минимальной устойчивости переохлажденного аустенита данной стали. Сталь X12M при твердости 60–62 HRC₃ и прочности $\sigma_{\text{н}}=5000$ МПа после ТЦО по оптимальным режимам имеет значения ударной вязкости $KC=0,8-0,9$ МДж/м².

Показано, что независимо от состава и исходного состояния сталей (литое состояние, деформированное и т. д.) циклический нагрев и охлаждение с фазовыми превращениями $\alpha \leftrightarrow \gamma$ во время борирования значительно ускоряют процесс диффузионного насыщения их поверхности бором.

Установлено, что независимо от химического состава стали структура упрочненной поверхности состоит из зоны боридов FeB и Fe₂B, переходной зоны с градиентной структурой плавно переходящей к структуре основного металла: первый слой состоит из боридов железа FeB и Fe₂B; во втором слое наряду с боридом железа присутствует α -фаза и карбобориды (Fe₃(C,B) и Fe₂₃(C,B)₆); третий слой содержит остатки боридов железа. Бор в этом слое расположен, в основном, в карбоборидах; четвертый слой сохраняет исходную структуру стали.

Научная и практическая значимость работы состоит в том, что проведенные исследования структуры термоциклированных сталей дают более полное представление о процессах, происходящих в стали во время циклического теплового воздействия.

Знание закономерностей диффузионных процессов в сталях при циклическом тепловом воздействии позволит обоснованно проектировать оптимальные технологические процессы ТЦО и ХТЦО, повысит эффективность этих методов, что, в свою очередь, позволит повысить механические свойства сталей и увели-

чить срок службы металлообрабатывающего инструмента, деталей машин и механизмов.

В промышленных условиях на ООО «Алтайский завод прецизионных изделий» (г. Барнаул) были опробованы разработанные способы термоциклической и химико-термической обработки стали X12M. При ТЦО ножей из стали X12M для рубки прутка на заготовки корпуса распылителя повысилась в 2 раза. При этом устранены сколы инструмента при эксплуатации, исключена возможность его хрупкого разрушения. Технология термоциклического упрочнения рекомендована для изготовления ножей в инструментальном производстве.

Испытания показали, что стойкость упрочненных методом термоциклического борирования кондукторных втулок из стали X12M для свёрл глубокого сверления топливоподводящих отверстий корпусов форсунок повысилась в 4–5 раз. При этом отмечено уменьшение количества деталей с заломами свёрл. Разработанная технология ХТЦО рекомендована для обработки кондукторных втулок в инструментальном производстве.

Разработанная технология позволяет повышать износостойкость изделий без применения специального, сложного оборудования.

Сведения о разработанном новом способе упрочнения инструментальных сталей включены в базу данных "Промышленные инновации России" Алтайского ЦНТИ.

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

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Данные, полученные в результате экспериментов, об изменении количественного и качественного состава фаз в стали в зависимости от режима упрочнения.
2. Закономерности структурных изменений, наблюдаемые при формировании диффузионных покрытий на сталях при термоциклическом борировании.
3. Математическая модель, связывающая параметры процесса высокотемпературного термоциклического упрочнения (длительность нагрева и охлаждения, температурный интервал процесса, количество циклов) с твердостью, ударной вязкостью и прочностью стали.
4. Сравнительные результаты оценки износостойкости различных сталей после упрочнения по различным режимам ТЦО и ХТЦО.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: 5–9 Международных научно-практических конференциях «Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств» (Барнаул, 2003–2006, 2008); Международной научно-практической конференции «NOWODAYS, FUTURE AND FACED PROBLEMS OF METALLURGY AND MACHINERY FIELD» (Улан-Батор, Монголия, 2006); VI Всероссийской школе-семинаре с международным участием «Новые материалы. Создание, структура, свойства» (г. Томск, 2006 г); XVII Петербургских чтениях по проблемам прочности, посвященных 90-летию со дня рождения профессора А.Н. Орлова (Санкт-Петербург, 2007 г); IV Международной школе-конференции «Микромеханизмы пластичности разрушения и сопутствующих явлений» (г. Тамбов, 2007 г); VIII Międzynarodowa Konferencja naukowa, Czestocowa (Польша, 2007 г); Научной международной конференции «Перспективы развития вузовской науки» (Сочи, 2007 г); Международной научной

школе-конференции «Фундаментальное и прикладное материаловедение» (Барнаул, 2007 г); IV Евразийской научно-практической конференции «Прочность неоднородных структур» (Москва, 2008 г); XIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (Томск, 2008 г); VII Всероссийской научно-практической конференции «Литейное производство сегодня и завтра» (Санкт-Петербург, 2008 г); Всероссийской конференции «Перспективы развития вузовской науки» (Сочи, 2008 г); VI Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе» (Новосибирск, 2008 г).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 52 печатных работах, из них пять статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получен один патент и одно решение о выдаче патента РФ на изобретение. Список основных работ приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы из 170 наименований и приложения, содержит 186 страниц машинописного текста, включая 41 таблицу и 51 рисунок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, дана характеристика изученности проблемы, указана цель и задачи исследования, выделена научная новизна, показана практическая значимость исследования.

В первой главе на основе литературных данных выполнен анализ существующих видов термоциклической и химико-термоциклической обработки, дана их классификация по назначению. Рассмотрено влияние окончательной термоциклической обработки на физико-механические свойства сталей. Описаны особенности ускоренных методов нагрева и охлаждения и показана склонность к упрочнению металлических материалов при ТЦО. Рассмотрены физические основы процесса ХТО. Приведено систематизированное и более полное представление о процессе борирования сталей. Даны зависимости структуры, строения и состава упрочненных поверхностей от технологических параметров процесса борирования. Подробно рассмотрено и изучено влияние углерода и легирующих элементов на фазовый состав и кинетику формирования боридных диффузионных слоев. Сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе рассмотрены методические основы исследований, методы проведения экспериментов, приведено описание материалов, используемых в работе.

Исследования кинетики формирования окончательной структуры основного металла и диффузионных слоев при циклическом тепловом воздействии были выполнены на сталях У8, 5ХНВ, Х12М и 5Х2НМВФ.

Процесс химико-термической обработки осуществлялся из насыщающих обмазок (паст) нанесенных на поверхность упрочняемых деталей и образцов.

После проведения процессов диффузионного насыщения изучали структуру, фазовый и химический состав боридных слоев следующими методами: металлографическим и микрорентгеноспектральным, рентгеноструктурным.

Металлографическое исследование проводили на оптических микроскопах: МИМ-7, МИМ-10, Neophot-21 и электронном растровом микроскопе BS-300 «Tesla».

Для просмотра в оптическом микроскопе шлифы готовились методами химического и электрохимического травления. С помощью растрового микроскопа

был проведен фрактографический анализ поверхности разрушения и состояние изношенной поверхности.

Рентгеноструктурный фазовый анализ осуществляли по рентгенограммам полученным на дифрактометре ДРОН-1,5 в монохроматическом Fe-K α излучении с автоматической записью на диаграммную ленту.

Механические свойства (твёрдость, прочность, пластичность, ударная вязкость) определяли по стандартным методикам. На универсальной испытательной машине «Instron» с максимальным усилием 50 кН определяли прочность и пластичность. Ударную вязкость определяли при испытании образцов без надреза на маятниковом копре типа 2130КМ-03. Исследование твёрдости производили на твердомере Роквелла ТР 5005 по шкале С (алмазный наконечник, нагрузка 150 кг.) согласно ГОСТ 9013-82. ДюрOMETрические исследования осуществляли на приборе ПМТ-3 по ГОСТ 9450-76.

При проведении исследований были использованы математические методы планирования эксперимента с применением дробных факторов планов (типа 2^{4-1} с определяющим контрастом $1=X_1X_2X_4$).

При исследовании процесса окончательной термоциклической и химико-термоциклической обработки изучали влияние следующих факторов:

X_1 – максимальная температура в цикле, °С;

X_2 – минимальная температура в цикле, °С;

X_3 – длительность выдержки при максимальной температуре, минуты;

X_4 – длительность выдержки минимальная температуре, минуты.

В третьей главе приведены результаты исследования по влиянию окончательной термоциклической обработки на структуру и физико-механические свойства инструментальных сталей X12M, 5XНВ, 5X2НМВФ. Изучали влияние различных технологических параметров (количество термоциклов, температурный интервал, скорость нагрева и охлаждения и т. д.) на ударную вязкость, твердость и прочность. На рисунке 1 показано влияние одного из основных технологических факторов (минимальной температуры в цикле) на ударную вязкость и твердость стали X12M.

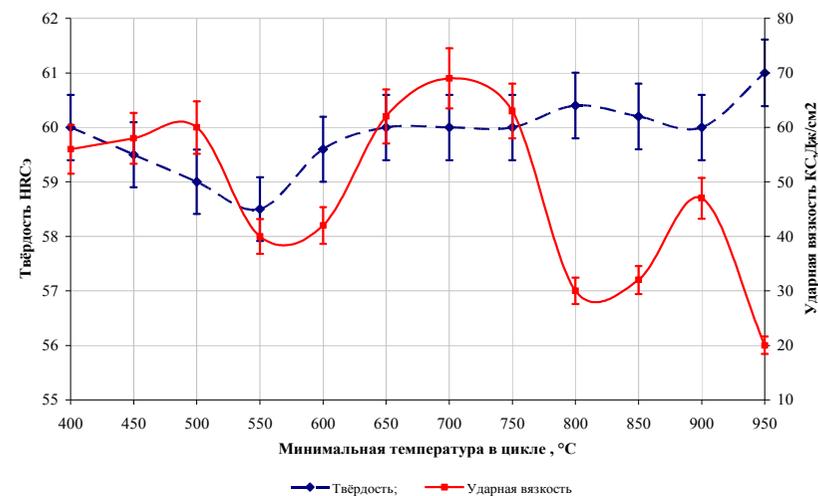


Рисунок 1–Влияние минимальной температуры в цикле на механические свойства стали X12M

Построены математические модели, связывающие технологические параметры ТЦО со структурой и механическими свойствами наиболее широко применяемых углеродистых и легированных инструментальных сталей У10, Х12М и 5Х2НМВФ и проведена оптимизация их окончательной термоциклической обработки.

Для инструментальной стали Х12М математические модели, описывающие зависимость механических свойств (σ_n и КС) от варьируемых факторов, имеют следующий вид:

$$КС=5,91-2,49X_1+2,12X_2-0,17X_4-2,76X_1X_3+1,85X_2X_3;$$

$$\sigma_n=3803-392,1X_1+131,8X_2-250,8X_3+325,3X_4-642,9X_1X_3,$$

Указанные факторы варьировали в следующих пределах: X_1 – от 950 °С до 1100 °С; X_2 – от 20 °С до 1100 °С; X_3 и X_4 от 0 до 20 минут в зависимости от размеров образцов.

Анализ результатов статистической обработки экспериментальных данных показывает, что основными критериями, определяющими ударную вязкость стали Х12М, являются температуры в термическом цикле и время выдержки при максимальной температуре в цикле, а основными критериями, определяющими прочность при изгибе – температура и время выдержки при максимальной температуре в цикле. Время выдержки при минимальной температуре в цикле оказывает более слабое влияние на прочность и ударную вязкость стали Х12М при ТЦО по разработанным режимам.

Математические модели построенные для сталей У10, Х12М и 5Х2НМВФ отчетливо выявили те параметры ТЦО, которые наиболее сильно влияют на механические свойства, а также эффекты их взаимодействия. Установлено, что основными критериями не зависящими от исходного структурного состояния и химического состава стали, определяющими пластичность и ударную вязкость, являются температуры в термическом цикле и время выдержки при максимальной температуре. Установленные аналитические зависимости связывающие физико-механические свойства с технологическими параметрами термоциклической обработки инструментальных сталей позволили оптимизировать процесс ТЦО.

В результате оптимизации установлено, что максимальные значения ударной вязкости (КС) и прочности (σ_n) образцы из стали Х12М имеет при следующих значениях исследуемых факторов: $X_1=1045-1050$ °С, $X_2=700-710$ °С, $X_3 = 8-9$ минут, $X_4 = 7-8$ минут, число циклов – 4.

Установлено, что в сталях различного химического состава, с различной исходной структурой формирование оптимального комплекса физико-механических свойств, сочетающего высокую твердость и прочность с достаточной пластичностью и ударной вязкостью, происходит при циклировании в интервале, где максимальная температура в цикле равна температуре закалки, а минимальная – температуре минимальной устойчивости переохлажденного аустенита (рисунок 2) данной стали. Так, сталь Х12М при твердости 60–62 HRC₂ и прочности $\sigma_n=5000$ МПа после ТЦО по оптимальным режимам имеет значения ударной вязкости $КС=0,8-0,9$ МДж/м².

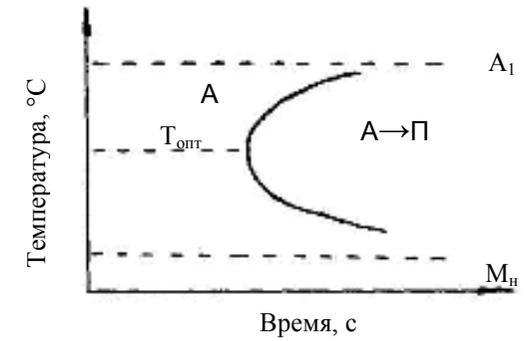
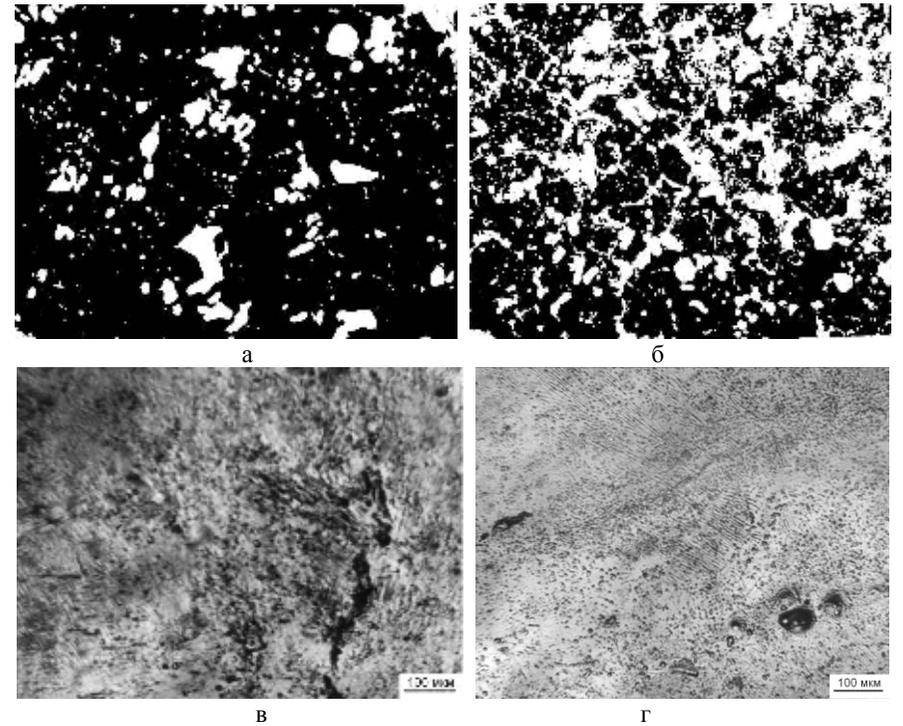


Рисунок 2—Минимальная температура в цикле ($T_{\text{опт}}$)

Повышение пластичности и ударной вязкости стали X12M после ТЦО связано с изменением химического состава мартенсита (снижением содержания углерода), измельчением и образованием новых мелкодисперсных карбидов (рисунок 3).



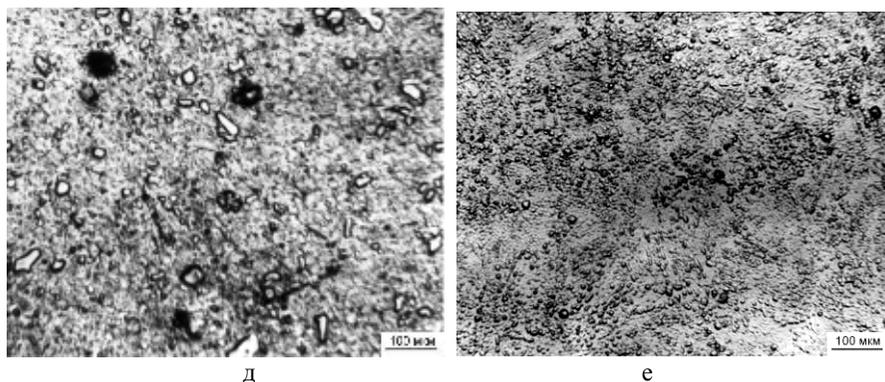


Рисунок 3 – Структура сталей после традиционной ТО (а, в, д) и после окончательной ТЦО (б, г, е): а, б–X12М (х 500); в, г–5ХНВ; д, е – 5Х2НМВФ

Выполнение ТЦО по разработанным режимам позволяет повысить ударную вязкость инструментальных углеродистых и легированных сталей при сохранении высокой твердости и прочности. Происходит это за счет чередующегося повторения процессов взаимного растворения – выделения между ферритокарбидной смесью и аустенитом, способствующего получению благоприятного структурного состояния в конечной структуре стали и возможности протекания процессов коагуляции и сфероидизации не только карбидной фазы, но и частиц неметаллических включений (сульфидов, фосфидов и др.), уменьшающих вредное влияние этих примесей (см. рисунок 3).

Проведение окончательной термической обработки методом ТЦО приводит к благоприятному с точки зрения механических свойств перераспределению и формоизменению карбидов в сталях, получению более однородной структуры стали как в литом (рисунок 3в, г и рисунок 3д, е), так и в деформированном (рисунок 3а, б) состоянии. Все это в итоге приводит к значительному повышению механических свойств. Ударная вязкость стали X12М, обработанной по оптимальным режимам ТЦО (4 цикла $1050 \leftrightarrow 700$ °С, закалка с последнего высокотемпературного нагрева в масле и отпуск при 200 °С, 2 часа) более 90 Дж/см² при твердости 60 HRCэ (после стандартной закалки с 1050 °С и отпуска 200 °С, 2 часа – 40 Дж/см²). Улучшение комплекса физико-механических свойств стали приводит к повышению эксплуатационную стойкость инструмента, особенно испытывающего высокие динамические нагрузки. Так, стойкость ножей из стали X12М для рубки прутка на заготовки корпуса распылителя (рисунок 7а) повысилась в 2 раза.

В четвертой главе приведены результаты изучения влияния циклического теплового воздействия на структуру и фазовый состав борированного из обмазки на основе карбида бора (B_4C –75 %, NaF–3%, графит–10, бентонит–7%) слоя на поверхности инструментальных сталей (сталь X12М–рисунок 4, сталь 5ХНВ–рисунок 5).

Исследования показали, что независимо от состава и исходного состояния (литое состояние, деформированное и т. д.) сталей циклический нагрев и охлаж-

дение во время борирования значительно ускоряют процесс диффузионного насыщения их поверхности (таблица 1).

Таблица 1–Влияние вида теплового воздействия при насыщении сталей бором на толщину диффузионного слоя

Марка стали	Глубина борированного слоя, мкм (по микротвердости)	
	Изотермическое борирование (2 часа)	Термоциклическое борирование (2 часа)
У10А	60	100
5ХНВ литая	95	160
X12М	50	60

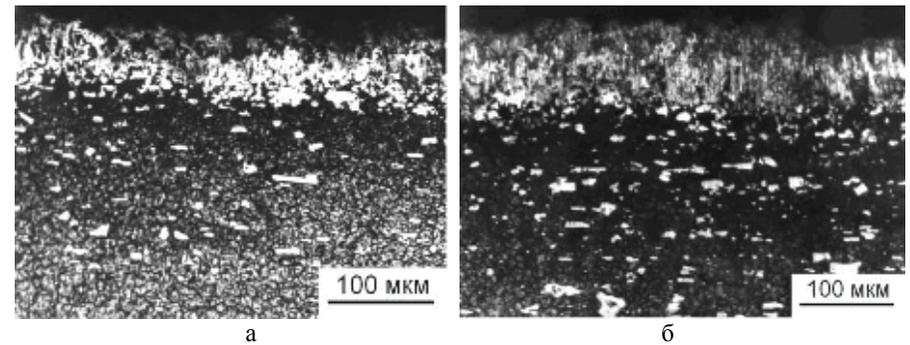


Рисунок 4 – Структура диффузионного слоя стали X12М после борирования из обмазки: а – после ХТЦО (2 часа), б– изотермическое борирование (4 часа)

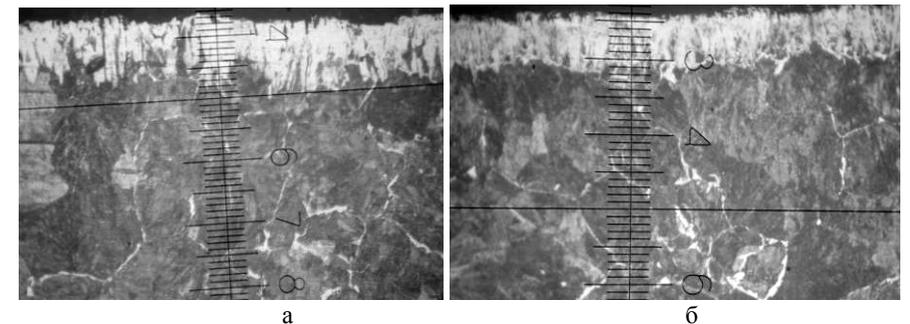


Рисунок 5–Толщина диффузионного слоя на литой стали 5ХНВ в зависимости от способа насыщения: а – изотермическая ХТО, 950 °С, 6 ч; б – ХТЦО, 950 °С, 3ч. Цена деления шкалы – 10 мкм

Установлено, что термоциклирование при борировании приводит к увеличению толщины слоя до 80 % на углеродистых сталях, с увеличением степени легированности эффект снижается с 70 % (литая сталь 5ХНВ) до 20 % (сталь X12М). С увеличением содержания углерода в стали снижается глубина борированного

слоя, как после изотермического высокотемпературного борирования, так и после термоциклического борирования (таблица 1, рисунки 4–6).

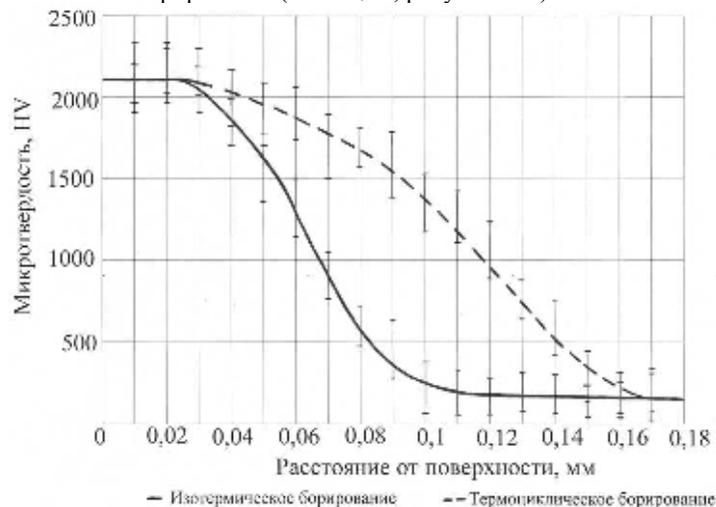


Рисунок 6 – Распределение микротвердости в зависимости от метода борирования (литая сталь 5ХНВ)

При борировании в условиях циклического изменения температуры значительно сокращается общее время процесса для получения упрочненного слоя. Так при термоциклировании с фазовыми превращениями на литой стали 5ХНВ достаточный для упрочнения боридный слой образуется за 3 часа, а при традиционном способе ХТО для этого необходимо затратить 6 часов. На стали Х12М также сокращается процесс образования слоя необходимой толщины в 2 раза (см. рисунки 4, 5). Для исследуемых сталей возможно совмещение борирования с окончательной ТЦО по оптимальным режимам.

В пятой главе приведены результаты практического применения разработанных способов упрочнения поверхностей. На основе выполненных разработок и ряда инженерно-технических решений прошли натурные испытания и нашли применение на ООО «Алтайский завод прецизионных изделий» (г. Барнаул) следующие востребованные производством и подтвержденные актами испытаний разработанные автором новые технологии ТЦО и ХТЦО:

–при проведении испытаний ножей из стали Х12М для рубки прутка на заготовки корпуса распылителя (рисунок 7а) упрочненных ТЦО по разработанным режимам стойкость повысилась в 2 раза. Кроме того, отсутствуют сколы инструмента при эксплуатации;

–при упрочнении рабочей поверхности кондукторных втулок (рисунок 7б) из стали Х12М для свёрл глубокого сверления топливоподводящих отверстий корпусов форсунок методом ХТЦО (термоциклическое борирование) стойкость повысилась в 4–5 раз. При этом отмечается уменьшение количества поломок свёрл.

Борирование вставок матриц для изготовления корпуса распылителя форсунки привело к увеличению их срока службы в три раза.

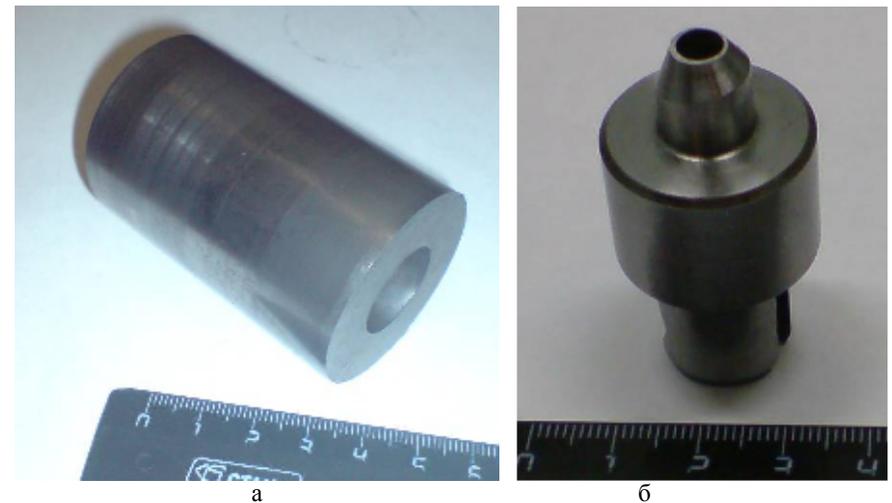


Рисунок 7 – Нож для рубки прутка на заготовки корпуса распылителя (а) и кондукторная втулка для свёрл глубокого сверления топливоподводящих отверстий корпусов форсунок (б)

Расчет экономической эффективности применения полученных в работе результатов показал, что экономический эффект составит 2607,847 тыс. рублей в год (в ценах 2006 г.), при условии полной замены вставок матриц для изготовления корпуса распылителя форсунки на ООО «Алтайский завод прецизионных изделий» (г. Барнаул) на вставки упрочненные методом ХТЦО

Высокая экономическая эффективность применения ХТЦО связана, прежде всего, с уменьшением расхода высоколегированной стали и существенным повышением эксплуатационных свойств (износостойкости) инструмента. Несмотря на то, что себестоимость инструмента несколько возросла после применения ХТЦО, экономическая целесообразность ее применения в производстве очевидна.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Установлены основные закономерности влияния температурно-временных параметров термоциклической обработки на физико-механические свойства инструментальной стали.

2. Построена математическая модель в виде аналитических зависимостей связывающих физико-механические свойства (твердость, ударная вязкость, прочность) с технологическими параметрами термоциклической обработки (количество циклов, температура и время) инструментальных сталей (X12M, 5X2НМФ, У10А и др.).

3. Установлено, что в сталях с различной исходной структурой формирование оптимального комплекса физико-механических свойств, сочетающего высокую твердость и прочность с достаточной пластичностью и ударной вязкостью, происходит при циклировании в интервале, где максимальная температура в цикле равна температуре закалки, а минимальная - температуре минимальной устойчивости переохлажденного аустенита данной стали. Сталь X12M при твердости

60–62 HRC_э и прочности $\sigma_{и}=5000$ МПа после ТЦО по оптимальным режимам имеет значения ударной вязкости $KC=0,8-0,9$ МДж/м².

4. Экспериментально установлено, что циклический нагрев и охлаждение во время ХТО значительно (до 2-х раз) ускоряют процесс диффузионного насыщения поверхности сталей бором независимо от их состава и исходного структурного состояния (литое состояние, деформированное и т. д.).

5. Проведены производственные испытания на ООО «Алтайский завод прецизионных изделий» (г. Барнаул) инструмента, подвергнутого ТЦО и ХТЦО по разработанным режимам. Испытания показали, что стойкость ножей из стали Х12М для рубки прутка на заготовки корпуса распылителя повысилась в 2 раза. Кроме того, исключились сколы инструмента при эксплуатации. Разработанная технология Термоциклического упрочнения рекомендована для изготовления ножей в инструментальном производстве. Стойкость упрочненных методом ХТЦО (термоциклическое борирование) кондукторных втулок из стали Х12М для свёрл глубокого сверления топливоподводящих отверстий корпусов форсунок повысилась в 4–5 раз. При этом отмечается уменьшение количества деталей с заломами свёрл. Разработанная технология рекомендована для обработки кондукторных втулок в инструментальном производстве.

Данная технология позволяет повышать износостойкость изделий без применения специального, сложного оборудования. При диффузионном насыщении бором, в структуре сталей образуются бориды железа, обладающие высокой твердостью, что способствует повышению износостойкости и теплостойкости изделий, эксплуатируемых в различных условиях.

6. Ожидаемый годовой экономический эффект при условии полной замены вставок матриц для изготовления корпуса распылителя форсунки на ООО «Алтайский завод прецизионных изделий» (г. Барнаул) составит 2607,847 тыс. рублей в год.

Основные результаты опубликованы в работах:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Гурьев, А. М. **Высокоэффективная технология термоциклического упрочнения конструкционных и инструментальных сталей** [Текст] / А. М. Гурьев, О. В. Шаметкина, О. А. Гурьева, А. А. Колядин // *Обработка металлов*, –2004.–№2.– С. 10–12.
2. Гурьев, А. М. **Термоциклическое и химико-темоциклическое упрочнение инструментальных сталей** [Текст] / А. М. Гурьев, Л. Г. Ворошнин, Ю. П. Хараев, Б. Д. Лыгденов, С. А. Земляков, О. А. Гурьева, А. А. Колядин, О. В. Попова // *Ползуновский вестник*.–2005.–№2.–С. 36–43.
3. Гурьев, А. М. **Влияние параметров борохромирования на структуру стали и физико-механические свойства диффузионного слоя** [Текст] / А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, Б.Д. Лыгденов, О.А. Власова, Е.А. Кошелева, М.А. Гурьев, И.А. Гармаева // *Ползуновский вестник*.–2007.–№3.–С.28–34.
4. Гурьев, А. М. **Фазовый состав и механизм образования диффузионного слоя при борировании сталей в условиях циклического теплового воздействия** [Текст] / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, О.А. Власова, С.Г. Иванов, Э.В. Козлов, И.А. Гармаева // *Упрочняющие технологии и покрытия*. - 2008.- №1. - С. 20-27.
5. Гармаева, И.А. **Исследование влияния различных факторов при борировании на механические свойства стали и определение ее математической модели** [Текст]

/ И.А. Гармаева, Б.Д. Лыгденов, А.М. Гурьев, **О.А. Власова** // Упрочняющие технологии и покрытия. -2008. -№10. -С. 20-24.

Статьи, отражающие основное содержание работы

6. Гурьев, А.М. Оптимизация термической обработки литых штампов горячего деформирования [Текст] / А.М. Гурьев, О.В. Шаметкина, **О.А. Гурьева** // Ползуновский альманах. -2003. -№3-4. -С.149.

7. Гурьев, А.М. Высокоэффективная технология термоциклического упрочнения сталей [Текст] / А.М. Гурьев, Л.Г. Ворошнин, С.А. Земляков, Е.Э. Баянова, А.А. Колядин, **О.А. Гурьева** // Ползуновский альманах.-2004. - №4 -С. 79-81.

8. Гурьева, О.А. Оптимизация термоциклической обработки инструментальной стали [Текст] / **О.А. Гурьева**, С.А. Земляков, А.М. Гурьев // Вестник АлтГТУ. -2005. -№3-4.- С.167-173.

9. Гурьева, О.А. Оптимизация термоциклической обработки инструментальной стали [Текст] / **О.А. Гурьева**, С.А. Земляков, А.М. Гурьев // Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств. -Изд-во АлтГТУ. - 2005. - С. 55.

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

11. Гурьев, А.М. Процесс диффузии в стали при циклическом тепловом воздействии [Текст] / А.М. Гурьев, Ю.П. Хараев, Б.Д. Лыгденов, **О.А. Гурьева** // Труды Международной научно-практической конференции “NOWODAYS, FUTURE AND FACED PROBLEMS OF METALLURGY AND MACHINERY FIELD” 05-06 May, 2006 in Ulaanbaatar, Mongolia, P. 14-15.

12. Гурьева, О.А. Термоциклическое борирование литых сталей [Текст] / **О.А. Гурьева**, С.Г. Иванов, А.М. Гурьев // Материалы VI Всероссийской школы-семинара с международным участием "Новые материалы. Создание, структура, свойства-2006" 13 – 15 июня 2006, г.Томск.- Изд-во ТПУ, 2006.- С.78-80.

13. Гурьев, А. М. Повышение прочности инструментальных сталей методом термоциклического борирования [Текст] / А. М. Гурьев, **О. А. Власова**, Б. Д. Лыгденов, С. Г. Иванов, И. А. Гармаева, А. Ц. Мижитов // XVII Петербургские чтения по проблемам прочности. Санкт-Петербург, 10-12 апреля 2007 г.: сборник материалов. – Ч.1. СПб., - 2007. - С. 196-197.

14. Власова, О.А. Повышение прочности диффузионных боридных покрытий термоциклированием в процессе получения [Текст] / **О.А. Власова**, М.Д. Старостенков, А.М. Гурьев // IV Международная школа- конференция «Микромеханизмы пластичности разрушения и сопутствующих явлений». Тамбов, 24-30 июня 2007 г.: материалы школы-конференции,–2007.–С.171–174.

15. Власова, О.А. Повышение прочности диффузионных карбоборидных покрытий термоциклированием в процессе их получения [Текст] / **О.А. Власова**, С.Г. Иванов, М.А. Гурьев, Е.А. Кошелева, А.М. Гурьев // IV Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь -2007», Барнаул:-Изд-во АлтГТУ, 2007.- С.65–67.

16. Guriev, A. M. Diffusion saturation of steels from coats./ S.G. Ivanov, B.D. Ligdenov, **O.A. Vlasova**, E.A. Kocheleva, I.A. Garmaeva, A.C. Mijitov // VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa. Czestochowa, 25 maja 2007. - P. 179–183.

17. Власова, О.А. Реализация процессов термоциклирования при борировании литых инструментальных сталей. [Текст] / **О.А. Власова**, А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, И.А. Гармаева // Расчет, диагностика и повышение надежности элементов машин: Меж-

вуз.сб. Выпуск 7 (ч.1)- Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та им. И.И Ползунова, 2007. - С. 44–49.

18. Власова, О.А. Оптимизация многокомпонентной химико-термической обработки стали 30X [Текст] / **О.А. Власова**, С.Г. Иванов, А.М. Гурьев, Е.А. Кошелева, С.А. Чех // Современные наукоёмкие технологии.-2008. -№3.- С. 54–55 .

19. Гурьев А.М. Исследование фазового состава и дефектного состояния градиентных структур борированных сталей [Текст] / А.М.Гурьев, Б.Д.Лыгденов, С.Г. Иванов, **О.А.Власова**, И.А. Гармаева, Е.А.Кошелева // IV-я Евразийская научно-практическая конференция «Прочность неоднородных структур». Москва, МИСиС.-2008. – С. 65.

20. Власова, О.А. Особенности тонкой структуры перлитной стали, сформировавшейся в результате циклического теплового воздействия [Текст] / **О.А. Власова**, М.Д. материалы–2008: тезисы докладов Открытой школы-конференции стран СНГ (Уфа, 4-9 августа 2008).- Уфа, Башкирский государственный университет, 2008.–С. 277–278.Старостенков, А.М. Гурьев, Н.А. Попова // Ультрамелкозернистые и наноструктурные

21. Власова, О.А. Особенности тонкой структуры перлитной стали, сформировавшейся в результате циклического теплового воздействия [Текст] / **О.А. Власова**, М.Д. Старостенков, А.М. Гурьев, Н.А. Попова // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. -2008. -№3.- С.71-74.

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

23. Гурьев, А.М. Совершенствование технологии химико-термической обработки инструментальных сталей [Текст] / А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, **О.А. Власова** // Обработка металлов.- №1, 2009.- С.14-16.

24. Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей [Текст]: пат. 2345175 Рос. Федерация: / А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, Б.Д. Лыгденов, С.А. Земляков, **О.А. Власова**, Е.А. Кошелева, М.А. Гурьев - № 2007112368/02: заявл. 03.04.2007: опубл. 27.01.2009. Бюл. №3.

25. Способ упрочнения деталей из штамповых сталей [Текст]: решение о выдаче патента на изобретение / А. М. Гурьев, С.Г. Иванов, С.А. Земляков, **О. А. Власова**, Е.А. Кошелева, М.А. Гурьев - № 2007127587/02: заявл. 18.07.2007. Реш. 18 декабря 2008.

Издано в авторской редакции.

Подписано в печать 12.05.09. Формат 60x84 1/16.

Печать - ризография. Усл. п. л. 0,93.

Тираж 100 экз. Заказ 2009 – 25

Издательство Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.

Лицензия на издательскую деятельность ЛР№ 020822 от 21.09.98 г.