

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Донецкий национальный технический университет»

На правах рукописи

ГЕОРГИАДУ МАРИЯ ВИКТОРОВНА



**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
РАЗМЕРНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА
И ДЕТАЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНЫХ
ТРАНСФОРМАЦИЙ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Специальность 05.16.01 - Metalловедение и термическая обработка металлов и сплавов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк - 2016

Работа выполнена в ГОУВПО ДонНТУ Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики, г. Донецк

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
АЛИМОВ Валерий Иванович,
ГОУВПО ДонНТУ Министерства образования и науки
Донецкой Народной Республики, профессор кафедры
«Физическое материаловедение».

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
РЯБИЧЕВА Людмила Александровна,
ГОУВПО «Луганский государственный университет
имени Владимира Даля», (г. Луганск), заведующая кафедрой
«Материаловедение и строительство»;

кандидат технических наук, доцент,
КОРОБКО Тамара Борисовна,
ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», (г. Алчевск), доцент кафедры «Обработка металла давлением и металловедение».

Ведущая организация: ГОУВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка.

Защита состоится 22 декабря 2016 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 01.019.03 при ГОУВПО ДонНТУ по адресу: 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, I учебный корпус, малый актовЫй зал. Тел.: +380 (62) 304-30-55, эл. почта: vchenarada@donntu.org

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО ДонНТУ по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, II учебный корпус, интернет – <http://donntu.org>

Автореферат разослан _____ 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 01.019.03,
д.т.н., проф.



А.В. Яковченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Большинство точных деталей машин и инструмента выходят из строя вследствие износа рабочей поверхности, при этом их размерные изменения выходят за пределы допускаемых. Для восстановления режущего инструмента и деталей повышенной точности, применяют технологии, связанные со значительным термическим воздействием, сложными процессами наплавки и напайки; термическое размерное восстановление носит не систематизированный характер; предлагаемые и распространенные технологии направлены, в основном, на залечивание микродефектов после продолжительной эксплуатации; к увеличению размеров, относятся как к отрицательному последствию термического влияния. Усовершенствование технологических режимов размерного термического восстановления изношенных при эксплуатации осесимметричных изделий без применения сложных технологических режимов является такой же актуальной задачей, как и дальнейшее развитие методов вторичного передела режущего инструмента с упрощением технологического процесса путем исключения цикла переплавки металла.

Степень разработанности темы. Вопросы, рассматриваемые в рамках исследования, относятся к термическому восстановлению, нашедшему применение в виде высокотемпературных нагревов, размерное термическое восстановление при температурах нагрева ниже фазовых превращений остается до конца не изученным в плане технологии и механизмов.

Значительный вклад в разработку теории и технологии размерной восстановительной обработки внесли: Хенкин М.Л., Локшин И.Х., Куманин В.И., Ляхович Л.С., Минкевич А.Н., Геллер Ю.А., Жванис Ю.И., Баранов А.А., Заблоцкий В.К., Ткаченко Ф.К., Воробьев В.Г., Шкуратов Ф.И. и др.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является усовершенствования технологических режимов размерного термического восстановления инструмента и деталей повышенной точности на основе структурных трансформаций при их эксплуатации.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы основные задачи исследования: 1. Исследовать влияние структурных факторов на способность к размерному термическому восстановлению; 2. Предложить режимы термической восстановительной размерной обработки, которая позволила бы восстановить радиальные размеры изношенных при эксплуатации осесимметричных изделий; 3. Разработать режим восстановления путем вторичного передела быстрорежущего инструмента, без цикла переплавки металла с дальнейшим размерным восстановлением после структурных трансформаций при эксплуатации; 4. Систематизировать особенности структурообразования в быстрорежущих сталях при восстановлении термической обработкой вторичного инструмента; 6. Систематизировать особенности структурообразования в быстрорежущих сталях при влиянии исходной неравновесной структуры при газовой коррозии; 7. Разработать режимы восстановительной обработки для увеличения размеров осесимметричных изделий, изношенных выше границ допуска.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является восстановительная размерная обработка инструмента и деталей повышенной точности, а предметом – процессы термического, в том числе химико-термического размерного восстановления осесимметричного инструмента и деталей повышенной точности.

Научная новизна полученных результатов.

1. Впервые предложена классификация факторов, влияющих на механизм размерного восстановления на основе термического, в том числе химико-термического воздействия на изношенный инструмент и детали повышенной точности. При трансформации микроструктуры во время эксплуатации основной составляющей изменения радиальных размеров являются термические и деформационные напряжения (70-75 %), кристаллизационные и остаточные напряжения (3-5 %); условия и характер влияния на геометрию изделий (8-10 %); тип, количество, размеры, форма и распределение карбидов (7-9 %); зернограницные реакции влияют в зависимости от типа реакции (0,5-1 %); микроизменения в кристаллической решетке и блочной структуре (0,2-0,5 %).

2. Получили дальнейшее развитие представления о механизме размерного восстановления при термическом воздействии после структурных трансформаций в стальных изделиях во время их эксплуатации. Объемное сжатие в поверхностных слоях, при воздействии температуры переходит в упругое последствие; трансформированная микроструктура может включать вновь образовавшиеся и неравновесные фазы; действие этих факторов приводит к увеличению удельного объема изделия и восстановлению радиальных размеров.

3. Получили дальнейшее развитие представления о механизме влияния предварительного деформирования на процессы структурообразования при восстановлении режущего инструмента со значительным износом при эксплуатации. При восстановлении инструмента с исходной неравновесной структурой, путем вторичной переработки в твердом состоянии, исключая этап переплава металла, измельчаются карбиды до размера 2-3 мкм; фактор формы приближается к 1, степень неравноосности снижается, что дает возможность снижения температуры нагрева под закалку с сохранением комплекса свойств.

4. Получил дальнейшее развитие механизм активации процесса химико-термического восстановления при окислении и химико-термическом воздействии с диффузионным насыщением при температурах ниже точки Шадрона. Установлено, что оксиды железа Fe_xO_y , образующиеся при этом, играют функцию транспортировщиков насыщающего элемента; при увеличении температуры от 500 до 650 °С, оксиды восстанавливаются до нестехиометрических, происходит перенос необходимых насыщающих элементов в поверхностные слои изделий.

5. Впервые установлено, что при нагреве быстрорежущей стали с исходной неравновесной структурой от 200 до 1130 °С, энергия активации при окислении поверхности постепенно уменьшается от 70 до 40 кДж/моль. Это является следствием сохранения влияния типа сформированной при первичной термообработке микроструктуры и ее трансформацией во время эксплуатации.

Практическая значимость работы.

1. Технология термического восстановления размеров инструмента с нагревом ниже температуры фазовых превращений, позволяющая восстанавливать размеры инструмента, изношенного при эксплуатации ниже верхней границы допуска, при этом изделия нагревают до температур $550 \pm 50^\circ\text{C}$, выдерживают в течение 1 -3 ч и охлаждают на воздухе.

2. Новые смеси и технология, включающая предварительное окисление, для химико-термического восстановления размеров изношенного инструмента, позволяющие ускорить и технологически упростить процесс насыщения в сравнении с традиционным газовым азотированием; предложенные составы защищены патентами Украины №№ 55083, 61491.

3. Технология получения вторичного режущего инструмента, отличающаяся отсутствием процесса переплавки металла; работоспособность вторичного инструмента, полученного по предлагаемой технологии находится на уровне нового быстрорежущего инструмента; технологию восстановления сломанного инструмента защищена патентом Украины № 46789.

4. Технология наращивания изношенных ниже нижней границы допуска при эксплуатации металлических изделий повышенной точности железнением и дальнейшей термической обработкой, позволяющая получить на изделиях необходимый уровень свойств и восстановить радиальные размеры.

5. Устройства для коррозионно-абразивного и локального износа, позволяющие моделировать условия работы инструмента и деталей повышенной точности (пат. №№ 17644, 27165, 49721).

Результаты диссертационной работы внедрены на производственном предприятии «Кристина» (Донецк) и в условиях ОАО «Донсплав», ДП «Техноскрап», ОАО «Скрап», ООО «Гефест» (Донецк) и ГОУВПО ДонНТУ.

Методология и методы исследования.

Для решения поставленных задач исследования, с получением обладающих новизной результатов, использован следующий комплекс базовых методов теоретического и экспериментального исследования: методы микроструктурного качественного и количественного анализа; методы измерения коррозионных, абразивных и коррозионно-абразивных свойств; методы математического вероятностного моделирования влияния структурных факторов на способность к изменению размеров металлических изделий; метод термического, в том числе химико-термического восстановления радиальных размеров осесимметричных изделий; методы статистической обработки производственных данных для выявления круга исследуемых изделий и постановки задач; методы получения вторичного инструмента путем восстановления вышедшего из строя инструмента, минуя этап переплава.

Положения, выносимые на защиту. Следующие основные научные разработки и положения выносятся на защиту:

- методы радиального размерного термического и химико-термического восстановления осесимметричных металлических изделий повышенной точности в зависимости от степени износа;

- методологические основы увеличения срока службы осесимметричных металлических изношенных изделий наращиванием размеров железнением;
- метод активации оксидами скорости насыщения металлических изделий, со структурой поверхностных слоев, трансформированной эксплуатацией.

Степень достоверности и апробация результатов диссертации.

Достоверность и новизна научных и технических решений, обоснованность выводов и рекомендаций подтверждаются корректным использованием методов исследования и научных теорий, результатами экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях, сопоставлением результатов экспериментальных исследований с теоретическими выводами.

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на научных семинарах кафедры «Физическое материаловедение» ГОУВПО ДонНТУ (2014...2016 гг.) и конференциях: VI, VII Международные конференции «Стратегия качества в промышленности и образованию». Варна, Болгария, 2010, 2011 гг.; XI Международная научно-техническая конференция. Запорожье, 2008 г.; Международная научная конференция, Львов, 2007, 2009 гг. XI, XIII, XV, XVI Международные научно-технические уральские школы-семинары молодых ученых-металловедов, Екатеринбург, 2009, 2011, 2013, 2015 гг.; Международная научная конференция «Научная периодика славянских стран в условиях глобализации», Киев, 2012 г.; Международные Научные чтения им. И.А. Одингга «Механические свойства современных конструкционных материалов», Москва, 2014 г.; VI Международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов», Москва, 2015 г.; Международные научные конференции «Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні», Луганский государственный университет им. В.Даля, Луганск, 2013-2016 гг.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе «Анализ современных технологических режимов восстановления инструмента и деталей повышенной точности» установлено, что детально рассмотрено восстановление наплавкой, покрытиями. Термическому восстановлению посвящены отдельные работы, связанные с выявлением закономерностей залечивания микропор, регенерацией структуры, выбором параметров восстановительной термообработки при разной степени поврежденности и неравновесности после эксплуатации. Мало сведений о размерном термическом восстановлении изношенных изделий и изменении микроструктуры деформированием при вторичном переделе режущего инструмента.

Диссертационная работа направлена на усовершенствование технологических режимов размерного термического восстановления инструмента и деталей повышенной точности на основе структурных трансформации при их эксплуатации. В случае поломки режущего инструмента рассматривается его вторичное изготовление, минуя цикл переплавки металла, дальнейшая эксплуатация и циклическое размерное термическое восстановление. Исходя из этого, в работе обоснованы цель и сформулированы задачи исследования.

Во втором разделе «Методика исследований размерного термического восстановления осесимметричного инструмента и деталей повышенной точности» при анализе причин выхода из строя изделий повышенной точности применяли методы статистической обработки данных, исследовали быстрорежущие, конструкционные стали, армко-железо и твердые сплавы. Микроструктурные исследования проводили микроскопами моделей Neophot -21, МИМ - 7 и NU-2.

Изношенный инструмент и детали повышенной точности при размерном термическом восстановлении нагревали в камерной печи типа СНОЛ в воздушной среде при температурах 500-650°C в течение 1-3 ч.

Для вторичного передела быстрорежущего инструмента использовали эксплуатировавшиеся и вышедшие из строя протяжки, образцы деформировали, термообработывали. Восстановление деформированием проводили на натурном быстрорежущем инструменте из сталей типа Р6М5, сломанный инструмент перековывали и деформировали на стане ДУО -100, термообработывали. Состав карбидов, количество остаточного аустенита определяли рентгеноструктурно-фазовым анализом на аппарате ДРОН-3Г и программой Crystallographic Search-Match. Поперечный размер карбидов стали Р18 рассчитывали программой UTHSCSA Image Tool-3 с дальнейшей обработкой данных.

Восстановление радиальных размеров осесимметричных изделий, преимущественно инструмента и деталей гидравлики шахтной крепи проводили химико-термическим размерным восстановлением азотированием (пат. №№ 55083, 61491). Восстанавливали термически сопряженные детали типа внутренних колец подшипников, измеряли твердость и изменение линейных размеров. Дополнительное восстановление изделий, изношенных ниже минимальной степени, проводили гальваническим и диффузионным железнением.

После окончательной восстановительной обработки образцы исследовали на коррозионно-абразивный износ на экспериментальной установке в условиях влажного и сухого трения (патенты Украины №№ 17644, 27165).

В третьем разделе «Анализ качества и причин выхода из строя инструмента и деталей повышенной точности на машиностроительных предприятиях Донбасса» проведен анализ причин выхода изделий повышенной точности за последние 10-15 лет.

Анализом производства ЗАО «Луганский завод коленчатых валов» (2001 - 2005 г) и Азовского судоремонтного завода (Мариуполь) (2005 - 2010 г), Луганского ДП «Точлит» (2007 - 2011 г) установлено, что из всей номенклатуры инструмента наибольшая группа - сверла; основной причиной выхода из строя является износ поверхности и механическое разрушение. Анализом причин выхода из строя резцов на Харцызском трубном заводе за период 2004 - 2006 г, и архивные данные, установлены основные причины выхода из строя: катастрофический износ (70 %), скол режущей кромки и разрушение (21 %), и др.

Установленные причины выхода из строя являются основанием для формулировки основных этапов работы, направленных на размерное термическое восстановление изношенных радиальных размеров осесимметричных изделий, вторичную переработку сломанного инструмента минуя цикл переплава, т.е.

используя трансформированную при эксплуатации микроструктуру и дальнейшее термическое восстановление при потере рабочих размеров.

В четвертом разделе «Усовершенствование технологических режимов термического восстановления размеров инструмента» содержатся результаты разработки стратегии восстановительной размерной термической обработки инструмента термическим воздействием. Принципиальная схема выбора путей восстановления базируется на значениях рабочих размеров инструмента после эксплуатации относительно поля допуска (рисунок 1).

Анализом факторов, влияющих на механизм восстановления рабочих размеров быстрорежущего инструмента и деталей повышенной точности после трансформации микроструктуры при эксплуатации установлено, что факторы делятся на группы, при этом основной вклад в изменение размеров вносят различные виды напряжений. Анализ вклада деформационных напряжений в изменение радиальных размеров при термическом восстановлении рассчитывали опираясь на то, что радиальные напряжения определяются как напряжения в поверхностном слое и внутренней части толстостенного цилиндра; отсюда радиус термически восстановленного осесимметричного изделия $R_{изд}$ можно выразить, как $R_{изд} = 3\pi\alpha R_{нач}^2$, где α - коэффициент теплового расширения, а $R_{нач}$ - начальный радиус восстанавливаемого изделия. При расчете изменения

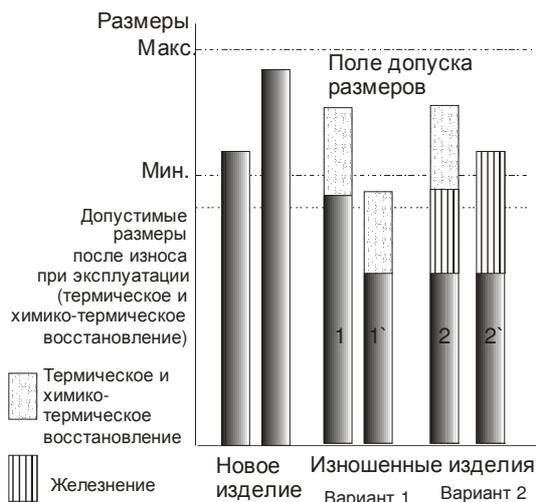


Рисунок 1. Концептуальная схема размерного термического восстановления

размеров при термическом восстановлении сверл из стали Р6М5 влияние растворенных легирующих элементов и карбидов в кристаллической решетке железа составляет, в среднем, 2-3 %; карбидная составляющая вносит около 1,5 %; напряжения после эксплуатации, деформации и трансформации структуры тонкого поверхностного слоя оказывает более заметное влияние на увеличение размеров сверл; влияние формы изделия состоит из сложной формы сверла и деформации его при эксплуатации. При расчетах были использованы данные: $r=10$ мм, $t_b=550$ °С, остальные значения выбрали характерные для Р6М5. Расчет показал увеличение диаметра сверл на 7,4 %.

Подтверждение теоретических расчетов проводили на резцах, поверхность которых при шлифовании наклепывалась, образовывались слои с повышенным содержанием остаточного аустенита, при дополнительном отпуске происходил его распад, и снижение уровня напряжений. Повышается температуры разогрева режущей кромки, появляются высокие значения напряжений; изменения происходят за короткое время, при охлаждении рекристаллизация не успевает пройти, трансформируется микроструктура.

Восстановление размеров термическим влиянием натурального осесимметричного инструмента с исходными диаметрами 11,8 и 20,0 мм показало увеличение размеров на 0,024 и 0,013 мм; различие значений может быть связано с отличающимися режимами исходной термической обработки и степени износа. Восстановление рабочих размеров быстрорежущего осесимметричного инструмента в ДП «Точлит», показало повышение стойкости в 2 раза и коррозионно-абразивной износостойкости на 20 %. Размерное термическое восстановление осесимметричных пуансонов из твердого сплава ВК15 показало прирост размеров до 5 %; при увеличении продолжительности выдержки способность восстанавливаться уменьшается, что связано с уменьшением доли дефектов структуры. Восстановление повторным переделом сломанного быстрорежущего инструмента путем пластической деформации, минуя цикл переплава (пат. № 46789) показало, что основной размер карбидов в образцах из стали Р18 1,5-4 мкм, сфероидизация приближает фактор формы к 0,98 (≈ 70 %). При закалке от температур нагрева выше 1100°C зерно деформированного аустенита увеличивается с 14 до 10 номера. Для недеформированных образцов зерно не увеличивается после нагрева до температур 1150 °С. Это свидетельствует о том, что предварительная эксплуатация облегчает растворение мелких карбидов в матрице. Твердость после закалки деформированных образцов находится в пределах 53-58 HRC, недеформированных - 56-65 HRC. В недеформированных образцах присутствуют крупные карбиды (80 мкм); при увеличении температуры нагрева размер карбидов уменьшается. После отпуска карбиды имеют размер, в основном, 3-4 мкм, что характерно для деформированного и недеформированного состояний. Исследование теплостойкости образцов, закаленных от пониженных температур, показало значение на уровне инструмента первичного изготовления. Горячее деформирование способствует уменьшению размеров карбидов (доля карбидов балла 3 уменьшилась, доля карбидов размерами более 32 мкм уменьшилась почти в 5 раз). Распределение среднего условного диаметра карбидов по размерам подчиняется в общем случае экспоненциальной зависимости, частотные функции приближаются к симметричному ряду, т.е. предложенная схема обработки способствует получению более равномерного распределения структурных составляющих в быстрорежущем инструменте.

Изготовленные токарные резцы с применением вышедшего из строя после эксплуатации инструмента использованные в ООО «Гефест» в условиях сухого трения в течение двух месяцев и показали соответствие уровню эксплуатационных свойств аналогичного инструмента первичного изготовления.

После холодной деформации микроструктура характеризуется карбидами округлой формы, равномерно распределенными, с высокой степенью дисперсности. Ускоренный нагрев в расплаве солей обеспечивает размер зерна аустенита номер № 13-14. Коррозионно-абразивные испытания показали наибольшую стойкость у образцов из стали Р6М5К5, предварительно деформированных со степенью 35%; в порошковых сталях изнашивались в большей степени стали с более мелким зерном, т.к. поверхность имеет больше избыточных карбидов, и они выкрашивающихся при контакте со средой.

Термическое окисление образцов с разным исходным структурным состоянием после литья, горячей деформации, отжига на зернистый перлит, механической обработки резанием и эксплуатации показало, что одинаковая по химическому составу сталь существенно отличается по кинетике окисления при нагревах в зависимости от исходного структурного состояния. Структура с накопленными повреждениями и дефектами более стойкая к окислению в температурном интервале термического восстановления (таблица 1).

Таблица 1. Влияние исходной структуры на показатели газовой коррозии

Исходное состояние:	Температурный интервал, °С	Энергия активации, Q, кДж/моль	Предэкспоненциальный множитель, A, г/м ² ·г	Уравнение, K _m ⁺ =f(T)
Литое	200–520	57,3	48·10 ⁶	48·10 ⁶ · e ^{-6997,2/T}
	520–800	7,8	578	578,096· e ^{-962,6/T}
	800–1130	67,4	530,8·10 ³	530,8·10 ³ · e ^{-9290,7/T}
После эксплуатации	200–350	68,7	1,93·10 ⁶	1,93·10 ⁶ · e ^{-6020/T}
	350–575	5,9	421,5	421,5· e ^{-711,2/T}
	575–1130	38,5	43,3·10 ³	43,3·10 ³ · e ^{-4637,7/T}

В пятом разделе «Усовершенствование технологических режимов химико-термического восстановления инструмента» показана возможность размерного термического восстановления инструмента, изношенного при эксплуатации ниже минимального уровня поля допуска.

Увеличение способности к восстановлению можно достичь внедрением в поверхностный слой изношенных металлических изделий при диффузионном насыщении фаз с большим удельным объемом. Азотирование и комбинированная химико-термическая обработка при температурах, близких к точке Шадрона позволяет использовать накопленные при эксплуатации структурные и деформационные дефекты. Предварительное окисление способствует образованию в поверхностных слоях оксидов железа, выполняющих транспортную функцию насыщающего элемента. При увеличении температуры оксиды железа восстанавливаются до нестехиометрического состава, происходит перенос необходимых насыщающих элементов к поверхностным слоям, что способствует повышению активности насыщающей порошковой смеси и увеличению адсорбирующей способности поверхности. Прирост размеров режущей части сверл диаметром 4-6 мм из стали Р6М5 при температуре 550°С составляет, в среднем 0,3 мм. При азотировании с предварительным окислением, происходит изменение размеров в большей степени. Микротвердость основного металла 8566 – 8974, азотированного слоя – 11100 – 11700 Н/мм². С ростом температуры восстановления способность инструмента увеличивать размеры уменьшается, что может быть связано с уменьшением дефектности структуры.

В шестом разделе «Размерное термическое восстановление осесимметричных деталей повышенной точности, изношенных ниже минимальной степени» способы восстановления, отработанные на инструменте, опробованы на деталях машиностроения повышенной точности.

Для деталей гидравлики шахтной крепи при износе ниже минимальной степени (рисунок 1), рекомендуется проводить размерное химико-термическое восстановление. Размеры увеличиваются, в среднем, на 0,5-1,0 %. Эффект размерного восстановления сверл из Р6М5 выше, чем деталей из 35ХГСА, что подтверждает теоретические расчеты (раздел 2). Причина может заключаться в различии химического состава и уровня накопленных напряжений. В процессе эксплуатации сопряженных деталей подвижного внутреннего диаметра колец подшипников увеличивается. Относительное изменение размеров образцов в трех направлениях после размерного восстановления составляет от -0,1151 до +0,5422 мм. Изменение размеров связано с изменением микроструктуры, снятием и перераспределением напряжений. Для изделий, изношенных при эксплуатации ниже нижней границы допуска, применено железнение, с возможностью дальнейшего придания наращенным слоям необходимых свойств.

В седьмом разделе «Экономическая эффективность восстановительной обработки и переработки режущего инструмента» приводятся и обсуждаются результаты восстановительной обработки режущего инструмента, рекомендованного к внедрению на машиностроительных предприятиях.

Для условий Донецкого производственного предприятия «Кристина» разработан эскиз проекта термического мини-участка для термического восстановления осесимметричного инструмента, деталей повышенной точности. Его внедрение позволит получить экономический эффект от уменьшения простоев производства, затрат на ремонт холодильного оборудования порядка 2142 тыс. грн. в год, при долевом участии автора 170 тыс. грн. в год (8 %).

Изготовление вторичного режущего инструмента без цикла переплава рекомендовано для условий ООО «Гефест». Апробирована партия резцов с напаянными пластинами из быстрорежущей стали Р18. Инструмент соответствовал уровню эксплуатационных свойств аналогичного инструмента первичного производства. Ожидаемая экономическая эффективность от внедрения технологии вторичного использования резцов составляет 177 – 247 грн. на один резец.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная **научно техническая задача**, заключающаяся в усовершенствовании технологических режимов размерного термического восстановления инструмента и деталей повышенной точности с использованием структурных трансформаций при их эксплуатации путем термического и химико-термического воздействия с насыщением трансформированного поверхностного слоя элементами, образующими фазы с большим удельным объемом, а также усовершенствованием вторичного производства быстрорежущего инструмента с использованием деформирования, минуя цикл переплава металла и с учетом исходной неравновесной микроструктуры, соз-

данной предшествующей эксплуатацией, **что имеет важное значение для создания энерго- и ресурсосберегающих технологий при продлении срока эксплуатации изделий.**

Основные научные и практические результаты работы:

1. Анализом источников информации показано, что основными направлениями восстановления изношенного инструмента из быстрорежущих сталей являются наплавка и размерное термическое восстановление. Усовершенствование технологии размерного термического восстановления инструмента из быстрорежущих сталей и деталей повышенной точности является актуальной задачей в современных условиях промышленного производства.

2. Размерное термическое восстановление изношенного осесимметричного инструмента рекомендуется проводить путем нагрева до температур ниже температур фазовой перекристаллизации, при этом достигается увеличение радиальных размеров, и суммарное увеличение срока эксплуатации - до 2-2,5 раз. При увеличении исходной степени износа возможно химико-термическое восстановление с насыщением поверхности элементами, образующими фазы с большим удельным объемом; прирост радиальных размеров составляет 4 %.

3. Получили дальнейшее развитие представления о механизме размерного восстановления при термическом воздействии после структурных трансформаций в стальных изделиях и накопления дефектов во время их эксплуатации, базирующиеся на том, что объемное сжатие в поверхностных слоях, полученное при эксплуатации, при воздействии температуры стимулирует упругое последствие; трансформированная микроструктура поверхностных слоев, может состоять из неравновесных структур, имеющих удельный объем меньше, чем исходный; суммарное действие факторов приводит к увеличению удельного объема изделия и восстановлению его радиальных размеров.

4. Получил дальнейшее развитие анализ механизма активации процесса химико-термического восстановления при окислении и химико-термическом воздействии с диффузионным насыщением при температурах в окрестности точки Шадрона; оксиды железа, образующиеся при этом, активизируют транспортные реакции по отношению к насыщающему элементу; при увеличении температуры от 500 до 650 °С, оксиды восстанавливаются до нестехиометрических, при их восстановлении происходит перенос насыщающих элементов в поверхностные слои стальных изделий.

5. Установлена возможность восстановления быстрорежущего осесимметричного инструмента, разрушенного при эксплуатации, путем его вторичного изготовления без процессов переплава; трансформированная структура облегчает растворение карбидов в металлической матрице, что обеспечивает возможность снижения температуры нагрева под закалку без потери теплостойкости и твердости; изготовленный таким путем вторичный инструмент характеризуется работоспособностью на уровне первично изготовленного.

6. Установлена возможность термического, в том числе химико-термического, размерного восстановления инструмента из твердых сплавов и деталей машин повышенной точности из конструкционных сталей по схемам

термического восстановления осесимметричного инструмента с использованием исходной неравновесной структуры.

7. Нарращивание изношенных ниже нижней границы допуска при эксплуатации металлических изделий повышенной точности железнением и дальнейшей термической обработкой, обеспечивает не только размерное восстановление, но повышает уровень свойств.

8. Экономический эффект в виде реализуемой продукции в условиях Донецкого ПП «Кристина» составляет 2142 тыс. грн. в год, при долевого участия автора порядка 8 % за счет увеличения срока службы восстановленных сменных деталей и инструмента, т.е. 170 тыс. грн. в год. Ожидаемая экономическая эффективность от внедрения в производство технологии восстановления инструмента составляет около 177 – 247 грн на резец.

В научно-исследовательский процесс внедрены методики: а) оценка размерного состава карбидной фазы в быстрорежущих сталях; б) особенности газовой коррозии быстрорежущих сталей в связи с их исходным структурным состоянием. В учебный процесс и лабораторный практикум внедрен метод контроля коррозионной стойкости (пат. №№ 17644, 27165). Лабораторные работы утверждены на кафедре «Физическое материаловедение» (2007-2012 гг.), включены в учебное пособие «Термическая обработка и коррозия металлов» (2008 г.), «Основы термической обработки и коррозии металлов» (2010 г.).

9. Научные результаты исследования перспективны для дальнейшей разработки методологии оценки корректного вклада параметров размерной восстановительной термической обработки в величину изменения асимметричных размеров изделий повышенной точности и управления ими, а также тиражирование результатов в других сферах научных знаний.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные работы, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях

1. Алімов, В.І. Термічне відновлення радіальних розмірів деталей гідравліки шахтного кріплення / В.І. Алімов, **М.В. Георгіаду**, Л.О. Желтобрюх // Уголь Украины. - 2014. – №5. – С. 34-38. (*Технологические режимы и факторы влияния на способность к восстановлению деталей повышенной точности*).

2. Алімов, В.І. хіміко-термічне відновлення розмірів прецизійних виробів / В.І. Алімов, **М.В. Георгіаду**, О.В. Ткач // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. - 2013. – С. 87-97. (*Влияние исходного состояния на энергию активации при окислении*).

3. Термічне розмірне відновлення високоточних деталей та інструменту / В.І. Алімов, **М.В. Георгіаду**, О.І. Шевелєв, В.В. Зубенко // Обработка материалов давлением. - 2012. – №3(32). – С. 223-230. (*Уточнены факторы влияния на способность к термическому восстановлению режущего инструмента*).

4. Алимов, В.И. Трансформация размерного состава карбидов при вторичном переделе быстрорежущего инструмента / В.И. Алимов, Ю.В. Лобкова,

М.В. Георгиаду // Восточно-Европейский журнал передовых технологий - 2011 - №12(177). – С. 308-315. (*Обобщены параметры восстановления деформированием сломанного инструмента, минуя цикл переплава металла с использованием трансформированной при эксплуатации микроструктуры*).

5. Алимов, В.И. Термическое восстановление размеров сопрягаемых деталей подвижного состава / В.И. Алимов, Р.Р. Харисова, **М.В. Георгиаду** // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. Зб. наук. праць - 2011. - С. 87-97. (*Уточнены параметры восстановления деформированием инструмента, минуя цикл переплава с использованием трансформированной при эксплуатации микроструктуры*).

6. Алимов, В.И. Пути совершенствования деформационно-термической обработки быстрорежущих сталей/ В.И. Алимов, Ю.В. Лобкова, **М.В. Георгиаду** // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. - 2008 - №1(11). – С. 25-31. (*Определены параметры восстановления деформированием без цикла переплава с учетом трансформированной эксплуатацией микроструктуры*).

7. Алімов, В.І. Властивості швидкорізальної сталі після відновлення зношеного інструменту / В.І. Алімов, **М.В. Георгиаду**, Н.В. Жертовська // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. - 2010 - №3(20). – С. 14-17. (*Технологические особенности термического восстановления инструмента*).

8. Алимов В.И. Продукты окисления на стали как интенсификаторы химико-термической обработки / В.И. Алимов, А.П. Штихно, **М.В. Георгиаду** // Наук. Праці ДонНТУ. Металургія. - 2007. – №10(175). – С. 208-211. (*Уточнен механизм активации процесса химико-термического восстановления при окислении и диффузионном насыщении при температурах ниже точки Шадрона*).

9. Алимов, В.И. Структура и свойства железненного слоя на стальных изделиях / В.И. Алимов, И.А. Уманская, **М.В. Георгиаду** // Наукові праці ДонНТУ. Металургія. - 2010 - №12(177). – С. 308-315. (*Установлены технологические особенности размерного восстановления с износом ниже минимального*).

10. Алимов, В.И. Перспективы совершенствования металлорежущего инструмента для обработки металлоконструкций / В.И. Алимов, Ю.В. Лобкова, **М.В. Георгиаду** // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, 2007 - №12(177). – С. 308-315. (*Определены параметры восстановления инструмента холодной пластической деформацией*).

11. **Георгиаду, М.В.** Відновлення високоточних металовиробів додатковими нагріваними // Технологический аудит и резервы производства. - 2012 - №3/2(5). – С. 13-14. (*Обобщены параметры восстановления быстрорежущего инструмента пластической деформацией*).

12. Alimov, V.I. To a question of the restoration of crucial tool and details after the exploitation / V.I. Alimov, **M.V. Georgiadoy**, L.O. Zheltobruh // Сб. трудов «Стратегия качества в промышленности и образовании». – Варна, Болгария. - 2010. – С. 63-66. (*Уточнены технологические режимы химико-термического восстановления деталей повышенной точности*).

13. Alimov, V.I. Size restoration tool by chemical-thermal treatment / V.I. Alimov, **M.V. Georgiadoy**, L.O. Zheltobruh // Сб. трудов «Стратегия качества в

промышленности и образовании». – Варна, Болгария. - 2011. – С. 52-55. (*Рассмотрены факторы влияния на способность к термическому восстановлению*).

Научные работы, опубликованные в других журналах и изданиях

14. Алімов, В.І. Шляхи відновлення високоточних металовиробів додатковими нагріваними / В.І. Алімов, **М.В. Георгіаду** // Сб. праць «Донбас-2020: перспективи розвитку очима молодих вчених», Донецьк. - 2012. - С. 225-227. (*Предложены технологические режимы и факторы влияния на способность к термическому восстановлению режущего инструмента*).

15. Алімов, В.І. Відновлення інструменту зі швидкорізальної сталі / В.І. Алімов, М.Т. Єгоров, **М.В. Георгіаду (Афанасьєва)** // Зб. праць «Нові конструкційні сталі та стопи», Запоріжжя. - 2008. – С. 143-145. (*Исследованы технологические особенности термического восстановления различных видов осесимметричного быстрорежущего инструмента*).

16. Алімов, В.І. Размерные изменения в стальных изделиях при трансформации карбидов / В.І. Алімов, **М.В. Георгіаду**, Л.О. Желтобрюх // Сб. праць «Сучасні аспекти металознавства та термічної обробки металів», Маріуполь: ПДТУ. - 2010. – С. 53-56. (*Уточнен механизм размерного термического восстановления на основе структурных трансформаций карбидной фазы*).

17. Розмірне термічне відновлення металевих виробів гарантованої точності / В.І. Алімов, **М.В. Георгіаду**, О.Б. Белєвцов, Р.Ю. Велічко // Сб. тезисов докладов, Маріуполь: ПДТУ. - 2013. – С. 82-84. (*Установлены технологические особенности размерного восстановления пуансонов из твердых сплавов, изношенных при эксплуатации ниже минимального уровня*).

18. Пат. 17644 Україна, МПК(2006), G01N 3/56, G01N 17/00. Пристрій для випробувань на корозійно-абразивний знос / Алімов В.І., Штихно А.П., **Афанасьєва (Георгіаду) М.В.**; заявник і патентовласник Донецький національний технічний університет; опубл. 16.10.2006, Бюл. №10. – 4 с. (*Определена коррозионно-абразивная стойкость после восстановления*).

19. Пат. 27165 Україна, МПК(2006), G01N 3/56, G01N 17/00. Пристрій для випробувань на газово-абразивний знос / Алімов В.І., Штихно А.П., **Афанасьєва (Георгіаду) М.В.**; заявник і патентовласник Донецький національний технічний університет; опубл. 16.11.2007, Бюл. №12. – 6 с. (*Определены эксплуатационные факторы после термического восстановления*).

20. Пат. 55083 Україна, МПК(2009), C23C 8/26. Спосіб відновлення робочих розмірів стрижневих виробів / Алімов В.І., Желтобрюх Л.О., **Георгіаду М.В.**; заявник і патентовласник Алімов В.І.; опубл. 25.07.2011, Бюл. №14. – 4 с. (*Разработаны технологические режимы термического восстановления*).

21. Пат. 61491 Україна, МПК(2009), C23C 8/26. Спосіб відновлення розмірів інструменту та деталей машин / Алімов В.І., Шевелєв О.І., Желтобрюх Л.О., **Георгіаду М.В.**; заявник Алімов В.І., патентовласник Алімов В.І.; опубл. 25.07.2011, Бюл. №14. – 4 с. (*Разработаны технологические режимы химико-термического восстановления инструмента и деталей*).

22. Пат. 46789 Україна, МПК(2009), C21 D 9/22. Складений різець / Алімов В.І., Шевелєв О.І., Куліков В.Г., Апоначенко С.С., **Георгіаду М.В.**, Лобкова Ю.В.; заявник і патентовласник Алімов В.І.; опубл. 11.01.2010, Бюл.

№1. – 4 с. (*Определены параметры восстановления инструмента деформацией в твердом состоянии с использованием предварительной эксплуатации*).

23. Пат. 49721 Україна, МПК(2009), G01N 3/56, G01N 17/00. Спосіб оцінки локальної зносостійкості металевих виробів / Алімов В.І., Шевелєв О.І., Педан Д.М., **Георгіаду М.В.**, Шклярников Д.Є.; заявник і патентовласник Алімов В.І.; опубл. 11.05.2010, Бюл. №9. – 4 с. (*Количественно оценены эксплуатационные факторы после термического восстановления инструмента*).

Научные работы и тезисы докладов в материалах конференций

24. **Георгіаду, М.В.** Закономерности теплового окисления при вторичном переделе быстрорежущего инструмента/ М.В. Георгіаду, А.В. Ткач // Сб. трудов XII Международной научно-технической уральской школы-семинара молодых ученых-металловедов, Екатеринбург. – 2011 – С. 312-314. (*Исследована склонность к окислению различных структур при восстановлении*).

25. **Георгіаду, М.В.** Восстановительная размерная термическая обработка металлических изделий повышенной точности // Сб. трудов XIV Международной научно-технической уральской школы-семинара молодых ученых-металловедов, Екатеринбург. - 2013 – С. 298-300. (*Установлено влияние энергии активации при окислении поверхности быстрорежущего инструмента*).

26. **Георгіаду, М.В.** Восстановление размеров инструмента путем химико-термической обработки / М.В. Георгіаду // Сб. трудов XI Международной научно-технической уральской школы-семинара молодых ученых-металловедов, Екатеринбург. - 2010. – С. 377-379. (*Уточнены представления о механизме размерного восстановления при термическом воздействии*).

27. Алімов, В.І. Відновлення швидкоріжучого інструменту / В.І. Алімов, **М.В. Георгіаду**, Н.В. Жертовська // Тези доповідей, Львів: НУ «Львівська політехніка», 2009. – С. 3,4. (*Уточнены представления о механизме размерного термического восстановления быстрорежущего инструмента*).

28. Алімов, В.І. О сфероидизации избыточных фаз в матрице твердого раствора / В.І. Алімов, М.В. Георгіаду, Ю.В. Лобкова// Зб. Матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції, Миколаїв: НУК, 2009. – 242-245. (*Определены параметры изменения карбидной фазы при восстановлении инструмента горячей деформацией в твердом состоянии*).

29. Алімов, В.І. Вплив інтенсивних дій на структуру й властивості швидкорізальної сталі/ В.І. Алімов, М.В. Георгіаду, А.П. Штихно // Тези доповідей, Львів: НУ «Львівська політехніка», 2007. – С.60. (*Уточнены параметры восстановления инструмента деформацией в твердом состоянии*).

Подписано к печати 23.09.2016 г.

Формат 60×84^{1/16}. Бумага мелованная.

Гарнитура «Newton». Печать – лазерная.

Ус. печ. л. 1,0. Заказ №0916. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии

Издательства «Донецкая политехника»
на цифровом лазерном издательском комплексе

XeroxDocuColor 2060

Тел.: +380 (62) 304-60-82