

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 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк - 2016

Работа выполнена в ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики, г. Донецк

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

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита состоится _____ 2016 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 01.019.03 при ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» по адресу: 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, I учебный корпус, малый актовй зал. Тел.: +380 (62) 304-30-55., эл. почта: vchenarada@donntu.org

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» по адресу: 83001, 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 допусковых. Анализом источников информации установлено, что инструмент является наименее надежным элементом технологической системы; рассеяние стойкости инструмента, его непредвиденные отказы приводят к снижению производительности работы, возникновению брака продукции основного производства, повышенного расхода инструмента, дестабилизируют процесс механической обработки. Размерное термическое восстановление инструмента и деталей повышенной точности экономически выгодно, особенно в сравнении с покупкой новых металлических изделий повышенной точности. Для восстановления режущего инструмента и деталей повышенной точности, в основном, 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 инструмента и деталей повышенной точности без употребления сложных и дорогих 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. Поэтому разработка технологических процессов размерного термического восстановления инструмента и деталей повышенной точности является своевременной и актуальной задачей.

Степень разработанности темы. Вопросы, рассматриваемые в рамках исследования, относятся к термическому восстановлению, которое нашло свое применение при залечивании микропор и регенерации микроструктуры металла высокотемпературными нагревами, однако размерное термическое восстановление остается до конца не изученным в плане технологии механизмов.

Значительный вклад в разработку теории и технологии размерной восстановительной обработки внесли: Хенкин М.Л., Локшин И.Х., Криштал М.А., Киндрачук М.В., Куманин В.И., Ляхович Л.С., Минкевич А.Н., Дьяченко С.С., Геллер Ю.А., Спектор А.Г., Жванис Ю.И., Садовский В.Д., Баранов А.А., Заблоцкий В.К., Ткаченко Ф.К., Воробьев В.Г., Хараев Ю.П., 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 следующие 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, минуя цикл переплавки металла с дальнейшим размерным восстановлением после структурных трансформаций под действием эксплуатации;

4. Систематизировать особенности структурообразования в быстрорежущих сталях при восстановлении термической обработкой вторичного инструмента;

5. Исследовать с точки зрения проявления эффекта наследования влияние исходного неравновесного состояния твердых тел на изменения в объеме и в поведении поверхности при взаимодействии с газовыми средами;

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 до размеров 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. Установлено, что при трансформации микроструктуры во время эксплуатации основной движущей составляющей к размерному термическому восстановлению являются термические и деформационные напряжения, вносящие около 70 - 75 % в эффект увеличения радиальных размеров, кристаллизационные напряжения и остаточные напряжения вносят около 3 - 5 % в эффект термического размерного восстановления; условия и характер влияния на геометрию изделий повышенной точности вносит изменения в размере около 8 - 10 %; тип карбидов, их количество, размеры, форма и распределение вносят около 7 - 9 % при восстановлении быстрорежущего инструмента, некоторых высоколегированных сталей и твердых сплавов; зернограницные реакции влияют в зависимости от типа реакции неоднозначно, их суммарный вклад в изменение размеров, особенно при химико-термическом восстановлении, составляет около 0,5 - 1 %; микроизменения в кристаллической решетке и блочной структуре вносят в изменение радиальных размеров менее 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. Установлено, что объемное сжатие в поверхностных слоях, возникающее при эксплуатации в виде циклического термомеханического воздействия, при воздействии температуры переходит в упругое последствие; трансформированная микроструктура поверхностных слоев

быстрорежущих, высоколегированных инструментальных сталей после эксплуатации может включать вновь образовавшиеся и неравновесные фазы, в том числе аустенит, с меньшим удельным объемом ($0,12579 \text{ см}^3/\text{г}$), чем мартенсит отпуска ($0,12990 \text{ см}^3/\text{г}$), образующийся при восстановлении; совокупное действие этих факторов приводит к увеличению удельного объема изделия и, соответственно, восстановлению его радиальных размеров.

3. Получили дальнейшее развитие представления о механизме влияния предварительного деформирования на процессы структурообразования при восстановлении режущего инструмента со значительным износом при эксплуатации. Установлено, что при восстановлении вышедшего из строя инструмента с исходной неравновесной структурой, полученной при первичном изготовлении и после эксплуатации, путем вторичной переработки в твердом состоянии, исключаящем этап переплава металла, измельчаются карбиды до размера 2-3 мкм, их количество составляет около 80 %; фактор формы приближается к 1, степень неравноосности снижается от 4,3 до 1, что обеспечивает возможность снижения температуры нагрева под закалку до 1100 – 1150 °С с сохранением теплостойкости и повышением коррозионно-абразивной износостойкости.

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, например, при насыщении азотом и смесями, оксиды восстанавливаются до нестехиометрических и при их восстановлении происходит перенесение 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. Базовая технология термического восстановления размеров инструмента с нагревом ниже температуры фазовых превращений, позволяющая восстанавливать размеры инструмента, изношенного при эксплуатации ниже верхней границы допуска, при этом точные изделия нагревают до температур $550 \pm 50^\circ\text{C}$, выдерживают при этих температурах в течение 60 – 180 мин. и охлаждают на воздухе.

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

3. Базовая технология получения вторичного режущего инструмента, отличающаяся от общепринятой 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. Базовая 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, газово-абразивного износа и локального износа, позволяющие моделировать условия работы инструмента и деталей повышенной точности; устройства защищены патентами Украины №№ 17644, 27165, 49721.

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

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 при термическом восстановлении;
- 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 работы 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 «Донецкий национальный технический университет» (2014...2016 г.г.) 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 «І. Фещенко-Чопівський: вчений і патріот». 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. чл.-корр.РАН 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, 2014, 2015 гг. Работа докладывалась на научных семинарах кафедры «Физическое материаловедение» ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2014, 2016 гг.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе «Анализ современных технологических режимов восстановления инструмента и деталей повышенной точности» проведен анализ опубликованных литературных источников, при котором установлено, что детально рассмотрено восстановление режущего инструмента и деталей повышенной точности наплавкой, нанесением покрытий. Вопросы термического восстановления посвящены отдельные работы, направленные на выявления закономерностей и механизмов залечивания микропор, регенерации структуры металла, и на выбор параметров восстановительной термообработки при разной степени поврежденности и неравновесности после эксплуатации. Мало сведений о размерном термическом восстановлении изношенных точных изделий, базирующихся на трансформации микроструктуры при эксплуатации. Химико-термическое восстановление рассмотрено, с позиции предотвращения увеличения размеров после химико-термического воздействия или ускорения процесса диффузионного насыщения, за счет использования новых сред. Небольшое количество работ раскрывает вопрос трансформации микроструктуры при воздействии деформации при вторичном переделе режущего инструмента минуя цикл переплавки.

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 качества и причин выхода из строя инструмента и деталей повышенной точности использовали методы статистической обработки данных, пакеты прикладных программ, для исследований использовали быстрорежущие (P18, P6M5, P6AM5, P6M5K5, P6M5K5-МП), конструкционные стали (ШХ15СГ, 35ХГСА, 20), армко-железо и твердый сплав (ВК15). Микроструктурные исследования проводили с помощью микроскопов моделей Neophot -21, МИМ - 7 и NU-2. Измерение твердости проводили на приборе ТК-2М, микротвердости - на приборе ПМТ - 3. Размеры измеряли с помощью микрометра МК 0-25.

Изношенный инструмент и детали повышенной точности при размерном термическом восстановлении нагревали в камерной печи типа СНОЛ в воздушной среде при температурах $500-650 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 1-3 ч. с воздушным охлаждением. Для изучения темпов износа быстрорежущий инструмент после эксплуатации в ДП «Точлит» (г. Луганск) обрабатывали и эксплуатировали по разным режимам.

Для вторичного передела быстрорежущего инструмента использовали протяжки, вышедшие из строя при эксплуатации условиях ОАО «Луганский завод коленчатых валов», образцы деформировали, отжигали, закаливали и отпускали.

Восстановление деформированием проводили на натурном быстрорежущем инструменте из сталей P6M5, P6AM5 в условиях Азовского судоремонтного завода. Сломанный инструмент перековывали на меньший диаметр на прессе и деформировали на стане ДУО -100, закаливали и отпускали.

Состав карбидов исследуемых сталей, количество остаточного аустенита определяли с помощью рентгеноструктурно-фазового анализа на аппарате ДРОН-3Г. Результаты анализа обрабатывали с помощью программы Crystallographic Search-Match. При определении поперечных размеров карбидов стали P18 использовали инструменты программ UTHSCSA Image Tool-3 с дальнейшей обработкой близких по фактору формы: к 1 - по методикам Thixomet Standart; от 0,800 до 0,955 характеризовали по диаметру Ферета; для P6M5K5, P6M5K5-МП - линейный метод А. Розиваля, основанный на принципе Кавальери - Акера.

Для восстановления радиальных рабочих размеров осесимметричных изделий, преимущественно инструмента и деталей гидравлики шахтной крепи, в условиях лаборатории и ЧП «Кристина» проводили химико-термическое размерное восстановление сверл путем азотирования (сталь типа P6M5) и образцов, вырезанных из плунжеров (сталь типа 30ХГСА). Смеси, использованные для химико-термического восстановления, защищены патентами Украины №№ 55083, 61491.

Для исследования влияния термического восстановления на сопряженные детали, работающие в условиях сухого трения, использовали детали типа внутренних колец подшипников. Образцы нагревали и после каждого нагрева проводили измерение твердости и изменение линейных размеров.

Дополнительное восстановление изделий, имеющих износ ниже минимальной степени, проводили осаждением железа в хлористом электролите, а также диффузионным железнением в порошке железа.

Разработали специальные методы исследований. После окончательной термической 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 из строя режущего инструмента и деталей повышенной точности за последние 10-15 лет.

При анализе действующего производства ЗАО «Луганский завод коленчатых валов» в период 2001 - 2005 г установлено, что из всей номенклатуры инструмента наибольшая группа - сверла; основной причиной выхода из строя является износ поверхности и механическое разрушение.

Из анализа выхода из строя инструмента стержневого типа на Азовском судоремонтном заводе (г. Мариуполь) в период 2005 - 2010 г, установлено, что наиболее распространенными инструментами являются сверла, метчики, фрезы, зенкеры. Основные причины выхода из строя связаны с разной степенью износа.

В условиях Луганского ДП «Точлит» проведен анализ выхода из строя металлообрабатывающего инструмента в период 2007 - 2011 г. Основная причина выхода из строя быстрорежущего инструмента - износ рабочей поверхности.

Из анализа причин выхода из строя резцов на Харцызском трубном заводе за период 2004 - 2006 г, для уточнения анализа использовали аналогичные архивные данные, установлены основные причины выхода из строя: катастрофический износ, скол режущей кромки, и др.

Таким образом, выход из строя быстрорежущего инструмента на разных по направлению предприятиях чаще всего (70 %) происходит по причине износа радиальных размеров и разрушения (21 %), остальной инструмент выходит из строя по несистемным причинам.

Из анализа причин выхода из строя деталей повышенной точности сформулированы основные этапы работы, направленные 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 и химико-термическим воздействием. Принципиальная схема выбора путей термического восстановления базируется на реальных значениях рабочих размеров инструмента после эксплуатации относительно поля допуска (рисунок 1).

Проведен анализ факторов, влияющих на механизм восстановления рабочих размеров быстрорежущего инструмента и деталей повышенной точности после трансформации микроструктуры при эксплуатации. Факторы можно разделить на группы, начиная со структурных изменений, однако основной вклад в изменение размеров вносят деформационные, структурные и термические напряжения.

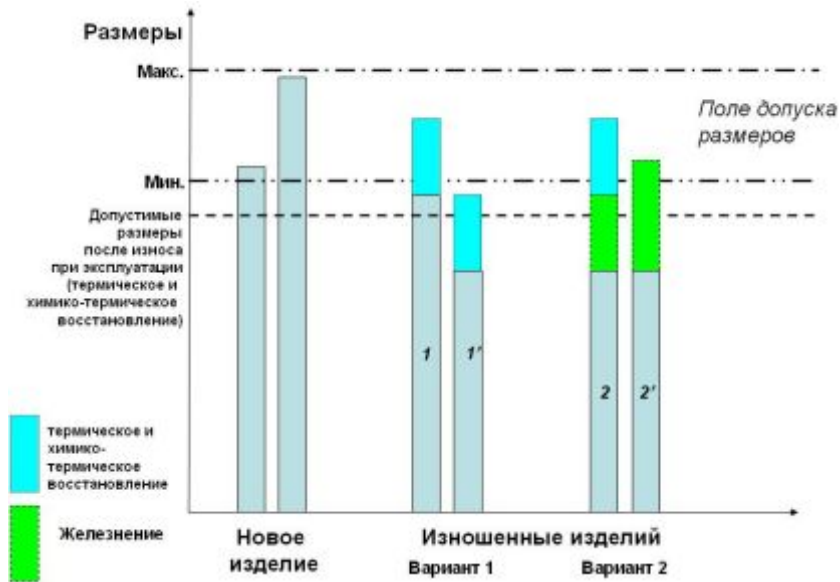


Рис. 1 - Концептуальная схема размерного термического восстановления изношенных осесимметричных изделий повышенной точности

Анализ вклада деформационных напряжений в изменение радиальных размеров осесимметричных изделий при термическом восстановлении рассчитывали с использованием метода Калакуцкого-Давиденко, при котором 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 размеров при термическом восстановлении сверл диаметром 20 мм 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 следующие данные: $r=10$ мм, $t_b=550$ °С, модуль упругости $E=192$ ГПа, радиальное напряжение $E_1^{пов}=0,97$ ГПа, продольное $E_1^{пов}=0,88$ ГПа, коэффициент Пуассона $\mu=0,25$. Расчет изменения радиуса сверла из стали Р6М5 после размерного термического восстановления показал увеличение диаметра на 7,4 %; для деталей гидравлики шахтной крепи из стали 35ХГСА - 4,5 %.

Для подтверждения теоретических расчетов использовали резцы, эксплуатировавшиеся на Харцызском трубном заводе. Установлено, что в процессе шлифования, проводимого при перетачивании, на рабочих поверхностях инструмента формируются наклепанные слои с повышенным содержанием остаточного аустенита (до 30 %); это отрицательно сказывается на эксплуатационных свойствах инструмента; дополнительный отпуск после шлифования приводит к распаду остаточного аустенита, и снижению уровня напряжений. Температуры разогрева тонкого слоя режущей кромки быстрорежущего инструмента иногда превышают 1000 - 1100 °С. В процессе работы инструмент разогревается и деформируется, появляются высокие значения напряжений II рода, происходит дробление блоков мозаичной структуры. При эксплуатации преобразования происходят за короткие временные промежутки, в период быстрого охлаждения рекристаллизация не ус-

певают пройти. Разогревается задняя поверхность инструмента за счет налипания стружки. Таким образом, трансформация микроструктуры, возникновение повреждений в металле под действием эксплуатации может быть использовано для увеличения срока службы разных наименований быстрорежущего инструмента.

Основываясь на теоретических расчетах с учетом степени износа, на натурном инструменте провели размерное термическое восстановление. Рабочий размер сверла с исходным диаметром 11,8 мм максимально увеличился на 0,024 мм; концевая фреза с исходным диаметром 20,0 мм изменила размеры на 0,013 мм. Различие в увеличении размеров может быть связано с отличающимися режимами исходной термической обработки и степени износа.

В условиях ДП «Точлит» провели восстановление рабочих размеров быстрорежущего инструмента типа чистовых зенкеров и разверток, показавшее повышение суммарной стойкости в 2 раза, уменьшение твердости на 0,5-1 HRC и увеличение коррозионно-абразивной износостойкости, в среднем, 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.

Исследовано восстановление повторным переделом сломанного быстрорежущего инструмента путем горячей и холодной пластической деформации, минуя цикл переплава (патент Украины № 46789). Основной размер карбидов в образцах из стали P18 1,5-4 мкм. После деформации карбиды крупнее 68 мкм не выявлены. После сфероидизации фактор формы приближается к 0,98 (≈ 70 %).

При закалке от температур нагрева выше 1100°C зерно деформированного аустенита увеличивается с 14 до 10 номера по ГОСТ 5639-82. Для недеформированных образцов зерно не увеличивается даже после нагрева до температур 1150°C. 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. После закалки недеформированных образцов присутствуют крупные карбиды (80 мкм); при увеличении температуры нагрева размер карбидов уменьшается.

После отпуска максимум распределения карбидов по размерам сдвигается от 2 мкм в область 3-4 мкм, мелкие карбиды составляют основную часть. Это характерно для деформированного и недеформированного состояний.

Таким образом, 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.

Исследование теплостойкости образцов, закаленных от пониженных температур, показало значение на уровне нового инструмента.

Для подтверждения возможности восстановления сломанного инструмента деформированием минуя цикл переплава металла, восстановили натуральный быстр-

рорежущий инструмент, с дальнейшей термической обработкой и сохранением свойств на достаточном для эксплуатации уровне.

Изготовили токарные резцы, применив вышедший из строя после эксплуатации инструмент, и использовали на производственном предприятии ООО «Гефест» в условиях сухого трения в течение двух месяцев. Изготовленный инструмент соответствовал уровню эксплуатационных свойств аналогичного инструмента первичного изготовления, скорости резания - рекомендуемым.

Установили возможность изготовления вторичного инструмента холодной деформацией с применением гидроэкструзии. Микроструктура после деформации характеризуется карбидами округлой формы, равномерно распределенными, с высокой степенью дисперсности. После закалки микроструктура стандартная для стали Р6М5К5. Размер зерна аустенита с увеличением температуры закалки и продолжительности выдержки увеличивается. Продолжительность выдержки в диапазоне 20-60 с/мм заметно влияет на рост зерна аустенита. Ускоренный нагрев деформированных образцов обеспечивает размер зерна аустенита номер № 13-14 по ГОСТ 5639-82. После коррозионно-абразивных испытаний установлено, что наибольшую стойкость показали образцы из стали Р6М5К5, предварительно деформированные со степенью 35%; в порошковых сталях износились в большей степени стали с более мелким зерном. Это можно объяснить тем, что на поверхности образцов больше избыточных карбидов, которые выкрашиваются при контакте с коррозионно-абразивной средой.

Таким образом, восстановление сломанного инструмента возможно проводить с использованием горячего и холодного деформирования, уровень механических и эксплуатационных свойств сохраняется достаточным для промышленного использования.

Термическому влиянию подвергали образцы с разным исходным структурным состоянием после литья, горячей деформации, отжига на зернистый перлит, механической обработки резанием, эксплуатации, при этом происходит окисление поверхности. С помощью спрямляющих графиков рассчитали уравнение зависимости изменения кинетики процесса окисления, соответствующую энергию активации Q , и постоянную A в разных температурных интервалах (таблица 1).

При сравнении разных структурных состояний и энергии активации при нагревах видно, 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.

Таким образом, энергия активации при окислении поверхности изменяется постепенно при нагреве быстрорежущей стали с исходной неравновесной структурой, что является следствием как типа сформированной при первичной термообработке структуры, так и трансформацией ее во время эксплуатации.

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

Таблица 1 – Зависимость показателей газовой коррозии от исходной структуры стали

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 горячей пластической деформации	200–300	9,5	30,81	30,81· e ^{-1144,5/T}
	300–600	36,1	8,3·10 ³	8,3·10 ³ · e ^{-4345,7/T}
	600–800	67,4	544,5	544,5· e ^{-1411,5/T}
	800–1130	67,55	282,4·10 ³	282,4·10 ³ · e ^{-9129,4/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}

Увеличение способности к восстановлению можно достичь внедрением в поверхностный слой изношенных металлических изделий фаз с большим удельным объемом. В работе проводили азотирование и комбинированную химико-термическую обработку при температурах, близких к точке Шадрона, что 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 от 500 до 650 °С, оксиды железа восстанавливаются до нестехиометрического состава Fe_xO_y, при этом происходит перенос необходимых насыщающих элементов к поверхностным слоям, что способствует повышению активности насыщающей порошковой смеси и увеличению адсорбирующей способности поверхности. На образование оксидов при предварительном окислении расходуются ионы металла из приповерхностных слоев, что видно при рассмотрении механизма газовой коррозии, это изменяет концентрацию вакансий, играющих важную роль в процессах диффузионного насыщения.

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 химико-термического восстановления способность инструмента увеличивать свои размеры уменьшается. Это может быть связано с уменьшением дефектности структуры и с возникновением остаточных сжимающих напряжений I рода.

Таким образом, химико-термическое восстановление способствует увеличению степени размерного восстановления быстрорежущего инструмента, в сравнении с термическим восстановлением, но нуждается в более продолжительной выдержке, лимитируемой скоростью диффузии насыщающих компонентов.

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.

Детали гидравлики шахтной крепи работают в условиях влажного трения, при износе ниже минимальной степени (рисунок 1), рекомендуется проводить размерное химико-термическое восстановление. Размеры увеличиваются, в среднем, на 0,5-1,0 %. Если сравнить эффект восстановления, то сверла из Р6М5 имеют большую способность к восстановлению размеров, что подтверждают и теоретические расчеты (раздел 2). Причина может быть в том, что Р6М5, по сравнению со сталью 35ХГСА, имеет больше фаз внедрения в ферритную матрицу, напряжений структурных, термических и связанных с формой изделия и условиями эксплуатации.

В процессе эксплуатации сопряженные детали подвижного состава воспринимают значительные динамические и контактные нагрузки, при этом на поверхностях посадочных отверстий и внешнего кольца подшипника, протекают сложные явления, приводящие к преждевременному выходу из строя. В процессе эксплуатации внутренний диаметр 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, в работе было применено железнение, с дальнейшим приданием этим наращенным слоям необходимых свойств.

Таким образом, гальваническое железнение обеспечивает повышение микротвердости по сравнению с армко-железом, обусловленное специфичностью строения железненного слоя, и может быть использовано для наращивания размеров инструмента и деталей повышенной точности, в том числе с дополнительным насыщением железненного слоя элементами, образующими фазы внедрения.

В седьмом разделе «Экономическая эффективность восстановительной обработки и переработки режущего инструмента» приводятся и обсуждаются результаты проведенной 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 минуя цикл переплава рекомендовано для условий ОАО «Донсплав», ДП «Техноскрап», ОАО «Скрап», ООО «Гефест». Изготовлена и апробирована партия резцов с напаянными режущими пластинами из быстрорежущей стали Р18, работавших в условиях сухого трения на протяжении двух месяцев. Инструмент вторичного производства соответствовал уровню эксплуатационных свойств аналогичного инструмента пер-

вичного производства. Ожидаемая экономическая эффективность от внедрения в производство технологии вторичного использования резцов составляет 177 – 247 грн. на один резец (в зависимости от вида резца).

В научно-исследовательский, учебный процесс и лабораторный практикум внедрены методики и разработанные устройства, использованные в работе. Результаты работы используются на кафедре «Физическое материаловедение» с 2007 г. по настоящее время.

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, созданной предшествующей эксплуатацией, что позволяет создавать энерго- и ресурсосберегающие технологии при продлении срока эксплуатации изделий.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем.

1. Анализом источников информации показано, что основными направлениями восстановления изношенного инструмента из быстрорежущих сталей являются наплавка, обработка высококонцентрированными источниками энергии, термическая и химико-термическая обработка. Разрушенный инструмент служит металлоломом для дальнейшей переплавки. Затраты производства состоят из потери рабочего инструмента и затрат, связанных с дальнейшим изготовлением нового инструмента, начиная от выплавки и прохождения всех этапов передела. Усовершенствование технологии размерного термического восстановления инструмента из быстрорежущих сталей и деталей повышенной точности является актуальной задачей в современных условиях промышленного производства.

2. Показано, что размерное термическое восстановление изношенного осесимметричного режущего инструмента возможно проводить путем нагрева до температур ниже температур фазовой перекристаллизации, при этом достигается увеличение радиальных размеров порядка 0,1-0,2 %, а суммарное увеличение срока эксплуатации - до 2-2,5 раз. При увеличении исходной степени износа рабочей части возможно химико-термическое восстановление с насыщением поверхности элементами, образующими фазы с большим удельным объемом; прирост радиальных размеров в среднем 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 сталей, особенно высоколегированных (быстрорежущих, высоколегированных инструментальных) после эксплуатации может состоять из неравновесных структур, в том числе метастабильного аустенита, полученного во время нагревов до высоких температур при работе изделий; эта структурная составляющая имеет удельный объем меньше, чем мартенсит отпуска, который образуется при восстановлении; суммарное действие этих факторов приводит к увеличению удельного объема изделия и, соответственно, 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, например при насыщении азотом и другими смесями, оксиды восстанавливаются до нестехиометрических (дефектных) оксидов Fe_xO_y , 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 с учетом наследования исходной дефектной структуры после эксплуатации; такая исходная 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, наследственно влияющей при последующих нагревах, что свидетельствует о проявлении при восстановлении эффекта наследования структуры и свойств.

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 долевом участии 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 термического восстановления режущего инструмента составляет около 12 грн/сверло, а при вторичном использовании резцов - около 177 – 247 грн на один резец.

В научно-исследовательский процесс внедрены методики: а) оценка размерного состава карбидной фазы в быстрорежущих сталях; б) особенности газо-

вой коррозии быстрорежущих сталей в связи с их исходным структурным состоянием; в) проведение сокращенного сфероидизирующего отжига быстрорежущих сталей. Метод контроля коррозионной стойкости используется при изложении лекционного курса «Коррозия и защита металлов» (для студентов направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»).

В учебный процесс внедрен разработанный методический подход к обучению студентов высших технических учебных заведений на основе введения факультатива из решения кроссвордов по изучаемым дисциплинам, построенный на основе монографии «Материаловедение и термическая обработка в кроссвордах и музыка», Донецк, «Норд-пресс», 2009. - 214 с. В лабораторный практикум внедрены: 1. Устройство для коррозионно-абразивного износа металлов и материалов (патент Украины № 17644). 2. Устройство для газово-абразивного износа материалов (патент Украины № 27165). Лабораторные работы утверждены на кафедре «Физическое материаловедение» (2007, 2009, 2012 гг.), включены в учебное пособие «Термическая обработка и коррозия металлов» (2008 г.), «Основы термической обработки и коррозии металлов» (2010 г.). Используются при подготовке бакалавров, специалистов и магистров направлений подготовки 22.03.01, 22.04.01 «Материаловедение и технология материалов», при изложении лекционного и лабораторного курсов «Коррозия и защита материалов». Результаты работы используются на кафедре «Физическое материаловедение» с 2007 г. по настоящее время.

9. Разработанные научно-технические мероприятия и решения являются теоретической и методологической основой для точного прогнозирования влияния технологических параметров восстановительной термической обработки на величину изменения радиальных размеров осесимметричных изделий повышенной точности.

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 України. - 2014. – №5. – С. 34-38. *(Предложены технологические режимы и факторы влияния на способность к химико-термическому 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. *(Установлено влияние энергии активации при окислении поверхности быстрорежущей стали с исходным неравновесным состоянием).*

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 технологические режимы и*

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 путем деформирования инструмента, поломанного механически, 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 путем деформирования инструмента, поломанного механически, минуя цикл переплава металла 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 путем деформирования инструмента, поломанного механически, минуя цикл переплава металла с использованием трансформированной при эксплуатации микроструктуры).*

7. Алімов, В.І. Властивості швидкорізальної сталі після відновлення зношеного інструменту / В.І. Алімов, **М.В. Георгіаду**, Н.В. Жертовська // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. - 2010 - №3(20). – С. 14-17. *(Исследованы технологические особенности термического восстановления натурального быстрорежущего 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 активизации процесса химико-термического восстановления при окислении и химико-термическом воздействии с диффузионным насыщением 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 изделий, изношенных ниже минимального уровня).*

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.

11. **Георгіаду, М.В.** Відновлення високоточних металовиробів додатковими нагріваними // Технологический аудит и резервы производства. - 2012 - №3/2(5). – С. 13-14. *(Определены параметры восстановления быстрорежущего инструмента холодной 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. (*Предложены 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 химико-термическому восстановлению деталей повышенной точности*).

Научные работы, опубликованные в других журналах и изданиях

14. Алімов, В.І. Шляхи відновлення високоточних металовиробів додатковими нагріваними / В.І. Алімов, **М.В. Георгіяду** // 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. Георгіяду (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. Георгіяду**, Л.О. Желтобрюх // Сб. праць «Сучасні аспекти металознавства та термічної обробки металів», Маріуполь: ПДТУ. - 2010. – С. 53-56. (*Уточнены представления о механизме размерного восстановления при термическом воздействии на основе структурных трансформаций карбидной фазы, полученных при эксплуатации быстрорежущего осесимметричного инструмента*).

17. Розмірне термічне відновлення металевих виробів гарантованої точності / В.І. Алімов, **М.В. Георгіяду**, О.Б. Белєвцов, Р.Ю. Велічко // Сб. тезисов докладов, Мариуполь: 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 (Георгіяду) М.В.**; заявник і патентовласник Донецький національний технічний університет; опубл. 16.10.2006, Бюл. №10. – 4 с. (*Определена и подвергнута контролю коррозионно-абразивная стойкость, изменяющиеся после термического восстановления инструмента и деталей повышенной точности*).

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 (Георгіяду) М.В.**; заявник і патентовласник Донецький національний технічний університет; опубл. 16.11.2007, Бюл. №12. – 6 с. (*Определены и подвергнуты кон-*

тролю эксплуатационные факторы, изменяющиеся после термического восстановления инструмента и деталей повышенной точности).

20. Пат. 55083 Україна, МПК(2009), С23С 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 химико-термического восстановления инструмента).*

21. Пат. 61491 Україна, МПК(2009), С23С 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 повышенной точности).*

22. Пат. 46789 Україна, МПК(2009), С21 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 горячей деформацией в твердом состоянии с использованием трансформированной при эксплуатации микро-структуры).*

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.**, Шкляріков Д.Є.; заявник і патентовласник Алімов В.І.; опубл. 11.05.2010, Бюл. №9. – 4 с. *(Количественно оценены эксплуатационные факторы, изменяющиеся после термического восстановления инструмента и деталей повышенной точности).*

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. *(Исследованы технологические особенности термического восстановления натурального быстрорежущего инструмента, в частности склонность к окислению различной исходной структуры).*

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 инструмента из быстрорежущей стали с исходным состоянием после эксплуатации).*

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 на основе структурных трансформаций, полученных при эксплуатации инструмента).*

27. Алімов, В.І. Відновлення швидкоріжучого інструменту / В.І. Алімов, М.В. Георгіаду, Н.В. Жертовська // Наук. Праці міжнарод. наук. конф. «І. Феценко-Чопівський: вчений і патріот». Тези доповідей, Львів: НУ «Львівська політехніка», 2009. – С. 3,4. *(Уточнены представления о механизме размерного восстановления при термическом воздействии на основе структурных трансформаций, полученных при эксплуатации быстрорежущего инструмента).*

28. Алимов, В.И. О сфероидизации избыточных фаз в матрице твердого раствора / В.И Алимов, М.В. Георгиаду, 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 с использованием трансформированной при эксплуатации микроструктуры).*

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 горячей деформацией в твердом состоянии с использованием трансформированной при эксплуатации микроструктуры).*

Подписано к печати _____.____.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