**Доронин, Олег Николаевич. Разработка электроискровой технологии упрочнения прокатных валков из белого чугуна : диссертация ... кандидата технических наук : 05.16.06 / Доронин Олег Николаевич; [Место защиты: Нац. исслед. технол. ун-т].- Москва, 2013.- 215 с.: ил. РГБ ОД, 61 14-5/46**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

***На правах рукописи***

04201365697

***Доронин Олег Николаевич***

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ИЗ БЕЛОГО ЧУГУНА

***Специальность 05.16.06 — Порошковая металлургия и композиционные материалы***

***Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук***

Научный руководитель:

профессор, доктор технических наук

Левашов Евгений Александрович

***Москва — 2013***

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ВВЕДЕНИЕ 4**

**ГЛАВА I. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 11**

1. **Условия работы и износ поверхности прокатных валков из белого чугуна И**
2. **Общие требования, предъявляемые к валкам прокатных станов 11**
3. [**Причины выхода из строя валков прокатных станов. Ремонт валков 13**](#bookmark2)
4. [**Состав валковых белых чугунов 16**](#bookmark3)

[**1.2 Особенности упрочнения чугунов с использованием высокоэнергетических источников мгновенного нагрева 19**](#bookmark4)

1. [**Опыт и перспективные методы упрочнения чугунных валков 19**](#bookmark5)
2. **Физические особенности упрочнения чугунов с использованием высокоэнергетических**

**источников мгновенного нагрева 21**

[**1.3 Метод электроискрового легирования 25**](#bookmark7)

1. [**Современная модель процесса ЭИЛ. Формирование измененных поверхностных слоев на катоде 25**](#bookmark8)
2. [**Состав, структура и свойства легированного слоя 30**](#bookmark11)
3. [**Опыт применения метода ЭИЛ в металлургии 33**](#bookmark12)
4. [**Электродные материалы 35**](#bookmark13)
5. [**Выводы по первой главе 41**](#bookmark14)

**ГЛАВА 2. МЕТОДИКИ И МАТЕРИАЛЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 44**

1. **Материалы и оборудование нанесения электроискровых покрытий 44**
2. [**Методики исследования кинетики формирования, структуры, фазового и химического состава получаемых покрытий 50**](#bookmark15)
3. [**Методика проведения производственных испытаний 56**](#bookmark18)

**ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ 59**

* 1. **Исследование массопереноса электродных материалов при обработке подложек из белого чугуна 59**
  2. [**Исследование шероховатости сформированных покрытий 70**](#bookmark20)
  3. **Рентгеноструктурное исследование фазового состава сформированных покрытий 75**
  4. **Исследование структуры и свойств сформированных покрытий 85**
  5. [**Определение элементного состава сформированных покрытий 89**](#bookmark24)
  6. [**Термодинамический анализ микрометаллургического процесса при электроискровом легировании белого чугуна с использованием электродного материала СТИМ-40НА 94**](#bookmark26)
  7. [**Исследование распределения углерода по толщине покрытия 108**](#bookmark35)
  8. [**Аналитическая оценка влияния обезуглероживания зоны термического влияния на привес катода 115**](#bookmark40)
  9. **Исследование влияния электроискровой обработки с использованием электродов марки СТИМ-40НА на структуру подложек из износостойкого чугуна 117**
  10. **Исследование износостойкости образцов с электроискровыми покрытиями 121**
  11. [**Выводы по третьей главе 127**](#bookmark44)

**ГЛАВА 4. ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ 129**

1. **Механизм нанесения электроискровых покрытий на поверхность круглого калибра 129**
2. **Оценка стойкости покрытия на поверхности прокатных валков 134**
3. **Конструирование технологической оснастки для упрочнения поверхности калибров.... 142**
4. [**Проектирование технологической оснастки 143**](#bookmark50)
5. [**Конструирование технологической оснастки 146**](#bookmark51)
6. **Анализ влияния вибрации электрода на параметры технологических импульсов при ЭИЛ 149**
7. [**Моделирование температурного воздействия на механизмы технологической оснастки 153**](#bookmark53)
8. **Производственные испытания опытного образца многоэлектродной оснастки 155**
9. **Отработка технологии контроля толщины покрытия в процессе его нанесения и эксплуатации валков 156**
10. **Постановка задач метода контроля толщины упрочняющих электроискровых покрытий 156**
11. [**Гравиметрический анализ обработки образцов для исследования методом магнитной памяти 161**](#bookmark59)
12. [**Замеры параметров поверхности образцов методом магнитной памяти 167**](#bookmark60)
13. [**Определение толщины электроискровых покрытий 171**](#bookmark62)
14. [**Сопоставление результатов замеров выполненных гравиметрическим, микроскопическим и магнитным методами 178**](#bookmark64)
15. [**Выводы по четвертой главе 181**](#bookmark66)

**ГЛАВА 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ БЕЛОГО ЧУГУНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ МАРКИ СТИМ ДЛЯ**

**УПРОЧНЕНИЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ 183**

**ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ 189**

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 191**

**ПРИЛОЖЕНИЕ А. Акт испытаний вкладыша роликового направляющего буровой штанги, прошедшего поверхностное упрочнение электроискровой обработкой. ЗАО**

[**«Ресурс» 207**](#bookmark67)

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Акт испытаний ротора универсального дезинтегратора, прошедшего поверхностное электроискровое упрочнение с применением электродного материала СТИМ-**

**40НА ЗАО "ОЗНГМ" 210**

**ПРИЛОЖЕНИЕ В. Акт испытания стойкости калибра №1 комплекта валков №№ 21102 и 21108 чистовой клети стана 350 ОАО«ОЭМК» с поверхностью, упрочненной методом электроискрового легирования с применением электродного материала СТИМ-40НА .... 213**

**ВВЕДЕНИЕ**

Эксплуатационная стойкость прокатных валков является одним из определяющих факторов экономической эффективности прокатного производства. Подавляющее большинство валков сортопрокатных станов сегодня изготавливается из белых износостойких чугунов основными достоинствами которых являются: высокая технологичность, сравнительная дешевизна, обрабатываемость резанием, пригодность для литья и др.. В связи с этим, белые чугуны находят широкое применение в качестве материала для производства деталей промышленного оборудования, расходуемого ремонтопригодного (в производственных условиях) инструмента, такого как валки, волоки, лопатки дробеметов, ролики и.т.п. [1, 2, 3, 4]. Применение традиционных методов термической и химико-термической обработки для упрочнения рабочей поверхности, ввиду неизбежного отпуска и преобразования исходной ледебуритной структуры белого чугуна, не позволяет добиться заметного повышения эксплуатационной стойкости валков. Применение твердых сплавов обеспечивает повышение стойкости инструмента и стабилизирует износ, но в значительной степени усложняет процесс и оборудование, используемое для подготовки и ремонта валков [5, 6, 7].

В условиях модернизации существующих технологических процессов для повышения эксплуатационной стойкости инструмента особенно эффективно использовать технологий, позволяющие создавать новые композитные материалы, в основе которых лежат традиционные сплавы на основе железа, а эксплуатационные характеристики обеспечиваются за счет создания поверхностных слоев со специальными составом и свойствами [8-19]. Особую актуальность для крупногабаритных изделий из белых чугунов приобретает применение методов поверхностной обработки с использованием высокоэнергетических источников мгновенного нагрева, которые выгодно отличаются независимостью от масштабного фактора, возможностью проведения локальной обработки и применения традиционного вальцетокарного оборудования.

Наиболее технологически доступным для организации упрочнения прокатных валков является метод электроискрового легирования (ЭИЛ), разработанный в 1943 году выдающимися советскими учеными Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко [20, 21, 22, 23]. В основе метода лежат явления электрической эрозии и полярного переноса материала анода на катод при протекании импульсных разрядов в газовой среде.

Основной особенностью получаемых в результате ЭИЛ поверхностных слоёв является высокая прочность сцепления с подложкой, и возможность обеспечения широкого спектра функциональных свойств, таких как [18, 22, 23, 24]:

* увеличение твердости, коррозионной стойкости, износостойкости и жаростойкости;
* уменьшение склонности обработанных поверхностей к схватыванию при трении, в том числе при высоких температурах и в вакууме;
* частичное или полное восстановление размеров деталей машин и инструмента;
* создание промежуточных слоев для других методов поверхностной обработки и поверхностей с определенной шероховатостью.

Наиболее широко в качестве электродных материалов используются чистые металлы, их сплавы, графит, а так же твердые сплавы [19-27]. Наибольший эффект в большинстве случаев применения упрочняющей поверхностной электроискровой обработки получен при использовании твердосплавных электродов на основе карбида вольфрама, получаемых по технологии порошковой металлургии [23, 24, 25]. К недостаткам этих материалов относятся: высокая эрозионная стойкость, низкий коэффициент переноса, низкая жаростойкость, высокая стоимость, низкая производительность, ограниченная толщина формируемого слоя, высокая шероховатость и пористость [24, 26, 27]. Одним из наиболее перспективных направлений развития метода ЭИЛ является использования новых твердосплавных электродных материалов на безвольфрамовой основе. Качественно отличный принцип организации технологического процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и его модификаций: силового СВС-компактирования и СВС-экструзии, - дает принципиально новые возможности в технологическом процессе получения электродов для ЭИЛ [24, 25, 27, 28].

Учитывая известные достижения в развитии технологических процессов ЭИЛ с применением электродных материалов марки СТИМ [24, 25, 27, 28], сегодня наиболее перспективны прикладные исследования в области упрочняющей электроискровой обработки промышленного инструмента и деталей оборудования, а так же внедрение электродных материалов, оборудования и технологий на предприятиях Российской Федерации.

Основными трудностями при распространении результатов прикладных и экспериментальных исследований по обработке различных материалов и осуществлении их промышленного внедрения является весьма широкий ряд факторов, влияющих на качество покрытий и неаддитивность их взаимного воздействия на технологический процесс электроискрового легирования. Точное аналитическое описание такого воздействия крайне затруднительно, поэтому применение новых сочетаний материалов катода и анода при ЭИЛ требует широкого спектра экспериментальных и аналитических исследований. Несмотря на большой опыт применения данного метода для обработки стальных изделий, его использование на практике для белых чугунов чрезвычайно ограничено, поскольку обработка с использованием высококонцентрированных потоков энергии в ряде случаев может приводить к существенному изменению фазового состава и структуры поверхности изделий изготовленных из них.

**В** связи с выше изложенным, **целью работы** являлась разработка технологии электроискрового упрочнения поверхности валков горячей прокатки, изготовленных из белого чугуна, с использованием **СВС-** электродных материалов на основе карбида и диборида титана.

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

* исследовать кинетику массопереноса и механизм формирования покрытий при электроискровой обработке подложек из белого чугуна с использованием СВС-электродных материалов систем TiC-NiAl, TiC-Ni-Mo, TiC-Ni, ТіВ2-ТіА1, ТіВг-NiAl;
* исследовать влияние условий электроискровой обработки белого чугуна электродными материалами марки СТИМ на фазовый состав, структуру и свойства формируемых покрытий. Выбрать состав СВС-электродных

материалов и энергетические режимы электроискровой обработки для упрочнения прокатных валков, изготовленных из белого чугуна,

обеспечивающие наиболее высокую износостойкость покрытий;

* разработать технологическую оснастку, позволяющую производить электроискровую обработку тел вращения со сложной формой боковой образующей (калибров прокатных валков) в условиях ремонтных подразделений современных прокатных станов и сокращение времени обработки;
* провести опытно-промышленные испытания разработанных технологии и технологической оснастки для электроискрового упрочнения валков прокатных станов;
* разработать метод неразрушающего контроля толщины тонких электроискровых покрытий на основе СВС-электродных материалов, нанесенных методом электроискрового легирования на белый износостойкий чугун.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Предложен механизм формирования покрытий на подложках из белого чугуна СПХН-60 при использовании СВС-электродных материалов СТИМ-20Н (TiC - Ni); СТИМ-20НМ (TiC-Ni-Mo); СТИМ-9/20А (ТіВ2-ТіА1); СТИМ-40НА (TiC-NiAl); СТИМ-11 (ТіВг-NiAl). На начальной стадии в широком диапазоне значений энергий единичного импульса, частоты и времени следования импульса в присутствии кислорода воздуха определяющую роль играет химическое взаимодействие цементита подложки с электродным материалом, что приводит к интенсивному газовыделению и обезуглероживанию зоны термического влияния.
2. Установлена зависимость концентрации вторичной фазы карбида титана в покрытии, образующейся в результате высокотемпературного взаимодействия диборида титана электродного материала с белым чугуном, от энергии единичного импульса, заключающаяся в том, что при увеличении энергии более 0,4 Дж наблюдается монотонное снижение её концентрации вплоть до полного исчезновения при 3,0 Дж, что может служить ограничением при выборе энергетических режимов обработки.

**Практическая значимость** работы заключается в следующем:

1. Разработана технология электроискрового упрочнения инструмента и деталей промышленного оборудования, изготовленных из белого чугуна, с использованием СВС- электродных материалов на основе систем TiC-NiAl, TiC-Ni-Mo, TiC-Ni, TiB2-TiAl, TiB2-NiAl, которая апробирована на ОАО «ОЭМК», ООО «ОЗНГМ», ООО «Ресурс». Установлен рост эксплуатационной стойкости инструмента в 1,7 - 4 раза.
2. Разработана и изготовлена новая конструкция многоэлектродного инструмента с независимой подвеской электрододержателей для механизированной обработки деталей, имеющих форму тел вращения со сложной геометрией боковой образующей, позволяющая производить самопозиционирование рабочих электродов относительно обрабатываемой поверхности.
3. Разработаны рекомендации по применению метода магнитной памяти для неразрушающего «in situ» контроля толщины ЭИЛ-покрытий при нанесении и эксплуатации прокатных валков.
4. Разработаны и апробированы на ОАО «ОЭМК» технология и технологическая оснастка для механизированной электроискровой обработки валков для горячей прокатки, изготовленных из белого чугуна, что позволяет повысить их эксплуатационную стойкость более чем в 4 раза.

**На защиту выносятся:**

* результаты исследований кинетики формирования электроискровых покрытий на основе СВС-электродных материалов систем TiC-NiAl, TiC-Ni- Мо, TiC-Ni, TiB2-TiAl, TiB2-NiAl на белых чугунах;
* выявленные закономерности влияния состава материала катода и энергетических режимов обработки на структуру и фазовый состав электроискровых покрытий;
* разработанная конструкция модульной технологической оснастки для электроискровой обработки тел вращения со сложной формой боковой образующей;
* предложенная методика магнитного неразрушающего контроля толщины электроискровых покрытий на основе СВС-электродных материалов.

**Апробация работы.** Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международной научно-технической конференции «Достижения и перспективы развития процессов и машин обработки давлением в металлургии и машиностроении» (Украина, г. Крамоторск, 2009 г.); Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи «Проведение научных исследований в области индустрии наносистем и материалов» (г. Белгород, 2009 г.); Международной научно-технической конференции «Электроэрозионные и электрохимические технологии в производстве наукоемкой продукции» (г. Москва, 2010 г.); Международной научно-практической конференции «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня» (г. Санкт-Петербург, 2011, 2012 гг.); 12-ой Международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий», (Украина, г. Ялта, 2012 г.); Международной научно-технической конференции «Нанотехнологии функциональных материалов (НФМ 2012)» (г. Санкт-Петербург, 2012 гг.); XV Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии» (г. Орел, 2012 г.); 10-й международной научно-технической конференции «Современные металлические материалы и технологии» (СММТ’13) (г. Санкт-Петербург, 2013 г.), а также на научно- технических семинарах профессорско-преподавательского состава Старооскольского технологического института в 2008-2013 гг.

**Публикации.** Содержание диссертационной работы отражено в 17 публикациях. Из них 3 статьи в рецензируемых журналах рекомендованных ВАК, 13 статей в сборниках трудов конференций, 1 тезисы доклада, зарегистрировано 1 know-how.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов и трех приложений. Работа изложена на 206 страницах, включая 81 рисунок, 34 таблицы. Список литературы содержит 152 наименования.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Установлено снижение массы катода и повышенная дефектность ЭИЛ покрытий на первых этапах электроискровой обработки белого чугуна на воздухе электродами марки СТИМ-40НА, СТИМ-9/20 и СТИМ-11, обусловленные обезуглероживанием зоны термического влияния и частичным выгоранием элементов подложки. Поэтому по зависимостям изменения массы подложки нельзя судить о приросте толщины наносимых покрытий.
2. Показано, что оптимальными режимами ЭИЛ обработки белых чугунов электродами марки СТИМ являются - энергия единичного импульса 0,8-0,8 Дж при частоте следования импульсов 300-400 Гц. Увеличение энергии приводит к росту шероховатости поверхности выше Ra = 7мкм.
3. Высокотемпературные трибологические исследования образцов из белого чугуна с ЭИЛ- покрытиями в паре с шариком из А12Оз при нагрузке 5 Н, скорости скольжения 10 см/с, температуре до 700 °С показали повышение износостойкости в 1,7 раз при использовании электрода СТИМ-40НА, в 2,5 раза - СТИМ-9/20А и в 1,8 раза - СТИМ-11.
4. Предложен метод косвенного определения толщины электроискровых покрытий по изменению напряженности Hj собственного магнитного поля рассеяния, что позволило рекомендовать его для «in situ» контроля толщины покрытия в процессе работы прокатного стана.
5. Разработан и изготовлен многоэлектродный инструмент новой конструкции для механизированной обработки цилиндрических деталей, позволяющий производить самопозиционирование рабочих электродов относительно обрабатываемой поверхности, проведены его производственные испытания.
6. На основании опытно-промышленных испытаний в условиях стана 350

ОАО «ОЭМК» показано, что электроискровая обработка электродами марки

189

СТИМ-40НА позволяет повысить стойкость поверхности калибра валков горячей прокатки стали 55С2А более 4 раз. Экономический расчет внедрения электроискровой технологии упрочнения прокатных валков из белого чугуна показал, что, с учетом сокращения парка валков в 4 раза и приобретения 18 установок «AlierG53-Metal», окупаемость капитальных затрат составит 2,9 года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Северденко В.П., Бахтинов Ю.Б., Бахтинов В.Б. Валки для профильного проката. // М.: Металлургия, 1979, 224 с.
2. Полухин П.И., Николаев В.А., Полухин В.П., Толпеева Н.М. Прочность прокатных валков. // Алма-Ата: Наука, 1984, 295с.
3. Вдовин К.Н., Гималетдинов Р.Х., Колокольцев В.М., Цыбров С.В. Прокатные валки: Монография // Магнитогорск: МГТУ, 2005, 543 с.
4. Пратусевич А.Е. Вальцовщик оператор прокатных станов. Учебник в шести книгах. Книга первая // Старый Оскол, 1995, 147 с.
5. <http://www.hardmaterials.sandvik.com/>
6. Лисовский А.Ф., Цкитишвили Э.О., Кулик А.И. и др. Разработка научных основ технологии производства крупногабаритных твердосплавных изделий и освоение их промышленного производства для металлургической промышленности Украины//Металл и литье украины №1-2, 2010 с.5-55.
7. Пашинский В.В. Взаимосвязь структуры- и свойств материалов для твердосплавных прокатных валков дискового типа /В.В. Пашинский // Металл и литье Украины. - №12. - 2002.
8. Чаттерджи-Фишер Р., Эйзелл Ф.-В.и др. Азотирование и карбонитрирование. Пер. с нем. / Под ред. Супова А.В. // М.: Металлургия, 1990, 280 с.
9. Корецкий Ян. Цементация стали. Перев. с чешского. - Л.: Судпромгиз, 1962 -230 с.
10. Бирюков В., Белых А. Применение мощных твердотельных лазеров для упрочнения поверхностей трения: Сборник научных трудов и инженерных разработок. // М.: ИМАШ РАН, 2007;
11. Крылов К.И., Рокалои И.Н., Ужов А.А., Кокора А.Н. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении. Лазерная обработка материалов. // Москва «Машиностроение», 1975, 296 с.;
12. Лащенко Г. И. Плазменное упрочнение и напыление.— Киів: «Екотехнологія», 2003. — 64 с.
13. Гальванические покрытия в машиностроении: Справочник / под ред. Шлугера М.А., т.2. // М.: Машиностроение, 1985, 248 с.
14. Мелащенко Н.Ф Гальванические покрытия диэлектриков: Справочник. // Минск: Беларусь, 1987, 176 с.
15. Рыкалин Н.Н., Зуев И.В., Углов А.А. Основы электронно-лучевой обработки материалов. // М.: Машиностроение, 1978, 239 с
16. Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодкин Ю.Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. // М.: Машиностроение, 1988, 240
17. Хасуи А, Моригаки О. Наплавка и напыление / Пер. с яп. В.Н.Попова; Под ред. B.C. Степина, Н.Г. Шестнркина. // М.: Машиностроение, 1985, 240 с.
18. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Электрическая эрозия металлов // М.: Гостехиздат, вып. 1. 1944, 28 с.
19. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Электрическая эрозия металлов // М.: Гостехиздат, вып. 2. 1946, 32 с.
20. А.С. СССР № 89933. Опубл. в Б.И., 1951, №12.
21. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я. и др. Электроискровое легирование металлических поверхностей // Кишинев: Штиинца, 1985, 195 с.
22. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А., Сычев B.C. Электроискровое легирование металлических поверхностей // Киев: Наукова думка, 1976, 219 с.
23. Верхотуров А. Д., Подчерняева И. А., Прядко Л.Ф., Егоров Ф.Ф. Электродные материалы для электроискрового легирования. // М.: Изд-во Наука. 1988, 224 с.
24. Кудряшов А.Е. Разработка и промышленное применение новых композиционных материалов и технологий электроискрового легирования. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. // М.:, МИСиС, 2001, 202 с.
25. Левашов ЕА., Кудряшов А.Е., Погожев Ю.С-. СВС-электродные материалы

для технологии электроискрового легирования, Технологии ремонта,

192

восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня. Материалы 13-ой МНГЖ. // Санкт-Петербург, 2011, Ч 2, с. 173-180.

1. Замулаева Е.И. Разработка наноструктурированных электродов и покрытий на основе WC-Co. Диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // М.:, 2009.
2. Погожев Ю.С. Дисперсноупрочненные наночастицами электродные материалы и покрытия на основе карбида титана. Диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // М.:, 2006.
3. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Курбаткина В.В., Максимов Ю.М., Юхвид В.И. Перспективные материалы и технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. // М.: Изд. Дом МИСиС, 2011, 377 с.
4. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инатович Ю.В. Калибровка прокатных валков. // М.: изд-во Металлургия. 1987, 368 с.
5. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов: учебник для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. // М.: Металлургия, 1987, 480 с.
6. ГОСТ 11143-65. Валки чугунные для горячей прокатки металлов. 1965
7. Цыбров С.В. Исследование и разработка технологии производства чугунных листопрокатных валков методом центробежного литья. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. //М.: 2006.
8. Иванова Л.Х. Разработка технологических способов снижения напряжений в чугунных валках и повышения их прочности Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. //Днепропетровск: 1984.
9. Адищев В.В. Уменьшение износа калибров оптимизацией их геометрических параметров при прокатке простых сортовых профилей. // Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., Магнитогорск, 1984.
10. Alfred Christ, Rolf Lehmann Patent US-3997953 - Temperature-controlled roll for a rolling mill, 1976
11. Бешлык A.C. Чугунные прокатные валки. // М.: Металлургиздат, 1955, 291 с.
12. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.Н. Материаловедение. Учебник для ВУЗов технич. спец. - 3-є изд. // М. Машиностроение, 2006, 528с.
13. Веселовский А.А. Термодифузионное упрочнение деталей гидроцилиндров из серого чугуна алюминием и ванадием в порошковой среде. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н.// Магнитогорск, 2008.
14. Чибряков М.В. Разработка способов и металлография обработки расплавов с привлечением элементов внедрения для получения высококачественного чугуна многоцелевого назначения. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н.//Новокузнецк, 1999.
15. Савина Л.Г. Влияние высокотемпературной обработки расплава на структуру и свойства высокоуглеродистых сплавов железа. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н.// Екатеринбург, 2003.
16. Филипов К.С. Исследование состояния кластеров в металлических расплавах с использованием равновесия свободной энергии между поверхностью и объемом // Известия вузов. Черная металлургия. - 1998, №5, сЗ.
17. Гаврилин И.В. Формирование структуры чугуна при плавлении и кристаллизации // Литейное производство, 1998. - №6 - с.6
18. Шекунов Е.В. Состав структура и свойства износостойких белых чугунов для деталей горно-обогатительного оборудования, работающих при повышенных температурах. // Диссертация на соискание ученой степени к.т.н.// Магнитогорск, 2006.
19. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кН./Под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. // М.: Машиностроение, 1978 - Кн. 1. 1978. - 400с.
20. Чигарев В.В., Щетинина В.И., Щетинин С.В., Степнов К.К., Заварика Н.Г., Федун В.И. Повышение трещиностойкости бандажей опорных валков при высокоскоростной наплавке // Автоматическая сварка, 2009, № 1, с.29-33.
21. Плахтин В.Д., Скорохватов Н.Б., Бобух И.А., Смирнов B.C., Патент RU2254184 (RU) Бандажированный прокатный валок. Опубл. В Б.И. 31.03.2004.
22. Электрошлаковая сварка и наплавка; дод ред. Б. Е. Патона. М.: Машиностроение, 1980, 511 с
23. Соколов Г.Н., Артемьев А.А., Зорин И.В. и др., Патент RU2397851 (RU) Способ электрошлаковой наплавки плоских поверхностей. Опубл. В Б.И. 17.12.2008.
24. Ионное азотирование изделий из конструкционных сталей М. Н. Босяков, С. В. Бондаренко, Д.В.Жук, П.А.Матусевич. Металл-инфо. Белорусский информационно-аналитический журнал. // Минск, №1, с 13-16
25. Повышениестойкостивалков для горячего деформирования с использованием ТЦО Иващенко В.Ю., Чейлях А.П. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета // 2009, № 46, с.95-99.
26. Корягин С.И., Пименов И.В., Худяков В.К. Способы обработки материалов: Учебное пособие // Калининград, Калинингр. ун-т, 2000, 448с.
27. Ильин С.И. Корягин Ю.Д. Технология термической обработки сталей: учебное пособие. // Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009, 120с.
28. Марецая В.В. Исследование и разработка технологических процессов изготовления деталей с учетом взаимного влияния формируемых показателей качества. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н., // М.: 2008.
29. Волков И. В., Дегтярева Ю.Ю., Лубенская Л.М. Влияние физико­механических характеристик материала изделия на его износостойкость/И. В. Волков, // Вестник двигателестоения, 2006. т.№4. с.126-130.
30. Батаев А.А., Иванцивский В.В., Батаев И.А., Буров В.Г., Кручинин А.М. Особенности структурных превращений, обусловленные высокоскоростным нагревом углеродистых сталей. // Известия вузов. Черная металлургия, 2006, № 10, с. 31-33.
31. Плошкин В.В. Структурные превращения при электроэрозионной обработке сталей. // Известия вузов. Черная металлургия. 2005, №11, с.43-48.
32. Ефимов О.Ю., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е., Коновалов С.В. Формирование наноразмеронй субструктуры и фазового состава при плазменном упрочнении чугунных валков. // Известия вузов. Черная металлургия, 2008, № 8, с. 16-21.
33. Батаев Е.А., Буров В.Г., Батаев В.А. Особенности разрушения поверхностного слоя стали, перегретого электронным лучом. // Известия вузов, Черная металлургия, 2006, № 12, с. 60.
34. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / Под ред. Дж. М. Поута, Г. Форти, Д.К. Джекобсона. // М.: Машиностроение, 1987. 424 с.
35. Robert Н. Todd, Dell К. Allen and Leo Alting manufacturing process recourse guide // New-York: Industrial press Inc., 1994, 165p.ISBN 0-8311-3049-0
36. Komel Majlinger, Peter Janos Szabo Laser Treatment of Cast Iron Engine Cylinder Bore with Nanosecond Laser Pulses. MATERIALS SCIENCE FORUM ISSN: 1662-9752
37. A.D. Pogrebnijak A.D., Kul’ment’eva, Kobzev A.P. and all Mass transfer and doping during electrolyte-plasma treatment of cast iron. Technical Physics Letters April 2003, Volume 29, Issue 4, pp 312-315.
38. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Электроискровая обработка токопроводящих материалов. // М.: изд. АН МССР, 1959, 184с.
39. Ярков Д.В., Формирование функциональных покрытий методом ЭИЛ с применением электродных материалов из минерального сырья Дальневосточного региона Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. // Хабаровск: 2004, 187с.
40. Мулин Ю.И. Технологические и методологические основы формирования функциональных покрытий методом электроискрового легирования с применением электродных материалов из минеральных концентратов Дальнего

Востока. Диссертации на соискание ученой степени д.т.н. // Косомольск-на- Амуре, 2007 г.

1. Лобзин А.В., Гитлевич А.Е., Юриков Ю.В. Опыт внедрения технологии электроэрозионного восстановления / Сб. Тр. Всероссийской Научно- технической конференции «Современная электротехнология в машиностроении». // Тула, 1997, с. 253.
2. Бурумкулов Ф.Х., Беляков А.В., Лельчук Л.М., Иванов В.И. Восстановление и упрочнение деталей электроискровыми методами. // Сварочное производство, 1998, № 2, с. 37 - 39.
3. Ochiai Hiroyuki, Watanabe Mitsutoshi, Arai Mikiya and all. Development of coating and cladding technology, MSCoating, using electro-discharge energy. // IHI Engineering Review Volume 39 (No. 1), pp. 1-8
4. Игнатов В.И. Упрочнение режущего инструмента электроискровым легированием. // Электронная обработка материалов, 1974, № 5, с.77 -78.
5. Корниенко А.И., Зайцев Е.А., Коваль Н.П., Базылько А.Г. Из опыта применения установок для электроискрового легирования металлических поверхностей. // Электронная обработка материалов, 1970, № 4, с. 87-91.
6. Иванов Г. П. Технология электроискрового упрочнения инструментов и деталей машин. // М.: Машгиз, 1961, 303 с.
7. Тюфтяев А.С., Исакаев Э.Х., Ильичев М.В., Филиппов Г.А. Структурные механизмы упрочнения поверхности металлоизделий при плазменной обработке и освоение промышленных технологий модифицирования поверхности сталей и сплавов. Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 12-й МНТК, 2012 г. // Ялта - Киев: ATM Украины, 2012, с.318-320.
8. Вдовин Ю.И., Гулданаев Ш.А., Витковская В.М. Увеличение стойкости молотовых штампов покрытием их твердым сплавом. // Вестник машиностроения, 1972, № 8, с. 59.
9. Тимощенко В. А., Коваль Н.П., Иванов В.И. Использование электроэрозионного легирования для повышения износостойкости рабочих

197

частей разделительных штампов. // Кузнечно-штамповочное производство, 1979, № 12, с. 13-14.

1. Марченко И.Ф., Циулин В. А., Щеголев В. Л. Электроискровое упрочнение стенок канавок алюминиевых поршней. // Двигателестроение, 1980, № 4, с. 31-

33.

1. Попович А.А. Тихомиров С.В. Из опыта внедрения метода электроэрозионного легирования в промышленность// Технология металлов, 1998, № 1, с. 38-40.
2. Сталинский Д.В., Рудюк А.С., Медведев B.C. Ресурсосбережение и энергоэффективность в сортопрокатном производстве // Вестник национального технического университета "ХПИ". Сборник научных трудов. Тематический выпуск "Новые решения в современных технологиях", 2011,

в.47, с.3-7

1. Рудюк А.С. Повышение износостойкости чугуна валков горячей прокатки методом электроискровой обработки Автореферат на соискание ученой степени к.т.н. // Харьков, 1992.
2. Коробейник В.Ф., Жеребцов В.Н., Щекин Б.М. и др. Электроискровое восстановление рабочей поверхности прокатных валков. // Электронная обработка материалов. 1981. №6. С. 40-43.
3. Тришевский И.С., Воронцов Н.М.. Юрченко А.Б., Коробейник В.Ф., Жеребцов В.Н., Свистунов И.А., Рудюк С.И. А.с. 698746 (СССР). Способ электроискрового восстановления рабочего профиля деталей / Авт. изобрет. - Опубл. вБ.И., 1979, №43.
4. Коваленко С.В. Исследование процесса формирования поверхностного слоя при механизированном электроискрвом легировании сталей тугоплавкими металлами Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. // Хабаровск, 2003, 174с.
5. Мицкевич М.К. и др. А.С.№557899 (СССР). Устройство для

электроискрового нанесения покрытий. Опубл. в Б.И. 15.05.1977.

198

1. Хайт М.Л., Коваль Н.П. и др. А.С.№870046 (СССР). Устройство для электроискрового нанесения покрытий. Опубл. в Б.И. 1981г., №37.
2. Кулаков В.П., Галай В.И. и др. А.С.№624760 (СССР) Устройство для электроискрового легирования металлических деталей. Опубл. В Б.И. 1978, №36
3. Давыдов В.М., Богачев А.П. и др. А.С. RU2393067 (RU) Устройство для электроискрового легирования. Опубл. В Б.И. 27.06.2010
4. Хайт М.Л., Коваль Н.П., Корниенко А.И., Паламарчук Г.П. А.с. 870046 (СССР). Устройство для электроискрового легирования. // Опубл. в Б.И., 1981. №37.
5. Астапов И.А. Формирование поверхностного слоя при электроискровом легировании вольфрамсодержащих твердых сплавов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.ф-м.н. // Хабаровск, 2009.
6. Бажин П.М. СВС-экструзия многофункциональных электродных материалов для электроискрового легирования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Черноголовка, 2009
7. Логинов Н.Ю. Увеличение ресурса режущего инструмента методом электроискрового легирования. Диссертация на соискании ученой степени к.т.н. // Тольятти, 2005.
8. Николенко С.В., Верхотуров А.Д. Новые электродные материалы для электроискрового легирования. // Владивосток: «Дальнаука», 2005, 219 с.
9. Столин А.М., Мержанов А.Г. Новые износо- и коррозионно- стойкие электродные материалы для электроискрового легирования, полученные методом СВС-экструзии // Техника машиностроения. 2003, N1, с. 15-29
10. Замулаева, Левашов, Кудряшов Влияние структуры электродов WC-Co на скорость нанесения электроискровых покрытий. // Металлург №9, 2011г. с.ЗО- 35
11. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при ЭИЛ // Дальнаука, 1995, 320 с.
12. Лазаренко Н.И. Изменение исходных свойств поверхности катода под действием искровых электрических импульсов, протекающих в газовой среде // Электроискровая обработка металлов. Вып. 1. 1957, М., Изд-во АН СССР, с.70-94.
13. Коротаев Д.Н. Создание износостойких покрытий электроискровым легированием в окислительных и инертных средах с оптимизацией режимов и использованием твердосплавных электродов. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. // Омск, 2009.
14. Химухин С.Н. Разработка научных основ формирования измененного поверхностного слоя на металлах и сплавах с заданными свойствами при низковольтной электроискровой обработке Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н. // Комосмольск-на-Амуре, 2009.
15. Сафронов И.И., Цуркан И.В., Фатеев В.В., Семенчук А.В. Электроэрозионные процессы на электродах и микроструктурно-фазовый состав легированного слоя // Chisinau: Stiinta, 1999, 591 с.
16. Верхотуров А.Д., Ковальченко М.С., Подчерняева И.А. Влияние структуры диборида титана на условия формирования покрытий при электроискровом легировании стали // Порошковая металлургия, 1983, № 8, с.35-39.
17. Вишневский, А.Н. Исследование процессов восстановленияупрочнения матриц для прессования панелей из алюминиевых сплавов методом электроискрового легирования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Комсомольск-на-Амуре, 2003.
18. Гнесин И.Б. Экспериментальное исследование структуры и свойств твердых растворов силицидов молибдена и вольфрама и их применение. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. // Черноголовка, 2009.
19. Болдырев Д.А. Комбинированное влияние технологических параметров

модифицирования и микролегирования на структуру и свойства

**200**

конструкционных чугунов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н. // М., 2009.

1. Давыдов С.В. Влияние термоциклических факторов на

структурообразование в графитизированных чугунах. Диссертация на

соискание ученой степени д.т.н. // Брянск, 2002.

1. Дроздова Е.И. Разработка прочного износостойкого белого чугуна с пониженным содержанием хрома для прокатных валков. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. // М., 1993.
2. Зинченко В.А. Управление технологическим процессом отжига деталей машин и механизмов из серого и высокопрочного чугуна. Диссертация на

соискание ученой степени к.т.н. // Ижевск 2008.

1. Осинцев А.Н. Технологические основы структурной и размерной стабилизации серого чугуна. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. // Курск, 1998.
2. Фоменко В.А. Теоретические и технологические принципы глубокого обезуглероживания стали в ковшевых вакууматорах большой вместимости. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. // М., 2005.
3. Амосов А.П., Боровинская И. П., Мержанов А. Г. Порошковая технология СВС материалов / под редакцией Анциферова В.Н. // М.: Машиностроение—1, 2007. 567 с.
4. Концепция развития самораспространяющегося высокотемпературного процесса как области научно-технического прогресса. Под ред А.Г. Мержанова. // Черноголовка, Территория, 2003, 368 с.
5. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Юхвид В.И., Боровинская И.П. Физико­химические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. М.: ЗАО "Изд-во Бином", 1999.176 с.
6. Коваленко B.C. Металлографические реактивы. Справ, изд. -3-є изд.перраб. и **ДОПОЛН.//М.:** Металлургия, 1981, 120с.
7. Махутов H.A., Дубов А.А., Денисов А.С. Исследование статических и циклических деформаций с использованием метода магнитной памяти металла // Заводская лаборатория, №3, 2008. С.42-46.
8. Методические указания по техническому диагностированию трубопроводов с использованием метода магнитной памяти (ММП) металла ООО "Энергодиагностика" // Утверждены Госгортехнадзором РФ 18 января 1996 г.
9. Малинин В.В. Структурно-аналитический градиентный критерий разрушения пластин с макроконцентраторами напряжений Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Орел, 2011г.
10. Рид С.Дж.Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии. // М.: Техносфера, 2008, 232с.
11. Лазаренко Н.И. Изменение исходных свойств поверхности катода под действием искровых электрических импульсов, протекающих в газовой среде // Электроискровая обработка металлов. Вып. 1. 1957, М., Изд-во АН СССР, с.70-94.
12. Лазаренко Н.И. О механизме образования покрытий при электроискровом легировании металлических поверхностей // Электронная обработка материалов, 1965, № 1,с.49-53.
13. Харитоненко С.А. Выявление и использование особых структурных эффектов в чугунах стабильной системы Fe-C-Si. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. // Брянск, 2005.
14. Харитоненко С.А. Выявление и использование особых структурных эффектов в чугунах стабильной системы Fe-C-Si. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. // Брянск, 2005.
15. Покровский А. М. Разработка расчетных методов анализа прочности крупногабаритных прокатных валков при термообработке и прессовой посадке. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. // М., 2003
16. Быстров, В. А. Разработка композиционных сплавов на основе карбидов

202

титана и способов упрочнения деталей, работающих при высокотемпературном износе. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Новокузнецк, 1993.

1. Лившиц Б.Г. Физические свойства металлов и сплавов // М.: Металлургия, 1980, с.320.
2. SMART ROLLING SOLUTIONS. EXPERIENCE LESS DOWNTIME WITH SANDVIK ROLLS, <http://www2.sandvik.com>.
3. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А., Порошковая металлургия, 2 изд. // М.: 1980, 496с.
4. Korkmaz К., Ribalko, A.V. Effect of pulse shape and energy on the surface roughness and mass transfer in the electrospark coating process // Kovove Materialy - Metallic Materials,Volume 49, Issue 4, 2011, p.265-270.
5. Orhan Sahin and Alexandre V. Ribalko Mass Transfer - Advanced Aspects Edited by Hironori Nakajima // ISBN 978-953-307-636-2, Hard cover, 824 pages.
6. Электроискровое упрочнение и восстановление деталей // Главный механик №1, 2012, с.43-47.
7. Лисовский А.Ф., Цкитишвили Э.О., Кулик А.И. Разработка научных основ технологии производства крупногабаритных ‘ твердосплавных изделий и освоение их промышленного производства для металлургической промышленности Украины // МЕТАЛЛ И ЛИТЬЕ УКРАИНЫ 1-2, 2010 с 3-55.
8. Белов Е.Г. Влияние упрочняющих обработок на структуру и свойства фасонного стального проката и чугунных валков. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Новокузнецк, 2010.
9. Шевченко О.И. Взаимосвязь структуры, фазового состава и служебных свойств рабочего слоя валков, полученного плазменно-порошковой наплавкой сплавом HXI6C3P3. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. //Екатеринбург 1993.
10. Тихвинская А.Ю. Повышение эксплуатационных свойств радиальных пар трения из высокопрочного чугуна на основе лазерной обработки. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Волгоград 2009.
11. Юрьев А.Б., Мухатдинов Н.Х., Козырев Н.А. и др. Патент RU2398892 Способ поверхностного упрочнения прокатных валков. Опубл. В Б.И. 10.09.2010.
12. Кащенко Ф.Д., Фетняева JI.A. и др. А.С. SU1731831 Способ термической обработки прокатных валков. Опубл. В Б.И. 07.05.1992.
13. Корочкин А.Е., Костерев В.Б., Мясникова В.И. Природа повышения стойкости чугунных прокатных валков плазменной обработкой // XVII Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии» с. 203-204.
14. Юрьев А.Б. Формирование структуры и свойств железоуглеродистых сплавов при термомеханическом и плазменном упрочнении. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Новокузнецк, 2007.
15. Лепекин В.С.ДСоцарь С.Л. и др. А.С. SU1580880 Способ нанесения хромовых покрытий на изделия типа тел вращения Опубл. В Б.И. 20.02.1996.
16. Ефимов О.Ю. Масштабные уровни эволюции структурно-фазовых состояний при упрочнении стальной арматуры и чугунных валков. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Новокузнецк, 2007.
17. Перовская М.В. Создание износостойких и коррозионно-стойких слоев методами вневакуумной электронно-лучевой закалки и наплавки. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Томск, 2007.
18. Коневцов Л.А. Повышение работоспособности режущего инструмента из вольфрамсодеержащих твердых сплавов электроискровым легированием металлами и боридами Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Косомольск-на-Амуре, 2009.
19. Николайчук П. А., Шаляпина Т.И., Тюрин А.Г., Мосунова Т.В. Термодинамика химической и электрохимической устойчивости сплавов системы Mn-Si // Вестник ЮУрГУ, № 31, 2010, с 72-82.
20. Shinichiro Omori, Joichiro Moriyama Thermodynamic Properties of Fe2B and FeB by EMF Measurements of Cells with Solid Oxide Electrolytes // Transactions of the Japan Institute of Metalls, Vol.21, No. 12(1980), pp.790 to 796.
21. Манашев И. P. Разработка СВС-технологии получения композиционной борсодержащей лигатуры для микролегирования стали Автореферат диссертации на соискание учёной степени к.т.н. // Магнитогорск, 2010.
22. Мишустин Н. М. Износостойкие боридные покрытия, полученные на конструкционных и легированных сталях с использованием ТВЧ-нагрева Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Барнаул, 2012
23. Матовников А. В. Термодинамические свойства диборидов редкоземельных элементов Автореферат на соискание ученой степени к.ф-м.н.

// Брянск, 2009

1. Погожев Ю.С., Левашов Е.А., Милонич С., и др. Особенности влияния добавок нанодисперсных тугоплавких частиц на состав, структуру и физико- механические свойства твердого СВС-сплава СТИМ-40НА // Цветные металлы №1, 2005, с.59-65.
2. Eric Н. Oelkers, Harold С. Helgeson, Dimitri A. Sverjensky et.all Summary of the Apparent Standart Partial Molal Gibbs Free Energies of Formation of Aqueous, Minerals, and Gases at Pressures 1 to 5000 Bars and Temperatures 25 to 1000 °С // J. Phys. Chem. Ref. Data, Monograph 1998, 9. — P. 1951
3. Medraj М., Hammond R., Thompson W.T., Drew R.A.L. Phases Equilibria, Thermodynamic Modelling and neutron diffraction of the A1N-A1203-Y203 System // Canadian Metallurgical Quarterly, Vol 42. No 4 pp 495-507.2003
4. Степанова Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие/ Т.Ю. Степанова; Иван. гос. хим.-технол. ун-т.-Иваново, 2009. - 64с.- ISBN - 5-9616-0315-4.
5. Industrial Press Fundamental Principles of Manufacturing Processes by Dell К Allen, Leo Alting & Robert H Todd 176 pages, Illustrated, Published: January, 1994 ISBN 9780831130503
6. Рыбалко А. В., Симинел А. В., Сахин О. Электроискровое легирование твердосплавным электродом в условиях применения нетрадиционных электрических параметров импульса (изменение длительности импульса в диапазоне 50-4000 мкс при амплитуде тока 200 и 400 А) // Металлообработка №2(20)/2004.
7. Касимцев А. В. Физико-химия и технология получения порошков интерметаллидов, тугоплавких соединений и композиционных материалов гидридно-кальциевым методом Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н., Москва, 2010.
8. 50 Международный научный симпозиум «Актуальные

проблемыпрочности». 27 сентября - 1 октября 2010 года. Витебск, Беларусь: сборник материалов. 4.1. /У О «ВГТУ» - Витебск, 2010 - 232 с.

Ефименко Н.Г., Дощечкина И.В. Электроискровое легирование (эил) рабочих поверхностей чугунных изделий // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка. Вип. 110. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва / ХНТУСГ. - X., 2011. - 388 с