# Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Сибирский государственный индустриальный университет

Посвящается 90-летию Сибирского государственного индустриального университета

## МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2019»

23 – 24 октября 2019 г.

Труды XXI Международной научно-практической конференции Часть 1

> Новокузнецк 2019

Редакционная коллегия

академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов, д.т.н., профессор М.В. Темлянцев, д.т.н., профессор Г.В. Галевский, д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, к.т.н., доцент С.Г. Коротков

М 540 Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XXI Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1 / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – 398 с. : ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и технологии производства, обработки и сварки металлов, энергоресурсосбережения, рециклинга и экологии в металлургии.

#### ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Кемеровской области ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» AO «ЕВРАЗ ЗСМК» AO «Русал Новокузнецк»

АО «Кузнецкие ферросплавы»

ОАО «Черметинформация»

Издательство Сибирского отделения РАН

Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»

Журнал «Вестник СибГИУ»

Журнал «IOP conference series: materials science and engineering»

АО «Кузбасский технопарк»

Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук Совет молодых ученых Кузбасса

## НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ: ИСТОРИЯ, РЕАЛЬНОСТЬ И ПРОГНОЗЫ

Полях О.А.<sup>1</sup>, Полях К.Е.<sup>1</sup>, Вильдеманн В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия, kafcmet@sibsiu.ru

<sup>2</sup> Академия для социальных профессий, г. Гессен, Германия, v-wildemann@t-online.de

Аннотация. Приведена обзорная информация по нанокристаллическим материалам, представленная в современных литературных источниках. Обсужден терминологический аппарат и размерный эффект нанокристаллов, а также уникальные свойства наноматериалов. Проведен исторический экскурс, освещены существующая практика применения и укрупненные прогнозы развития наноматериалов.

**Ключевые слова:** наноматериалы, нанокристаллы, нанотехнологии, ультрадисперсные материалы, наноструктурные материалы.

## NANOCRYSTAL MATERIALS: HISTORY, REALITY AND PREDICTIONS

Poljah O.A.<sup>1</sup>, Poljah K.E.<sup>1</sup>, Wildemann V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siberian state industrial university, Novokuznetsk, Russia, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru <sup>2</sup> Academy for social professions, Hessen, Germany, v-wildemann@t-online.de

**Abstract.** An overview of nanocrystalline materials presented in modern literature is given. The terminological apparatus and the size effect of nanocrystals are discussed, as well as the unique properties of nanomaterials. A historical excursion was carried out, the existing practice of application and integrated projections of the development of nanomaterials were highlighted.

**Keywords:** nanomaterials, nanocrystals, nanotechnologies, ultrafine materials, nanostructured materials.

#### Введение

В последнее время термин «нанотехнология» стал очень популярным и даже почти обыденным. Развитие современной электроники, медицины и других областей науки и техники идет по пути постоянного уменьшения размеров используемых устройств. Однако классические методы их производства подходят к своему технологическому и экономическому пределу. Размеры устройства уменьшаются незначительно, но экономические затраты резко возрастают. Качество многих привычных материалов может быть повышено за счет использования наночастиц. Нанотехнологии позволяют создавать более легкие, тонкие и прочные композитные материалы. Бурный рост наноиндустрии в области производства наноматериалов связан с их уникальными физико-механическими свойствами. [1-11]

## 1 Современный терминологический аппарат

К настоящему времени сложился следующий терминологический аппарат:

1 нанотехнология — совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм, имеющие принципиально новые качества и позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба;

2 наноматериалы – материалы, содержащие структурные элементы, геометрические

размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм, и обладающие качественно новыми свойствами, функциональными и эксплуатационными характеристиками;

3 наносистемная техника — полностью или частично созданные на основе наноматериалов и нанотехнологий функционально законченные системы и устройства, характеристики которых кардинальным образом отличаются от показателей систем и устройств аналогичного назначения, созданных по традиционным технологиям.

Следует отметить, что наряду с термином наноматериалы, который к настоящему времени получает все более широкое применение, получили распространение также равноправные термины «ультрадисперсные материалы», «ультрадисперсные системы» (в отечественной литературе) и «наноструктурные материалы» (в западных источниках).

## 2 Размерный эффект нанокристаллов

Поликристаллические сверхмелкозернистые материалы со средним размером зерен от 100–150 до 40 нм называют обычно субмикрокристаллическими, а со средним размером зерен менее 40 нм — нанокристаллическими. Нанокристаллические материалы представляют собой особое состояние конденсированного вещества — макроскопические ансамбли ультрамалых частиц с размерами до нескольких нанометров. Необычные свойства этих материалов обусловлены как особенностями отдельных частиц (кристаллитов), так и их коллективным поведением, зависящим от характера взаимодействия между наночастицами. В последние десятилетия интерес к этой теме существенно возрос, так как обнаружилось (в первую очередь, на металлах), что уменьшение размеров кристаллитов ниже некоторой пороговой величины, может приводить к значительному изменению свойств. Такие эффекты появляются, когда средний размер кристаллических зерен не превышает 100 нм, и наиболее отчетливо наблюдаются, когда размер зерен менее 10 нм [5-11].

Под размерными эффектами в самом широком смысле слова следует понимать комплекс явлений, связанных с изменением свойств вещества вследствие собственно изменений размера частиц и одновременного возрастания доли поверхностного вклада в общие свойства системы. Благодаря отмеченным особенностям строения нанокристаллические материалы по свойствам существенно отличаются от обычных поликристаллов. По этой причине уменьшение размера зерен рассматривается как эффективный метод изменения свойств твердого тела. Имеются сведения о влиянии наносостояния на магнитные свойства ферромагнетиков, существенном изменении теплоемкости и твердости металлов, оптических и люминесцентных характеристик полупроводников, о появлении пластичности боридных, карбидных, нитридных и оксидных материалов, которые в обычном крупнозернистом состоянии достаточно хрупки. Наноматериалы отличаются исключительно высокой диффузионной подвижностью атомов, на 5-6 порядков превосходящих таковую в обычных поликристаллах, однако механизмы диффузионных процессов в нанокристаллических веществах поняты далеко не полностью и в литературе по этому поводу имеются противоположные объяснения.

Особые сочетания характеристик и свойств материалов часто достигаются за счет наличия у вещества естественно или искусственно упорядоченной или неупорядоченной системы базовых элементов нанометровых характерных размеров.

#### 3 Сочетание свойств наноматериалов

Возможность практического использования наноматериалов обусловили интенсивное изучение их твердости, прочности, упругости, пластичности и других механических свойств. Независимо от области применения любые материалы должны отвечать определенным механическим характеристикам. Последнее определяет интерес к исследованию проблем в области конструкционных материалов, эксплуатация которых определяется, прежде всего, уровнем механических свойств. Наибольшее число работ посвящено исследованию механических свойств наноматериалов. Особенно привлекает исследователей и разработчиков возможность получения в наноструктурных материалах сочетания высоких прочностных и пластических свойств.

#### 4 Исторический экскурс

Проблема получения тонкодисперсных порошков металлов, сплавов и соединений и

сверхмелкозернистых материалов из них, предназначенных для различных областей техники, давно обсуждается в литературе. Дисперсные системы и нанокластеры изучаются уже с начала XX века, а компактные наноматериалы стали объектом изучения в 80-х г.г. прошлого века. Структура и дисперсность, а, следовательно, и свойства наноматериалов зависят от способа их получения. Существенный прогресс в изучении нанокристаллического состояния был достигнут после 1985 года именно благодаря усовершенствованию известных и созданию новых методов получения нанокристаллических материалов [1-3].

Значительную роль в ускорении исследований наномира сыграли два события:

- создание сканирующего туннельного микроскопа (G. Bennig, G. Rohrer, 1982 г.) и сканирующего атомно-силового микроскопа (G. Bennig, K. Kuatt, K. Gerber, 1986 г.) (Нобелевская премия 1992 г.);
- открытие новой формы существования углерода в природе фуллеренов (H. Kroto, J. Health, S. O'Brien, R. Curl, R. Smalley, 1985 г.) (Нобелевская премия 1996 г.).

### 5 Существующая практика и реальные возможности применения

Разработки новых наноматериалов за последние годы вышли на промышленный уровень развития. Некоторые страны вкладывают сотни миллионов долларов в разработку исследований свойств наноматериалов, способов получения и в изготовление конструкций с применением наноструктурных материалов.

В настоящее время многие наноматериалы уже доступны на рынке и широко применяются в микроэлектронике и атомной энергетике, в качестве сверхпрочных конструкционных материалов и износостойких покрытий. Из нанотрубок можно делать конструкции предельно высокой прочности: элементы турбин, несущие конструкции мостов, летательных аппаратов [9].

Отличие свойств малых частиц от свойств массивного материала известно уже достаточно давно и используется в разных областях техники. [6] Примерами могут служить широко применяемые аэрозоли, красящие пигменты, получение цветных стекол окрашиванием их коллоидными частицами металлов. Малые частицы и наноразмерные элементы используются для производства различных авиационных материалов. Например, в авиации применяются радиопоглощающие керамические материалы, в матрице которых беспорядочно распределены тонкодисперсные металлические частицы.

Нитевидные монокристаллы (усы) и поликристаллы (волокна) обладают очень высокой прочностью, например, усы графита имеют прочность в 10 раз выше, чем прочность стальной проволоки. Благодаря этому они применяются в качестве наполнителей легких композиционных материалов аэрокосмического назначения. Суспензии металлических наночастиц (обычно железа и его сплавов) размером от 30 нм используются как присадки к моторным маслам для восстановления изношенных деталей непосредственно в процессе работы.

Очень важная и широкая область давнего и успешного применения малых частиц металлов, сплавов и полупроводников — катализ химических реакций. Гетерогенный катализ с помощью высокоэффективных катализаторов из тонкодисперсных порошков или керамики с зернами нанометрового размера — самостоятельный раздел физической химии. Катализ на малых частицах играет исключительно важную роль в промышленной химии. Катализируемые реакции обычно протекают при более низкой температуре и более селективны. Новой областью катализа на малых частицах является катализ с использованием полупроводниковых частиц и наноструктурных полупроводниковых пленок, перспективный, например, для фотохимической очистки сточных вод от различных органических загрязнителей путем их фотокаталитического окисления и минерализации.

Наночастицы и нанослоя широко применяются в производстве современных микроэлектронных устройств. Примером могут служить слоисто-неоднородные наноструктуры – сверхрешетки, в которых чередуются твердые сверхтонкие слои толщиной 1-50 нм двух различных веществ, например, оксидов.

Керамические наноматериалы широко используются для изготовления деталей, работающих в условиях повышенных температур, неоднородных термических нагрузок и агрессивных

сред. Сверхпластичность керамических наноматериалов позволяет получать из них применяемые в аэрокосмической технике изделия сложной конфигурации с высокой точностью размеров. Нанокерамика на основе гидроксиапатита благодаря своей биосовместимости и высокой прочности используется в ортопедии для изготовления исскуственных суставов и в стоматологии. Нанокристаллические ферромагнитные сплавы находят применение как превосходные трансформаторные магнитомягкие материалы с высокой магнитной проницаемостью.

#### Заключение.

Таким образом, прикладной интерес к наноматериалам обусловлен возможностью значительной модификации и даже принципиального изменения свойств известных материалов при переходе в нанокристаллическое состояние, новыми возможностями, которые открывает нанотехнология в создании материалов и изделий из структурных элементов нанометрового размера.

По словам академика Н.П. Лякишева, нанокристаллические материалы находятся на второй «стадии жизни» – интенсивных исследований. Можно ожидать, что в ближайшие годы интенсивность изучения нанокристаллических материалов будет возрастать.

## Библиографический список

- 1. Полях О.А. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния: монография: в 3 т. Том 1: Микрокремнезем в производстве карбида кремния // О.А. Полях, В.В. Руднева. М.: Флинта: Наука, 2007. 248 с.
- 2. Полях О.А. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния: монография: в 3 т. Том 2: Плазмометаллургическое производство карбида кремния для гальванотехники // О.А. Полях, В.В. Руднева. М.: Флинта: Наука, 2007. 188 с.
- 3. Полях О.А. Карбид кремния. Нанотехнология и применение для гальванотехники // О.А. Полях, Г.В. Галевский, В.В. Руднева. Deutshland, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 142 с.
- 4. Полях О.А. Производство микро- и нанопорошка карбида кремния на основе техногенного микрокремнезёма / О.А. Полях, В.В. Руднева, Н.Ф. Якушевич, Г.В. Галевский // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2014. № 32. С. 113-121.
- 5. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований./ Под ред. М.К.Роко, Р.С.Уильямса и П.Аливисатоса. Пер. с англ. М.: Мир, 2002. 292 с.
- 6. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. 224 с.
- 7. Рыбалкина М.А. Нанотехнологии для всех: Большое в малом / Рыбалкина М.А. М.: 2005. 436 с.
- 8. Минько Н.И. Методы получения и свойства нанообъектов: учебное пособие. / Н.И. Минько [и др.] М.: Флинта: Наука, 2009. 163 с.
- 9. Харрис П. Углеродные нанотрубки и родственные структуры. Новые материалы XXI век / П. Харрис. М.: Техносфера, 2003. 336 с.
- 10. Бучаченко А.Л. Нанохимия прямой путь к высоким технологиям / А.Л. Бучаченко // Успехи химии, 2003 . Т. 72. С. 419.
- 11. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. М.: Академия, 2005. 192 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	4
МЕТАЛЛУРГИЯ КУЗБАССА: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ Протопопов Е.В., Темлянцев М.В., Галевский Г.В., Козырев Н.А., Коротков С.Г., Фастыковский А.Р.	4
СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ Протопопов Е.В., Калиногорский А.Н., Ганзер Л.А	9
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ <b>Фастыковский А.Р.</b>	14
ФЕРРОСПЛАВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ В МИРЕ И РОССИИ <i>Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Ёлкин К.С., Голодова М.А.</i>	20
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ Козырев Н.А. <sup>1</sup> , Шевченко Р.А., Протопопов Е.В., Кратько С.Н., Хомичева В.Е	33
85 ЛЕТ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ. К ЮБИЛЕЮ КАФЕДРЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ СИБГИУ Коротков С.Г., Темлянцев М.В., Стерлигов В.В.	44
МОЛИБДЕНОВЫЕ КОНЦЕНТРАТЫ : СЫРЬЕВАЯ БАЗА И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ Полях О.А., Комрони М.	55
РЕСУРСО – И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК С ТЕРМОВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ <b>Лубяной Д.А., Мамедов Р.О., Князев С.В.</b>	61
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛАКОВ РАФИНИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Ходосов И.Е., Ёлкин К.С.	66
ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И МИРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА МОЛИБДЕНА, ЕГО СПЛАВОВ И СОЕДИНЕНИЙ <i>Горлова А.А., Галевский Г.В., Руднева В.В.</i>	72
КОМПАНИЯ CINF – ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ЛИДЕР В ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ИНЖИНИРИНГЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ Чжан Кэ	78
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМИ СВОЙСТВАМИ <b>Павловец В.М.</b>	81
ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПОДОВОЙ ФУТЕРОВКИ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ <i>Горлова А.А., Згербач О.В., Галевский Г.В.</i>	90
ПРИМЕНЕНИЕ ДИБОРИДА ТИТАНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ КАТОДОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М., Гордиевский О.И.	94
ПРОИЗВОДСТВО ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ: ДОМИНИРУЮЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ТЕХНОЛОГИЯ, КАЧЕСТВО Лысенко О.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М.	

СВОИСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛУРГИИ	
Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М. <sup>4</sup> ,	
Макарычева Е.Г., Смит С.В.	110
СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛУРГИИ	118
Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М.,	
Макарычева Е.Г., Смит С.В.	118
ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СКРАПА ШЛАКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ	
Амелин А.В., Протопопов Е.В., Кузнецов С.Н., Калиногорский А.Н., Ганзер Л.А.	124
ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ МАРГАНЦЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ Прошунин И.Е., Нохрина О.И., Рожихина И.Д.	128
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ВАНАДИЯ ИЗ КОНВЕРТЕРНОГО ВАНАДИЕВОГО ШЛАКА ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ	
Голодова М.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Рыбенко И.А.	133
СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	139
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ И КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМАХ Деев В.Б., Приходько О.Г., Прусов Е.С., Протопопов Е.В., Темлянцев М.В., Куценко А.И., Меі Shunqi, Ри Э.Х., Сметанюк С.В., Пономарева К.В., Гаврилов Г.Н.	120
	139
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК И СЛИТКОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФОРМЕ Деев В.Б., Приходько О.Г., Прусов Е.С., Протопопов Е.В., Темлянцев М.В., Куценко А.И., Mei Shunqi, Ри Э.Х., Базлова Т.А., Сметанюк С.В., Сокорев А.А	146
МЕЛКОСЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЛИТЫХ ПОРИСТЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И., Куценко А.А., Соколов Б.М.	
	132
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ МАРКИ Э90ХАФ Симачев А.С., Осколкова Т.Н.	150
МНОГОСТАДИЙНАЯ ПРОТЯЖКА КРУГЛОЙ ЗАГОТОВКИ НА ПЛОСКИХ БОЙКАХ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ	137
Перетятько В.Н., Вахман С.А., Филиппова М.В., Юрьев А.Б.	164
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОМ, В ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ Уманский А.А., Головатенко А.В., Симачев А.С., Дорофеев В.В.	170
	170
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ – РАЗДЕЛЕНИЯ НА ДЕЙСТВУЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ Фастыковский А.Р., Беляев С.В.	175
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВИНТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ВОЛОЧЕНИЕМ	
Фастыковский А.Р., Чинокалов Е.В.	180
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЗАХВАТА И КОЛЕБАНИЙ ПОЛОСЫ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВИБРАЦИЙ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ	
Кожевников А.В., Смирнов А.С., Платонов Ю.В.	184

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТРУДОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЭФФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОКАТНОГО КОМПЛЕКСА Кадыков В.Н., Мусатова А.И.	188
ПОСТРОЕНИЕ НОРМАТИВНОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ ОПЕРАТОРОВ-ВОЛОЧИЛЬЩИКОВ В РЕЖИМЕ МНОГОСТАНОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ Кадыков В.Н., Мусатова А.И.	196
РАЗРАБОТКА ПРОГРЕССИВНЫХ КАЛИБРОВОК АСИММЕТРИЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ПРОФИЛЕЙ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ РЕЛЬСОБАЛОЧНОМ СТАНЕ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» Дорофеев В.В., Добрянский А.В., Фастыковский А.Р.	202
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ НА ИЗНОС И УДАР В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ Исагулов А.З., Квон Св.С., Куликов В.Ю	208
ДЛИНА ЗОНЫ ПЛАВНОГО ПЕРЕХОДА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЁСТКОСТИ С- И Н-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЕЙ, ФОРМУЕМЫХ ПО ПОЛУЗАКРЫТЫМ СХЕМАМ Филимонов А.В., Филимонов С.В., Филимонов В.И.	213
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОЛОЧКОВОЙ ФОРМЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	
Ковалева Т.В., Еремин Е.Н.  ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ В МЕЛЮЩИХ ШАРАХ  Исагулов А.З., Аубакиров Д.Р.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ Исагулов А.З., Исагулова Д.А.	
ДЕФОРМАЦИЯ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И СВОЙСТВА ПОРШНЕВЫХ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Прудников В.А.	234
СЕКЦИЯ 3: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ, ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ	
АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДОВ ПЛАЗМОТРОНА ЭДП-104А В АЗОТНОЙ ПЛАЗМЕ Галевский Г.В., Руднева В.В., Оршанская Е.Г., Галевский С.Г., Мишне И.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОЛЬФРАМА ИЗ ОКСИДА ПРИ НАПЛАВКЕ ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ	
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Бащенко Л.П., Михно А.Р. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ${ m WO}_3$ АЛЮМИНИЕМ ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ	
Крюков Р.Е., Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф., Козырев Н.А., Шурупов В.М	
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Михно А.Р., Бащенко Л.П.  ИСЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ  С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ ФЕРРОХРОМА	
<b>Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Прудников А.Н., Михно А.Р.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОВШЕВОГО ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА В КАЧЕСТВЕ ФЛЮС – ДОБАВКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ	261
Михно А.Р., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Уманский А.А.	267

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В МАШИНОСТРОЕНИИ  Осколкова Т.Н., Глезер А.М	272
НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ: ИСТОРИЯ, РЕАЛЬНОСТЬ И ПРОГНОЗЫ Полях О.А., Полях К.Е., Вильдеманн В.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИИ ЭЛЕКТРОДОВ ПЛАЗМОТРОНА ЭДП-104А В АЗОТНОЙ ПЛАЗМЕ Галевский Г.В., Руднева В.В., Оршанская Е.Г., Галевский С.Г., Мишне И.	281
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМООБРАБОТКИ КАРБИДА КРЕМНИЯ Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Черновский Г.Н., Крушенко Г.Г., Стафецкис Л., Черепанов А.Н	285
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ <i>Шевченко Р.А, Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Михно А.Р.</i>	294
РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ ПЛАЗМОСИНТЕЗА ДИБОРИДА ТИТАНА	200
Галевский Г.В., Руднева В.В., Оршанская Е.Г., Ефимова К.А.  ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК	298
ИЗНОСОСТОИКОСТЬ НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК СИСТЕМЫ FE-C-SI-MN-CR-NI-MO Козырев Н.А., Усольцев А.А., Гусев А.И., Осетковский И.В., Михно А.Р.	306
СВАРОЧНЫЙ ФЛЮС НА ОСНОВЕ БАРИЙ – СТРОНЦИЕВОГО МОДИФИКАТОРА И ШЛАКА СИЛИКОМАРГАНЦА Козырев Н.А., Михно А.Р., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Попова М.В.	322
ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ХРОМИСТОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ  Еремин Е.Н., Лосев А.С., Бородихин С.А., Пономарев И.А.	
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СПЛАВА СИСТЕМЫ SN-SB, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ Калашников И.Е., Болотова Л.К., Быков П.А., Катин И.В., Кобелева Л.И.	334
ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ	220
<i>Шевченко Р.А., Кузнецов В.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Михно А.Р.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ	338
Кузнецов В.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Михно А.Р	342
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАЗМОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА КАРБИДА ЦИРКОНИЯ	247
Алексеева Т.И., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г.  ОСОБЕННОСТИ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ВОЛЬФРАМА(VI) В	347
ПЛАЗМЕННОМ ПОТОКЕ АЗОТА Баротов Ф.Б., Ноздрин И.В.	351
СЕКЦИЯ 4: ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И АГРЕГАТАХ. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ	355
БИОМОНИТОРИНГ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ	333
ШЛАМОХРАНИЛИЩА АО «ЕВРАЗ ЗСМК»  Водолеев А.С., Синявский Д.В., Кривцова Ю.В.	355
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО, ХИМИЧЕСКОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО	333
СОСТАВОВ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ И ОБЕЗВОЖЕННОГО ШЛАМА ГАЗООЧИСТКИ Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Ноздрин Е.В.	358

Энерг етическое использование древесных отходов Соловьев А.К, Шевченко А.А	364
ВЫБОР МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТОИМОСТНОЙ ОЦЕНКИ Стерлигов В.В.	369
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТОПЛИВА <i>Стерлигов В. В.</i>	373
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ШЛАКИ – КАТАЛИЗАТОРЫ ОЧИСТКИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ <b>Титова О.О., Павлович Л.Б., Медведская Е.В.</b>	377
ОЦЕНКА РИСКОВ НА КОКСОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ С ВНЕДРЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ Титова О.О., Павлович Л.Б. <sup>-</sup> , Медведская Е.В.	379
ТЕХНОГЕННЫЕ КАТАСТРОФЫ И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ Апасов А.М.	384