

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**

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия
академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор М.В. Темлянцева, 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»
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
АО «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

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2019

Разработан на основе интерпретации результатов теоретических и экспериментальных исследований непрерывный технологический процесс получения карбида циркония в плазменно-металлургическом реакторе, включающий подготовку сырья, плазмогенерацию, плазмообработку цирконий-углеродсодержащего сырья, образование ZrC , его принудительное охлаждение и выделение из потока отходящих от реактора технологических газов. Технологический процесс обеспечивает в условиях работы с коэффициентом использования оборудования 0,7 производительность 18,16 т/год на один реактор при отпускной цене 35 142 руб./кг.

Сформулированы на основе сформированных представлений об особенностях физико-химических свойств карбида циркония в нанокристаллическом состоянии технические прогнозы и предложения по применению его в составе функциональных защитных покрытий. В условиях ООО «Полимет» установлена целесообразность применения карбида циркония в составе коррозионностойких защитных покрытий на основе никеля взамен используемых наноалмазов.

Библиографический список

1. Дубчак Р.В. Совершенствование производства алюминия за рубежом / Р.В. Дубчак // Цв. металлургия – 1994 - №10 – С. 28-33.
2. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Мировое и отечественное производство: оценка, тенденции, прогнозы. / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис – М.: Флинта: Наука, 2004 – 280 с.
3. Технология наноматериалов : практикум / Сиб. гос. индустр. ун-т, сост. ; Г.В. Галевский, В.В. Руднева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. – 29 с., ил.
4. Керимов В.Э. Учет затрат, калькулирование и бюджетирование в отдельных отраслях производственной сферы / В.Э. Керимов. – 8-е изд., перераб. И доп. – М.: Издательство торговая корпорация «Дашков и К», 2014. – 384 с.

УДК 669.046

ОСОБЕННОСТИ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ВОЛЬФРАМА(VI) В ПЛАЗМЕННОМ ПОТОКЕ АЗОТА

Баротов Ф.Б., Ноздрин И.В.

*«Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, kafcmet@sibsiu.ru*

Аннотация. Проведено термодинамическое моделирование восстановления оксида вольфрама (VI) метаном в плазменном потоке азота. Установлена возможность 100 %-ного восстановления WO_3 до конденсированного вольфрама в диапазоне температур 1600 – 4800 K при стехиометрическом соотношении компонентов. При снижении температуры от 1600 K до 950 K наиболее термодинамически вероятной становится реакция образования карбида WC.

Ключевые слова: низкотемпературная плазма, термодинамический анализ, оксид вольфрама, вольфрам, карбид вольфрама, «константный» метод.

CARBOTHERMIC RECOVERY FEATURES TUNGSTEN (VI) OXIDE IN PLASMA NITROGEN FLOW

Barotov F.B., Nozdrin I.V.

*"Siberian State industrial University
Novokuznetsk, Russia, kafcmet@sibsiu.ru*

Abstract: A thermodynamic simulation of the reduction of tungsten (VI) oxide with methane in a plasma nitrogen stream was carried out. The possibility of 100% recovery of WO_3 to condensed tungsten in the temperature range of 1600–4800 K with the stoichiometric ratio of components has been established. When the temperature decreases from 1600 K to 950 K, the reaction of formation of WC carbide becomes the most thermodynamically probable.

Keywords: low-temperature plasma, thermodynamic analysis, tungsten, tungsten, tungsten carbide, "the constant" method.

Термодинамические исследования восстановления различных соединений вольфрама в литературе описаны достаточно подробно. Однако большинство результатов применимо к условиям традиционных процессов порошковой металлургии. Термодинамическое моделированию взаимодействий в экстремальных процессах, например, для условий струйных плазменных реакторов весьма немногочисленны и разрознены. В большинстве случаев полученные данные описывают восстановление хлоридов и оксидов вольфрама водородом в аргоновой и водородной плазмах [1-6]. В работе [7] проведены результаты термодинамической оценки взаимодействия оксида вольфрама с конверсированным газом в интервале температур 400 – 5000 K в водородной плазме, свидетельствующая о возможности получения как металлического вольфрама, так и его карбидных фаз. Однако для азотной плазмы таких исследований практически не проводилось.

В связи с этим целью настоящей работы является проведение термодинамических расчетов карботермического восстановления WO_3 метаном, как основной составляющей природного газа, в потоке азотной плазмы для прогнозирования оптимальных параметров получения вольфрама и его карбидов (соотношения компонентов и температуры), определения равновесных показателей процесса (степени превращения сырья в металл, составов газообразных и конденсированных продуктов), оценки вклада в процессы образования вольфрамсодержащих продуктов газофазных реакций, обеспечивающих в условиях плазмометаллургических технологий эффективную переработку дисперсного сырья.

Плазменные струйные процессы получения тугоплавких металлов и их соединений как объекты термодинамического моделирования по сравнению с традиционными имеют ряд характерных особенностей: быстротечность процессов взаимодействия, что позволяет ряду исследователей ставить под сомнение возможность достижения термодинамического равновесия; возможность достижения высокого выхода продуктов только в условиях, обеспечивающих газофазный характер реакций образования. Целесообразность выполнения термодинамических расчетов равновесных составов металлообразующих систем при различных параметрах синтеза обусловлена недостаточностью информации для описания с необходимой точностью и достоверностью кинетики и механизма процессов образования металлов и их соединений. С учетом отмеченных особенностей результаты термодинамического моделирования процессов образования тугоплавких металлов и их соединений следует рассматривать с одной стороны, как прогнозные, требующие экспериментального подтверждения, а с другой – как технологические ориентиры и показатели совершенства реакторов и уровня организации в них процессов тепло- и массообмена [4,7 - 8].

Объектом термодинамического моделирования являлась система W–O–C–H–N. Учитывалась возможность образования следующих компонентов: (газообразные) O, C, H, O_2 , N_2 , H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , NO, NO_2 , H_2O , CN, HCN, CO, CO_2 , W, WO, WO_2 , WO_3 , WC, W_2C , WN, W_2N . При этом учитывалась возможность образования в конденсированном состоянии следующих фаз: W, WO_2 , WO_3 , W_2C , WC, W_2N , WN. Соотношения компонентов приведены в таблице 1.

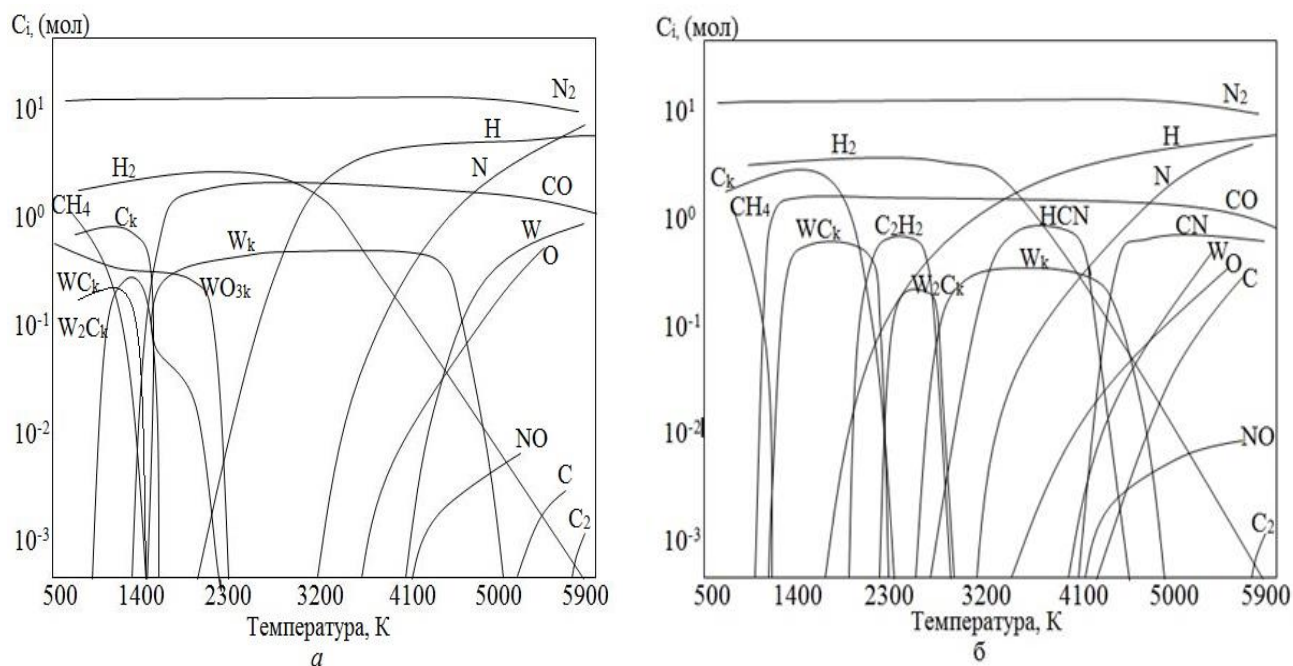
Таблица 1 - Соотношение исходных компонентов, г-ат.

Реакция	W : O : C : H : N
$WO_3 + 3CH_4 = W + 3CO + 6H_2$	0,5 : 1,5 : 1,5 : 6 : 22
$WO_3 + 4CH_4 = WC + 3CO + 8H_2$	0,5 : 1,5 : 2 : 8 : 22

Необходимые для анализа составы газообразных и конденсированных продуктов рас-

считывались «константным методом» Расчеты выполнялись с использованием разработанной в ИХТТИМ СО РАН программы компьютерного моделирования высокотемпературных сложных химических равновесий «PLASMA» с вложенной базой данных термодинамических свойств индивидуальных веществ в области температур 500 – 5900 К при общем давлении в системе 0,1 Мпа. Программа основана на «константном» методе [8 - 9], предполагающем совместное решение уравнений закона действующих масс, материального баланса, постоянства суммарного числа молей газовой смеси и закона Дальтона. Недостающие данные рассчитывались по приближенным методикам [10-11].

Результаты расчета равновесных составов системы W–O–C–H–N представлены на рисунках 1(а,б).



а) равновесный состав системы W–O–C–H–N при соотношении W : O : C : H : N = 0,5 : 1,5 : 1,5 : 6 : 22 ;

б) равновесный состав системы W–O–C–H–N при соотношении W : O : C : H : N = 0,5 : 1,5 : 2 : 8 : 22

Рисунок 1 - Результаты термодинамических расчетов системы W–O–C–H–N

Образование вольфрама и его карбидов W_2C и WC наблюдается уже при соотношении реагентов равным стехиометрическому для получения вольфрама (рисунок 1а) и обусловлено возможностью конденсации вольфрама при температуре ниже 4800 К и образования карбидов W_2C и WC ниже 1600 °К за счет протекания следующих реакций:



Однако выход монокарбида вольфрама в этих условиях не превышает 48,0 мол %.

Выход монокарбида вольфрама в диапазоне температур 1600 – 950 °К близок к 100%. Учитывая, что температура конденсации вольфрама выше температурной области существования карбидных фаз можно предположить, что в реальном процессе плазмохимического синтеза возможность образования карбидов вольфрама будет связана с кинетикой науглероживания конденсированных частиц вольфрама твердым углеродом термодинамически допустимой области температур. Поскольку время преобразования реагентов в плазмохимическом реакторе считается – 0,02с, то наиболее реальным представляется образование вольфрам-углеродной смеси со стехиометрическим для получения монокарбида соотношением

компонентов 93,8 мас % W и 6,2, мол % C.

Увеличение количества восстановителя до стехиометрически необходимого для получения монокарбида приводит к расширению температурной области существовавших карбидных фаз (рисунок 1б): карбид W_2C образуется при температуре 2600 – 2150 °K, а карбид WC – при температуре 2150 – 950 °K. В качестве карбидизатора в этом случае выступает ацетилен:



Однако в интервале температур 2150 – 950 °K конденсированных продуктах восстановления наряду с монокарбидом присутствует свободный углерод, образующийся при разложении ацетилена при температуре ниже 2150 K:



В связи с этим в равновесных условиях монокарбид вольфрама может быть получен лишь в смеси со свободным углеродом. Можно также, по-видимому, ожидать вследствие малого времени карбидизации образования дефектных по углероду фаз $\beta - WC_{1-x}$ ($0 \leq x \leq 0,4$).

Таким образом для экспериментального исследования процесса плазменного восстановительного синтеза оксида вольфрама можно рекомендовать соотношение исходных компонентов равным стехиометрическому, обеспечивающему достаточно большую температурную область существования вольфрама и его карбидов.

Библиографический список

1. E. Lassner. Tungsten Properties, Chemistry, Technology of the Element, Alloys, and Chemical Compounds / E. Lassner and W.D. Schubert // Kluwer Academic, Plenum Publishers, New York – 2009.
2. Ильин А.П. Получение нанопорошков вольфрама методом электрического взрыва проводников / А.П. Ильин [и др.]. // Известия Томского политехнического университета, 2004. - № 4. – С. 68-70.
3. Лыков А.М. Термодинамический анализ процессов получения карбидов из хлоридов металлов/ А.М.Лыков, А.Л.Сурис, С.Н. Шорин. – В кн.: II Всесоюзный симпозиума по плазмохимии: Тез. докл. Рига: Зинатне, 1985, т.2, с.182-185.
4. Сурис А.Л. Термодинамика высокотемпературных процессов: справочник /А.Л. Сурис. – М.: Металлургия, 1985. – 568 с.
5. Shapoval V.L. Thermodynamics basis of electrochemical synthesis of tungsten, molybdenum and boron carbides / V.L. Shapoval, Kh.B. Kushkhov, I.A. Navoselova // Inst. Obshchej i Neorganicheskoj Khimi, Ukraine – 2004.
6. Bikhan G. Zur gleichzeitigen Bildung von Blausaure und Acetylen im Stickstoffplasmastrahl / G. Bikhan, H.J. Spangenberg // Chem. Technik. – 1975. –№12. – P. 736-738.
7. Цветков Ю.В. Низкотемпературная плазма в процессах восстановления / Ю.В. Цветков, С.А. Панфилов – М.: Наука, 1980 – 240 с.
8. Ватолин Н.А. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах /Н.А. Ватолин, Г.К. Моисеев, Б.Г. Трусов. – М.: Металлургия, 1994. – 352 с.
9. Синярев Г.Б. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов / Г.Б. Синярев, Н.А. Ватолин, Б.Г. Трусов, Г.К. Моисеев. – М.: Наука, 1982. –264 с.
10. Владимиров Л.П. Термодинамические расчеты равновесия металлургических реакций/ Л.П. Владимиров.– М.: Металлургия, 1970.– 528 с.
11. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций./ В.А. Киреев. – М.: Химия, 1970. – 519 с.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	4
МЕТАЛЛУРГИЯ КУЗБАССА: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ	
<i>Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Галевский Г.В., Козырев Н.А., Коротков С.Г., Фастыковский А.Р.</i>	4
СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ	
<i>Протопопов Е.В., Калиногорский А.Н., Ганзер Л.А.</i>	9
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	
<i>Фастыковский А.Р.</i>	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	
<i>Козырев Н.А.¹, Шевченко Р.А., Протопопов Е.В., Кратько С.Н., Хомичева В.Е.</i>	33
85 ЛЕТ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ. К ЮБИЛЕЮ КАФЕДРЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ СИБГИУ	
<i>Коротков С.Г., Темлянец М.В., Стерлигов В.В.</i>	44
МОЛИБДЕНОВЫЕ КОНЦЕНТРАТЫ : СЫРЬЕВАЯ БАЗА И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ	
<i>Полях О.А., Комрони М.</i>	55
РЕСУРСО – И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК С ТЕРМОВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ	
<i>Лубяной Д.А., Мамедов Р.О., Князев С.В.</i>	61
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛАКОВ РАФИНИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ	
<i>Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Ходосов И.Е., Ёлкин К.С.</i>	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	
<i>Чжан Кэ</i>	78
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМИ СВОЙСТВАМИ	
<i>Павловец В.М.</i>	81
ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПОДОВОЙ ФУТЕРОВКИ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	
<i>Горлова А.А., Зерbach О.В., Галевский Г.В.</i>	90
ПРИМЕНЕНИЕ ДИБОРИДА ТИТАНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ КАТОДОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ	
<i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М., Гордиевский О.И.</i>	94
ПРОИЗВОДСТВО ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ: ДОМИНИРУЮЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ТЕХНОЛОГИЯ, КАЧЕСТВО	
<i>Лысенко О.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М.</i>	101

СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М.⁴, Макарычева Е.Г., Смит С.В.</i>	110
СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛУРГИИ.....	118
<i>Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М., Макарычева Е.Г., Смит С.В.</i>	118
ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СКРАПА ШЛАКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ <i>Амелин А.В., Протопопов Е.В., Кузнецов С.Н., Калиногорский А.Н., Ганзер Л.А.</i>	124
ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ МАРГАНЦЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ <i>Прошунин И.Е., Нохрина О.И., Рожихина И.Д.</i>	128
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ВАНАДИЯ ИЗ КОНВЕРТЕРНОГО ВАНАДИЕВОГО ШЛАКА ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ <i>Голодова М.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Рыбенко И.А.</i>	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 <i>Деев В.Б., Приходько О.Г., Прусов Е.С., Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Куценко А.И., Mei Shunqi, Ри Э.Х., Сметанюк С.В., Пономарева К.В., Гаврилов Г.Н.</i>	139
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК И СЛИТКОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФОРМЕ <i>Деев В.Б., Приходько О.Г., Прусов Е.С., Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Куценко А.И., Mei Shunqi, Ри Э.Х., Базлова Т.А., Сметанюк С.В., Соколов А.А.</i>	146
МЕЛКОСЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЛИТЫХ ПОРИСТЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И., Куценко А.А., Соколов Б.М.</i>	152
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ МАРКИ Э90ХАФ <i>Симачев А.С., Осколкова Т.Н.</i>	159
МНОГОСТАДИЙНАЯ ПРОТЯЖКА КРУГЛОЙ ЗАГОТОВКИ НА ПЛОСКИХ БОЙКАХ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ <i>Перетягко В.Н., Вахман С.А., Филиппова М.В., Юрьев А.Б.</i>	164
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОМ, В ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ <i>Уманский А.А., Головатенко А.В., Симачев А.С., Дорофеев В.В.</i>	170
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ – РАЗДЕЛЕНИЯ НА ДЕЙСТВУЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Фастыковский А.Р., Беляев С.В.</i>	175
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВИНТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ВОЛОЧЕНИЕМ <i>Фастыковский А.Р., Чинокалов Е.В.</i>	180
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЗАХВАТА И КОЛЕБАНИЙ ПОЛОСЫ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВИБРАЦИЙ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ <i>Кожевников А.В., Смирнов А.С., Платонов Ю.В.</i>	184

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТРУДОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОКАТНОГО КОМПЛЕКСА <i>Кадыков В.Н., Мусатова А.И.</i>	188
ПОСТРОЕНИЕ НОРМАТИВНОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ ОПЕРАТОРОВ-ВОЛОЧИЛЬЩИКОВ В РЕЖИМЕ МНОГОСТАНОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ <i>Кадыков В.Н., Мусатова А.И.</i>	196
РАЗРАБОТКА ПРОГРЕССИВНЫХ КАЛИБРОВОК АСИММЕТРИЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ПРОФИЛЕЙ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ РЕЛЬСОБАЛОЧНОМ СТАНЕ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Дорофеев В.В., Добрянский А.В., Фастыковский А.Р.</i>	202
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ НА ИЗНОС И УДАР В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ <i>Исагулов А.З., Квон Св.С., Куликов В.Ю.</i>	208
ДЛИНА ЗОНЫ ПЛАВНОГО ПЕРЕХОДА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЁСТКОСТИ С- И Н-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЕЙ, ФОРМУЕМЫХ ПО ПОЛУЗАКРЫТЫМ СХЕМАМ <i>Филимонов А.В., Филимонов С.В., Филимонов В.И.</i>	213
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОЛОЧКОВОЙ ФОРМЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК Ковалева Т.В., Еремин Е.Н.	219
ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ В МЕЛЮЩИХ ШАРАХ <i>Исагулов А.З., Аубакиров Д.Р.</i>	223
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ <i>Исагулов А.З., Исагулова Д.А.</i>	228
ДЕФОРМАЦИЯ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И СВОЙСТВА ПОРШНЕВЫХ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ <i>Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Прудников В.А.</i>	234
СЕКЦИЯ 3: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ, ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ	241
АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДОВ ПЛАЗМОТРОНА ЭДП-104А В АЗОТНОЙ ПЛАЗМЕ <i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Оршанская Е.Г., Галевский С.Г., Мишне И.</i>	241
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОЛЬФРАМА ИЗ ОКСИДА ПРИ НАПЛАВКЕ ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ <i>Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Бащенко Л.П., Михно А.Р.</i>	244
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ WO_3 АЛЮМИНИЕМ ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ <i>Крюков Р.Е., Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф., Козырев Н.А., Шурупов В.М.</i>	251
ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Михно А.Р., Бащенко Л.П.</i>	256
ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ ФЕРРОХРОМА <i>Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Прудников А.Н., Михно А.Р.</i>	261
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОВШЕВОГО ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА В КАЧЕСТВЕ ФЛЮС – ДОБАВКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ <i>Михно А.Р., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Уманский А.А.</i>	267

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК10КС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В МАШИНОСТРОЕНИИ	
<i>Осколкова Т.Н., Глезер А.М.</i>	272
НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ: ИСТОРИЯ, РЕАЛЬНОСТЬ И ПРОГНОЗЫ	
<i>Полях О.А., Полях К.Е., Вильдеманн В.</i>	277
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИИ ЭЛЕКТРОДОВ ПЛАЗМОТРОНА ЭДП-104А В АЗОТНОЙ ПЛАЗМЕ	
<i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Оршанская Е.Г., Галевский С.Г., Мишне И.</i>	281
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМООБРАБОТКИ КАРБИДА КРЕМНИЯ	
<i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Черновский Г.Н., Крушенко Г.Г., Стафецкис Л., Черепанов А.Н.</i>	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	
<i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Оршанская Е.Г., Ефимова К.А.</i>	298
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК СИСТЕМЫ Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo	
<i>Козырев Н.А., Усольцев А.А., Гусев А.И., Осетковский И.В., Михно А.Р.</i>	306
СВАРОЧНЫЙ ФЛЮС НА ОСНОВЕ БАРИЙ – СТРОНЦИЕВОГО МОДИФИКАТОРА И ШЛАКА СИЛИКОМАНГАНА	
<i>Козырев Н.А., Михно А.Р., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Попова М.В.</i>	322
ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ХРОМИСТОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ	
<i>Еремин Е.Н., Лосев А.С., Бородихин С.А., Пономарев И.А.</i>	328
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СПЛАВА СИСТЕМЫ Sn-Sb, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ	
<i>Калашиников И.Е., Болотова Л.К., Быков П.А., Катин И.В., Кобелева Л.И.</i>	334
ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ	
<i>Шевченко Р.А., Кузнецов В.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Михно А.Р.</i>	338
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ	
<i>Кузнецов В.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Михно А.Р.</i>	342
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАЗМОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА КАРБИДА ЦИРКОНИЯ	
<i>Алексеева Т.И., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г.</i>	347
ОСОБЕННОСТИ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ВОЛЬФРАМА(VI) В ПЛАЗМЕННОМ ПОТОКЕ АЗОТА	
<i>Баротов Ф.Б., Ноздрин И.В.</i>	351
СЕКЦИЯ 4: ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И АГРЕГАТАХ. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ	355
БИОМОНИТОРИНГ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ШЛАМОХРАНИЛИЩА АО «ЕВРАЗ ЗСМК»	
<i>Водолеев А.С., Синяевский Д.В., Кривцова Ю.В.</i>	355
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО, ХИМИЧЕСКОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВОВ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ И ОБЕЗВОЖЕННОГО ШЛАМА ГАЗООЧИСТКИ	
<i>Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Ноздрин Е.В.</i>	358

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