

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. 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»
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

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИИ ЭЛЕКТРОДОВ ПЛАЗМОТРОНА ЭДП-104А В АЗОТНОЙ ПЛАЗМЕ

Галевский Г.В.¹, Руднева В.В.¹, Оршанская Е.Г.¹, Галевский С.Г.², Мишне И.³

¹*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, kafcmet@sibsiu.ru*
²*Санкт-Петербургский горный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия, sgalevskii@gmail.com,*
³*Компания EST – Environmental System & Treatment,
г. Омер, Израиль, hello@sncentral.org*

Аннотация. Проведены моделирование и экспериментальные исследования эрозии электродов плазматрона ЭДП-104А в азотной плазме. Определен расчетным путем ресурс работы катода и анода. Проведено обследование условий и показателей работы 178 катодов. Исследована возможность применения природного газа для защиты вольфрамового катода. Подтверждено повышение ресурса работы катода до паспортного значения.

Ключевые слова: электродуговой плазматрон, анод, катод, азотная плазма, эрозия, моделирование, защита вольфрамового термокатода, природный газ.

MODELLING AND PILOT STUDY OF THE EROSION OF ELECTRODES OF PLASMATRON EDP-104A IN NITRIC PLASMA

Galevskiy G.V.¹, Rudneva V.V.¹, Orshanskaya E.G.¹, Galevskiy S.G.², Mishne I.³

¹*Siberian state industrial university,
Novokuznetsk, Russia, kafcmet@sibsiu.ru*
²*St. Petersburg Mining University,
St. Petersburg, Russia, sgalevskii@gmail.com*
³*Company EST – Environmental System & Treatment,
Omer, Israel, hello@sncentral.org*

Abstract. Modeling and pilot studies of an erosion of electrodes of plasmatron EDP-104A in nitric plasma are conducted. The resource of operation of the cathode and anode is defined in the settlement way. Examination of conditions and indicators of operation of 178 cathodes is conducted. The possibility of use of natural gas for protection of the tungsten cathode is investigated. Increase in a resource of operation of the cathode to passport value is confirmed.

Keywords: arc plasmatron, anode, cathode, nitric plasma, erosion, modeling, protection of the tungsten thermocathode, natural gas.

Целью настоящей работы является математическое моделирование процессов эрозии электродов плазматрона ЭДП-104А при работе их в азотной плазме и технологическое опробование природного газа для защиты вольфрамового катода и повышения ресурса его работы.

Моделирование процессов эрозии электродов плазматрона ЭДП-104А при работе их в азотной плазме

Обычно ресурс работы плазматрона принимается равным меньшему значению ресурса работы одного из электродов. Экспериментальное определение ресурса работы электродов весьма трудоёмко и затратно. В связи с этим ресурс работы анода и катода оценивался расчётным путём. Для этого сложный профиль изношенной части анода в месте привязки электрической дуги за уступом принимался подобным треугольнику (рисунок 1 а), а диаметр образующегося в катоде под воздействием дуги кратера – равным диаметру привязки дуги (ри-

сунок 1 б).

Объем материала анода, удаленного в результате эрозии, составит, м³:

$$V_{\text{э}} = 0,5 \cdot h \cdot \pi \cdot l \cdot (d_2 + h) \quad (1)$$

Принимая то, что $l = 3,6 \cdot 10^{-2}$ м; $d_2 = 12 \cdot 10^{-3}$ м; $h = 0,2 \cdot 10^{-2}$ м, тогда:

$$V_{\text{э}} = 0,5 \cdot 0,2 \cdot 10^{-2} \cdot 3,14 \cdot 3,6 \cdot 10^{-2} \cdot (12 \cdot 10^{-3} + 0,2 \cdot 10^{-2}) = 1,58 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Продолжительность непрерывной работы анода из меди составит:

$$t_a = \frac{\rho_{\text{э}} \cdot V_{\text{э}}}{G_{\text{э}} \cdot I}, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{э}}$ - плотность меди, $\rho_{\text{э}} = 8,9 \cdot 10^3$ кг/м³;

$G_{\text{э}}$ - удельная эрозия электрода, $G_{\text{э}} = 4 \cdot 10^{-12}$ кг/Кл;

I – сила тока дуги, А.

$$t_a = \frac{8,9 \cdot 10^3 \cdot 1,58 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-12} \cdot 200} = 4883 \text{ ч}$$

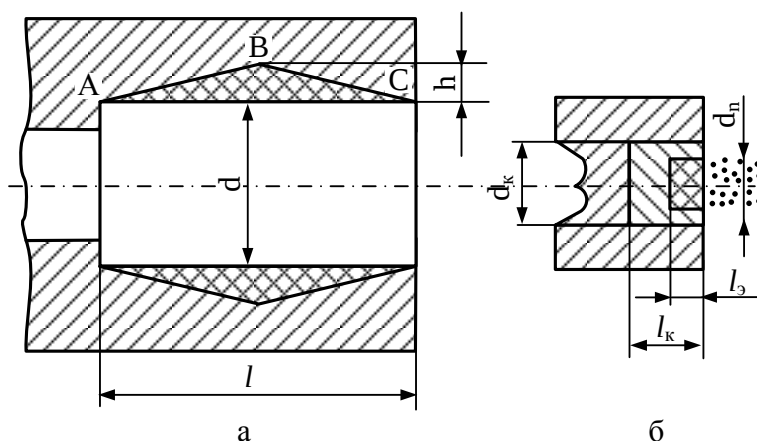


Рисунок 1 – Геометрические модели для расчета ресурса работы анода (а) и катода (б)

Определим ресурс катода. В качестве материала катода выбираем вольфрам. Диаметр катодной вольфрамовой вставки [6], м:

$$d_k = \frac{1,3 \cdot 10^{-4} \cdot I^{0,5}}{1 - 2,15 \cdot 10^{-2} \cdot I^{0,5}}, \quad (3)$$

$$d_k = \frac{1,3 \cdot 10^{-4} \cdot 200^{0,5}}{1 - 2,15 \cdot 10^{-2} \cdot 200^{0,5}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Длина вставки должна быть меньше, либо равной диаметру, принимается $l_k = 0,003$ м. Допустимая глубина эрозии катода, м:

$$l_{\text{э}} = 0,3 \cdot l_k = 0,3 \cdot 0,003 = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ м}. \quad (4)$$

Диаметр образующегося в катоде под воздействием дуги кратера равен диаметру привязки дуги, м:

$$d_n = B \cdot I^{0,5}, \quad (5)$$

где B – коэффициент, равный для азота $1,6 \cdot 10^{-4}$ [1].

$$d_n = 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 200^{0,5} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Объем материала, удаленного в результате эрозии, составит, м³:

$$V_{\text{э}} = \frac{\pi \cdot d_n^2 \cdot l_{\text{э}}}{4}, \quad (6)$$

$$V_{\text{э}} = \frac{3,14 \cdot (2,3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,1 \cdot 10^{-2}}{4} = 0,42 \cdot 10^{-8}.$$

По формуле (2) рассчитываем время непрерывной работы катода, учитывая, что для вольфрама $\rho_{\text{э}} = 19,34 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $G_{\text{э}} = 2 \cdot 10^{-12} \text{ кг/Кл}$:

$$t_{\text{к}} = \frac{19,34 \cdot 10^3 \cdot 0,42 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 10^{-12} \cdot 200} = 56 \text{ ч.}$$

С использованием описанных выше геометрической модели и методами расчета ресурса работы катода для значений удельной эрозии $(0,4 - 3,0) \cdot 10^{-12} \text{ кг/Кл}$, соответствующей примерному содержанию кислорода в техническом азоте до 1 % об., получена расчетная зависимость ресурса работы катода от величины удельной эрозии, представленная на рисунке 2. Характер зависимости подтверждает описанный в работе [1] механизм эрозии вольфрамового термокатода в кислородсодержащей азотной плазме. Эрозия катода как результат воздействия опорного пятна дуги на его рабочую поверхность (многократное плавление, испарение и кристаллизация с возникновением термических напряжений с образованием сети трещин в глубине материала катода) и его эрозия как результат окисления с образованием оксидов вольфрама. По-видимому, реальным представляется снижение эрозии термокатода за счет ограничения содержания кислорода в техническом азоте.

Технологическое опробование природного газа для защиты вольфрамового термокатода плазмотрона ЭДП-104А

В условиях ООО «Полимет», реализующего технологии плазмосинтеза и плазмобработки в трехструйном плазмометаллургическом реакторе мощностью 150 кВт с использованием в качестве газа-теплоносителя азота технической чистоты, проведен анализ технологической документации, регистрирующей работу катодов (даты установки и замены) и определен средний ресурс для 2015, 2016, 2017, 2018 годов. При этом статистическая выборка составила катодов, шт.: 2015 – 42; 2016 – 48; 2017 – 39; 2018 – 45. Содержание кислорода в магистральном азоте в этот период изменялось в пределах 0,7 – 1,6 % об. При этом один и тот же катод мог работать в плазмобразующем газе с различным содержанием кислорода, что не позволило выявить зависимость ресурса от содержания кислорода. Распределение среднего ресурса катодов по годам представлено на рисунке 3. Средний ресурс катодов составил, час: 2015 г. – 63, 2016 г. – 51, 2017 г. – 58, 2018 г. – 64.

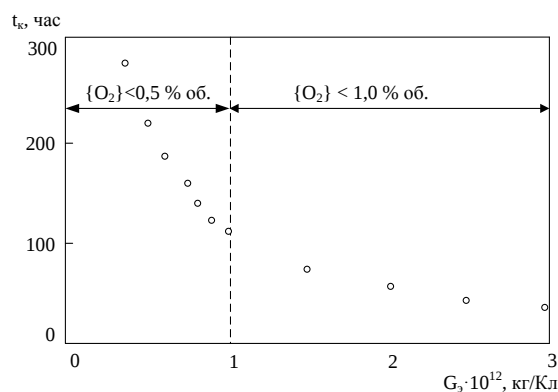


Рисунок 2 – Расчетная зависимость ресурса работы катода от удельной эрозии

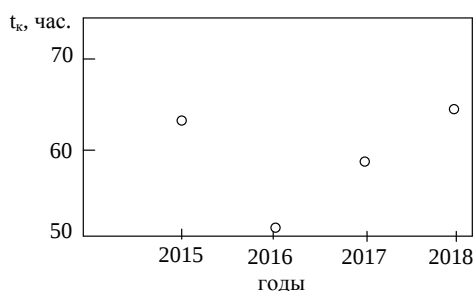


Рисунок 3 – Распределение среднего ресурса катодов по годам

Можно видеть, что средний ресурс катодов существенно ниже заявляемого паспортного значения (100 ч) и соответствует примерным значениям удельной эрозии $(1,8 - 2,2) \cdot 10^{-12}$ кг/л.

Проведенный анализ профильной научно-технической литературы выявил два возможных технологических варианта повышения ресурса работы катодов: 1) подготовка магистрального азота для использования в качестве плазмообразующего газа, включающая удаление влаги и кислорода в электрообогреваемых аппаратах колонного типа с хром-никелевой насадкой при температуре 500-600 °С, обеспечивающей остаточное содержание кислорода не более 0,01 % об. при нагрузке $(6 - 8) \cdot 10^{-4}$ м³/м²·с [2-4]; 2) использование в качестве плазмообразующего газа смеси технический азот – газообразный углеводород, например, природный газ, вводимый в количестве, необходимом для связывания кислорода в монооксид углерода [5]. Однако первый вариант не нашел широкого применения и освоен лишь на лабораторном уровне, а второй не был подтвержден технологически в реальных производственных условиях.

В связи с этим в условиях ООО «Полимет» проведено технологическое исследование работы катодов плазмотронов ЭДП-104А трехструйного реактора мощностью 150 кВт в газе-теплоносителе, содержащем азот технической чистоты с добавками природного газа, содержащего 94,0-96,0 % об. метана при токе дуги 200 А. В ходе исследований содержание кислорода в техническом азоте составляло (0,6 – 1,2) % об. Ресурс работы катодов определялся для трех составов плазмообразующего газа: N₂ + 1,0 % об. CH₄, N₂ + 2,0 % об. CH₄, N₂ + 3,0 % об. CH₄. Среднее значение соответствует стехиометрическому для реакции образования монооксида углерода при содержании кислорода в азоте ~1,0 % об. Результаты исследования представлены на рисунке 4 и в целом подтверждают технологическую целесообразность такого подхода: среднее значение ресурса возросло до 105 час. и достигается при содержании метана 2 – 3 % об.

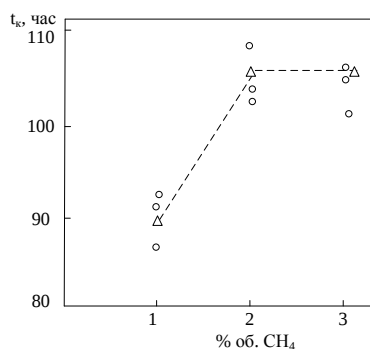


Рисунок 4 – Зависимость ресурса работы катодов от содержания метана в азоте ($\circ$, Δ – практические и средние значения)

Закключение.

1) Проведено моделирование процессов эрозии электродов плазмотрона ЭДП-104А при работе их в азотной плазме. Построены геометрические модели сложного профиля изношенных частей катода и анода. Для силы тока 200 А, содержании кислорода в азоте порядка 1 % об., значений удельной эрозии анода $4 \cdot 10^{-12}$ кг/Кл, катода $2 \cdot 10^{-12}$ кг/Кл ресурс работы анода составляет 4883 ч, т.е. фактически не ограничен, ресурс катода – 56 ч, что ниже паспортных данных (100 час.). Анализ расчетной зависимости ресурса работы катода от удельной эрозии показывает, что удовлетворительный ресурс 100 – 200 час. может быть достигнут при величине удельной эрозии (0,4 – 1) кг/Кл, что соответствует содержанию кисло-

рода значительно меньше 0,5 % об.

2) В условиях ООО «Полимет» проведено обследование условий и показателей 174 катодов плазмотронов ЭДП-104А за период 2015 – 2018 гг., достигнутых при работе в магистральном азоте с содержанием кислорода (0,7 – 1,6) % об. Средний ресурс работы катодов составил 59 час., что существенно ниже заявляемого паспортного значения (100 час.) и соответствует примерным значениям удельной эрозии $(1,8 - 2,2) \cdot 10^{-12}$ кг/Кл.

3) В условиях ООО «Полимет» проведено исследование работы катодов плазмотронов ЭДП-104А реактора мощностью 150 кВт в газе-теплоносителе, содержащем азот, кислород (0,6 – 1,2) % об. и природный газ (метана до 94,0-96,0 % об.) (1 – 3) % об. Подтверждено повышение среднего значения ресурса работы катодов до 105 час. при содержании метана в газе-теплоносителе 2 – 3 % об., что свидетельствует о технологической целесообразности введения газообразных углеводородов в состав плазмообразующей азот-кислородной смеси для связывания кислорода в монооксид углерода.

Библиографический список

1. Жуков М.Ф. Плазмотроны. Исследования. Проблемы / М.Ф. Жуков [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1995. – 202 с.
2. Ноздрин И.В. Борид хрома – нанотехнологии, свойства, применение : монография / И.В. Ноздрин, В.В. Руднева, Г.В. Галевский. – Саарбрюкен (Германия) : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 233 с.
3. Ноздрин И.В. Теплотехнические, ресурсные и технологические характеристики плазмометаллургического реактора для обработки и производства тугоплавких материалов / И.В. Ноздрин [и др.] // Вестник машиностроения. – 2012. - № 12. – С. 78-83.
4. Ноздрин И.В. Определение ресурса работы плазмотронов плазмометаллургического реактора / И.В. Ноздрин [и др.] // Metallurgia : технологии, управление, инновации, качество : сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. – СибГИУ. - Новокузнецк, 2011. – С. 119 – 123.
5. Пат. на ПМ № 107740 РФ, МПК H05B 7/18, H05H 1/24. Электродуговой подогреватель газа азотно-кислородной смеси для трейструйного прямооточного химико-металлургического реактора / И.В. Ноздрин [и др.]. – СибГИУ. - № 2011112115, заяв. 30.03.2017 ; опубли. 10.08.2011. Бюл. № 22. – 1 с.

УДК 661.665:621.793.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМООБРАБОТКИ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Галевский Г.В.¹, Руднева В.В.¹, Галевский С.Г.²,
Черновский Г.Н.³, Крушенко Г.Г.⁴, Стафеев Л.⁵, Черепанов А.Н.⁶

¹Сибирский государственный индустриальный университет,

г. Новокузнецк, Россия, kafcmet@sibsiu.ru

²Санкт-Петербургский горный университет,

г. Санкт-Петербург, Россия, sgalevskii@gmail.com

³АО «ЕВРАЗ ЗСМК»,

г. Новокузнецк, Россия, grex2141@mail.ru

⁴ФИЦ КНЦ Институт вычислительного моделирования СО РАН,

г. Красноярск, Россия, genry@icm.krasn.ru

⁵NeomatCo, Саласпилс, Латвия, neomat@neomat.lv,

⁶ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск, Россия, ANCHER@itam.nsc.ru

Аннотация. Проведено моделирование взаимодействия потоков газа-теплоносителя и сырья при плазмообработке микропорошка карбида кремния, включающее термодинамическое моделирование высокотемпературных взаимодействий в системах Si – C – N, Si – C – H – N и математическое моделирование теплообмена сырьё – плазма. Определена возмож-

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., Зербач 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., Темляницев 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., Темляницев 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