

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

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПОДОВОЙ ФУТЕРОВКИ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Горлова А.А.¹, Згербач О.В.¹, Галевский Г.В.²

¹АО «АрселорМиттал Темиртау»

г. Темиртау, Республика Казахстан, alina97.8g@mail.ru

²Сибирский государственный индустриальный университет,

г. Новокузнецк, kafcmet@sibsiu.ru

Аннотация. Рассмотрены требования к подине катодного устройства, развитие способов и технологические варианты их реализации. Проанализированы технические решения для повышения стойкости подовой футеровки алюминиевого электролизера, позволяющие обеспечить оптимальный срок службы при максимальной экономии электроэнергии.

Ключевые слова: повышение стойкости, футеровка, алюминиевый электролизер, подина, катодный блок.

IMPROVING THE DURABILITY OF THE SUBSTRATE LAYING OF ALUMINUM ELECTROLYZER: CONDITION OF THE QUESTION AND ANALYSIS OF TECHNICAL DECISIONS

Gorlova A.A.¹, Zgerbach O.V.¹, Galevskiy G.V.²

¹JSC «ArcelorMittal Temirtau»

Temirtau, Republic of Kazakhstan, alina97.8g@mail.ru

²Siberian State Industrial University

Novokuznetsk, Russian Federation, kafcmet@sibsiu.ru

Abstract. Analyzed technical solutions to improve the durability of the bottom lining of an aluminum electrolysis cell, allowing to ensure optimal service life with maximum energy savings. The requirements for the ideal hearth of the cathode device, the historical development of varieties of methods for improving the hearth of the electrolyzer are considered.

Key words: durability increase, lining, aluminum electrolysis cell, bottom, cathode block.

Одним из основных показателей работы алюминиевого электролизера является срок службы подины катодного устройства. В настоящее время на отечественных заводах средний срок службы катода электролизеров с верхним токоподводом составляет 1150-1650 суток. На зарубежных электролизерах средний срок службы катода на силу тока более 350-400 кА достигает 2500-3000 суток [1].

Футеровка катодного кожуха состоит из углеродной, огнеупорной и теплоизоляционной частей, каждая из которых выполняет определенную роль. Идеальная подина должна удовлетворять следующим требованиям: высокая электропроводность, высокая сопротивляемость термоударам, малая теплопроводность, хороший контакт со встроенными блоками, малая пористость, высокая смачиваемость расплавленным алюминием, хорошая сопротивляемость внедрению натрия и электролита, стойкость к истиранию. В период работы электролизера происходит проникновение криолит-глиноземного расплава (КГР) в открытые поры и трещины подовых блоков и швов, образованных на первых стадиях работы во время обжига и пуска электролизеров, начинается воздействие компонентов электролита, которое сопровождается разрушениями углеграфитовых подовых блоков футеровки катодного устройства вследствие внедрения натрия в кристаллическую решетку углеграфитового материала

(УГМ), что в итоге, приводит к преждевременной остановке электролизера [1].

Очевидно, что ни один из известных углеродистых материалов и угольных композитов не может удовлетворять всем требованиям идеального материала катода. Поэтому задача состоит в том, чтобы так сбалансировать свойства различных углеродсодержащих материалов, чтобы обеспечить оптимальный срок службы при максимальной экономии электроэнергии.

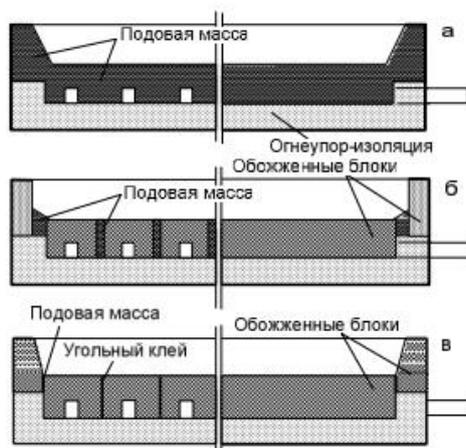


Рисунок - Разновидности угольной футеровки катодного устройства электролизера

В начале промышленного производства алюминия подину электролизера набивали пластичной подовой массой, но из-за низкого качества сформированной подины от этого способа пришлось отказаться (рисунок, а). В настоящее время применяется следующий способ монтажа подины - катодные обожженные блоки укладывают на сыпучие барьерные материалы, которые лежат на огнеупорной части подины. Зазоры между блоками набиваются из подовой массы (рисунок, б). Такой тип подины является доминирующим в отечественной промышленности. Разновидностью такой подины являются склеенные полумонолитные катоды из обожженных и механически обработанных блоков, которые представляют наиболее совершенный (но и самый дорогой) тип катода, позволяющий продлить срок службы (рисунок, в).

Углеродсодержащие части почти полностью выполнены из предварительно обожженных материалов за исключением очень узких периферийных швов. Предварительно обожженные блоки подвергаются механизированной обработке, обеспечивая качественную поверхность перед склеиванием. Это наиболее перспективная на сегодня конструкция промышленного катодного

устройства. Однако, такой тип подины не нашел своего применения из-за высокой стоимости блоков и большой трудоемкости [2].

В настоящее время разработаны различные технические решения для повышения стойкости подовой футеровки алюминиевого электролизера. Наиболее эффективными являются следующие:

- 1) Способ защиты углеграфитовых подовых блоков алюминиевого электролизера [3]. Данный способ обеспечивает повышение стойкости и прочности углеграфитовых подовых блоков футеровки, увеличение срока службы и производительности электролизера, улучшение сортности получаемого алюминия, снижение расхода электроэнергии за счет уменьшения удельного электрического сопротивления углеграфитовой футеровки. Это достигается тем, что слой формируют из шихты, содержащей кокс, карбонат лития и кристаллический кремний, после формирования слоя проводят обжиг подины при температуре от 950 до 970°C. При выходе электролизера на полную нагрузку тока, соответствующего току серии электролиза, продолжительность обжига составляет по времени от 48 часов и больше, и зависит от размера и параметров шахты электролизера, электрического сопротивления на участке электрический слой сопротивления - катодные блоки, а также количества теплоизоляционных материалов, применяемых на обжиге. Установлено, что катодные блоки на основе углеграфитовых материалов после обжига под слоем шихты, состоящей из кокса, карбо-

ната лития и кристаллического кремния, отличаются более высокими физико-техническими характеристиками по сравнению с первичными стандартными образцами.

2) Способ защиты углеродной футеровки [4]. Данный способ обеспечивает снижение рабочего напряжения, а также повышение производительности, срока службы, улучшение сортности алюминия при снижении расхода электроэнергии за счет обработки поверхности углеграфитовой футеровки парами лития. При обработке парами лития углеродного блока на его поверхности образуется защитный блокирующий слой. Катодный блок устанавливают наружной поверхностью на специальный чугунный поддон, заполненный предварительно прокаленным карбонатом лития, помещают в газопламенную печь, не допуская утечек паров лития, и нагревают до температуры 1300-1400 °С с последующей выдержкой при максимальном значении температуры в течение 2-3 часов, обеспечивая непрерывную дозированную подачу карбоната лития под слой кремния в течение 2-3 часов, гарантируя проникновение паров лития в глубину угольного блока между слоями углерода и во внутренние поры. На стадиях нагрева и прокаливания при помощи аэродозатора производят постепенную загрузку карбоната лития в расплав под слой кремния. Установлено, что катодные блоки на основе углеграфитовых материалов, полученные по предлагаемому способу, отличаются высокими техническими характеристиками по сравнению со стандартными блоками.

3) Способ защиты подины путем применения модифицирующих добавок на основе лития (холоднонабивная подовая масса) [5]. Данный способ обеспечивает повышение эксплуатационных свойств и стойкости катодного устройства за счет модифицирования стандартной холодно-набивной подовой массы добавкой на основе карбоната лития и кремния. Для приготовления жидкого углеродного связующего в стальную емкость добавляют необходимое количество каменноугольного пека и нагревают до температуры 120 °С. Затем в полученную смесь добавляют модифицирующую добавку и перемешивают. После этого заливают поглотительное масло с температурой 50 °С, перемешивая до тех пор, пока ее температура не будет 50 °С. Для приготовления холоднонабивной подовой массы в растворосмеситель загружается 3/4 количества электрокальцинированного антрацита, затем добавляют жидкое стекло и перемешивают с последующей заливкой жидкого углеродного связующего. Далее добавляют оставшуюся часть электрокальцинированного антрацита и проводят окончательное перемешивание не менее 15 минут. Добавление модифицирующей добавки - карбоната лития, обеспечивает снижение негативных эффектов, связанных с адсорбцией натрия в катодных материалах, поскольку атомы лития из-за маленького радиуса, в отличие от других щелочных металлов, способны внедряться в слои и поры угольного материала без искажения кристаллической структуры углерода. Установлено, что применение модифицирующей добавки, карбоната лития, необходимого для воздействия между компонентами холоднонабивной подовой массы, не влияет на технологию получения подовой массы.

4) Способ изготовления катодного блока для алюминиевого электролизера [1]. Данный способ позволяет получить катодный блок для алюминиевого электролизера, обладающий меньшей пористостью, высокой плотностью, большими прочностными свойствами, стойкостью к проникновению натрия, а также снижение расхода электроэнергии за счет уменьшения удельного электросопротивления катодного блока. Способ заключается в том, что на стадии подготовки исходных материалов производится проковка антрацита и нефтяного кокса в электрокальцинаторе при температуре от 1200 до 1300 °С в течение от 2 до 3 часов, далее полученный продукт перемешивается с искусственным графитом, каменноугольным пеком и модифицирующей добавкой в количестве от 2,5 до 6,0 мас. %, состоящей из смеси карбоната лития и кристаллического кремния при массовом соотношении 4:1. Таким образом, установлено, что при использовании предлагаемого способа изготовления катодного блока для алюминиевого электролизера снижается степень износа поверхности катодного блока, происходит снижение расхода электроэнергии за счет уменьшения удельного электросопротивления катодного блока, а также увеличивается срок службы и производительность электролизера, а также повышается сортность первичного алюминия.

5) Способ нанесения различных вариантов катодных покрытий с диборидом титана TiB_2 [6]. К различным вариантам катодных покрытий с диборидом титана относятся: горячепрессованные плитки из TiB_2 , композиционное покрытие со связкой (TiB_2 +порошок графита + смола/пек; 30-60 % TiB_2 +40-60 % антрацита + 5-20 % порошка графита + 5-20 % пека; TiB_2 + смола/пек, TiB_2 + Al_2O_3 + H_2O). Способ заключается в том, что покрытия наносятся на подину плиточной облицовкой, заливкой и уплотнением вибрацией, распылением, окрашиванием. Во всех случаях отмечается снижение катодного падения напряжения (до 15-30 мВ), повышение выхода по току (на 1-2 %), улучшение стабильности энергетических параметров электролизера, снижение повреждений катодных блоков, возможность снижения (примерно на 1 см) междуполюсного расстояния (МПР), технологическая предпочтительность применения TiB_2 + связующее. В настоящее время недостаточная термостойкость, затратность изготовления монолитных изделий и, важнее всего, высокая стоимость товарного порошка диборида позволяют применять его только в составе композитов. Более экономичный способ, при котором на основе получения и применения смачиваемого алюминием покрытия на основе TiB_2 готовится водная суспензия, содержащая 68-70 % твердого вещества (90 % - TiB_2 , 10 % - Al_2O_3). Физическая и химическая связь между коллоидными частицами Al_2O_3 и частицами TiB_2 ; в суспензии приводит к образованию вязкоэластичного желеподобного состояния материала. Такой материал не выделяет воду и ведет себя после сушки как твердый. Суспензию наносят распылением или окрашиванием с промежуточной сушкой воздухом после нанесения каждого слоя. Покрытие толщиной 1,0-2,0 мм обеспечивает смачивание катода алюминием, имеет высокое сопротивление внедрению натрия, одновременно сочетает достаточную твердость, прочность на изгиб, износостойкость, сцепление с основой, способствует снижению катодного падения напряжения и повышению катодного выхода алюминия по току. Защита катодов покрытием на основе TiB_2 , позволяет снизить энергозатраты в современном алюминиевом производстве примерно на 10%. В настоящее время из вышеприведенных способов технологических решений для повышения стойкости подовой футеровки алюминиевого электролизера используется только способ нанесения различных вариантов катодных покрытий с диборидом титана, остальные способы разработаны, но не реализованы. В зарубежной практике алюминиевого производства материалы для защитных катодных покрытий алюминиевых электролизеров поставляются фирмой «МОЛТЕК» и имеют торговые марки ТИНОР А, ТИНОР М и утолщенный ТИНОР. ОК «РУСАЛ» также проявляет определенный технологический интерес к созданию и промышленному применению смачиваемых катодов. В 2016 г. Инженерно-технологический центр ОК «РУСАЛ» совместно с крупнейшим российским производителем углеграфитовых материалов группа «Энергопром» начал производственные испытания электролизеров с защитными покрытиями катодов на основе композиции TiB_2 + пек в условиях АО «РУСАЛ-Красноярск». Таким образом, при использовании предлагаемого способа повышается средний срок службы электролизера с 1625 до 2555 суток.

Библиографический список

1. Саитов, А.В. Применение литиевых добавок при электролитическом производстве алюминия для повышения стойкости подовой футеровки алюминиевого электролизера [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.16.02 / Саитов А. В.; СПбГТУ. – Санкт-Петербург, 2018. – 146 л.
2. Галевский, Г.В. Металлургия алюминия [Текст]: справочник по технологии и оборудованию / Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2009. – 251 с.
3. Пат. 2626128, Россия, МПК C25C 3/20. Способ защиты углеграфитовой подины алюминиевого электролизера / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», В.Ю. Бажин, А.В. Саитов, Р.Ю. Фещенко, заявл. 10.10.2016; опубл. 21.07.2017, Бюл. № 21.

4. Пат. 2522928, Россия, МПК С25С 3/20. Способ защиты углеродной футеровки / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», В.Ю. Бажин, Р.Ю. Фещенко, В.М. Сизяков, Р.К. Патрин, А.В. Сайтов, заявл. 26.04.2013; опубл. 20.07.2014, Бюл. № 20.

5. Пат. 2548875, Россия, МПК С25С 3/00. Холодноабивная подовая масса / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минеральносырьевой университет «Горный», В.Ю. Бажин, А.В. Сайтов, Р.Ю. Фещенко, Р.К. Патрин, Э.Ю. Георгиева, заявл. 27.12.2013; опубл. 20.04.2015, Бюл. № 11.

6. Ефимова, К.А. Исследование и технологическая реализация процессов боридообразования при плазмометаллургической переработке титан-борсодержащего сырья [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.16.02/ Ефимова К.А.; СибГИУ. - Новокузнецк, 2017.- 166 л.

УДК 669.046:536.45

ПРИМЕНЕНИЕ ДИБОРИДА ТИТАНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ КАТОДОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ

Галевский Г.В.¹, Руднева В.В.¹, Галевский С.Г.², Комрони М.³, Гордиевский О.И.⁴

¹*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, kafcmet@sibsiu.ru*

²*Санкт-Петербургский горный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия, sgalevskii@gmail.com*

³*Министерство промышленности и новых технологий,
г. Душанбе, Республика Таджикистан, km-0808@mail.ru*

⁴*АО «РУСАЛ – Новокузнецк»,
г. Новокузнецк, Россия, gordej87@mail.ru*

Аннотация. Проведен анализ современных технических решений для защиты катодов алюминиевых электролизеров. Обоснован и предложен технологический вариант получения защитных покрытий на основе нанокристаллического диборида титана. Проведено сравнение базовых и ожидаемых показателей производства алюминия при применении катодов с защитными покрытиями. Разработано техническое решение по организации производства нанокристаллического диборида титана. Обоснованы его основные технико-экономические показатели.

Ключевые слова: электролитическое производство алюминия, защитные покрытия, катод, диборид титана.

APPLICATION THE TITAN DIBORID'S FOR PROTECTION OF CATHODES OF ALUMINIUM ELECTROLYZERS

Galevskiy G.V.¹, Rudneva V.V.¹, Galevskiy S.G.², Komroni M.³, Gordiyevsky O.I.⁴

¹*Siberian state industrial university,
Novokuznetsk, Russia, kafcmet@sibsiu.ru,*

²*St. Petersburg Mining University,
St. Petersburg, Russia, sgalevskii@gmail.com*

³*Ministry of the industry and new technologies,
Dushanbe, Republic of Tajikistan, km-0808@mail.ru*

⁴*JSC «RUSAL – Novokuznetsk»,
Novokuznetsk, Russia, gordej87@mail.ru*

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 SINF – 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., 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., Сияевский 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