

**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

19. Нефедов, П. Я. О требованиях к качеству углеродистых восстановителей для процессов рудной электротермии / П. Я. Нефедов // Кокс и химия. – 2000. – № 8. – С. 24–32.
20. Страхов, В. М. Альтернативные углеродистые восстановители для ферросплавных производств / В. М. Страхов // Кокс и химия. – 2009. – № 1. – С. 20–25.
21. Использование углей марки СС в производстве технического кремния / В.М.Страхов [и др.] // Кокс и химия. – 2012. – № 2. – С. 11–14.
22. Страхов, В. М. Проблемы с углеродистыми материалами для рудной и химической электротермии и пути их решения / В. М. Страхов // Кокс и химия. – 2010. – № 8. – С.29–33.
23. Кураков Ю. И. Производство специальных продуктов из антрацита (Обзор) / Ю. И. Кураков // Кокс и химия. – 2005. – № 9. – С. 7–18.
24. Рудыка, В. И. Сталь, уголь, кокс – 2014 и перспектива (Аналитический обзор материалов саммита «Европейский кокс 2014») / В. И. Рудыка, В. П. Малина // Кокс и химия. – 2014. – № 7. – С. 15–25.
25. Новое поколение печей с вращающимся подом для производства губчатого железа на основе угля / Р. Дегель [и др.] // Черные металлы. – 2000. – № 7. – С. 31–39.
26. Люнген, Х. Б. Производство чугуна / Х. Б. Люнген, М. Петерс, П. Шмеле // Черные металлы. – 2010. – № 9. – С. 52–66.
27. Близиюков А. С. Прямое восстановление железной руды углем / А. С. Близиюков // Новости черной металлургии за рубежом. – 2010. – № 6. – С. 20–25.
28. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния : монография : в 3 т. Т. 1. Полях О.А. Микрокремнезем в производстве карбида кремния / О. А. Полях, В. В. Руднева ; под ред. Г. В. Галевского. – М. : Флинта : Наука, 2007. – 248 с.
29. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния : монография : в 3 т. Дополнительный том. Руднева В. В. Плазмометаллургическое производство карбида кремния: развитие теории и совершенствование технологии / В. В. Руднева ; под ред. Г. В. Галевского. – М. : Флинта : Наука, 2008. – 387 с.

УДК 66.094.2

## **СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛУРГИИ**

**Аникин А.Е.<sup>1</sup>, Галевский Г.В.<sup>2</sup>, Руднева В.В.<sup>2</sup>, Галевский С.Г.<sup>3</sup>,  
Комрони М.<sup>4</sup>, Макарычева Е.Г.<sup>5</sup>, Смит С.В.<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>ООО «СМЦ-Огнеупоры»,

г. Новокузнецк, Россия, [anikin1985@rambler.ru](mailto:anikin1985@rambler.ru)

<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет,

г. Новокузнецк, Россия, [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru)

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский горный университет,

г. Санкт-Петербург, Россия, [sgalevskii@gmail.com](mailto:sgalevskii@gmail.com),

<sup>4</sup>Министерство промышленности и новых технологий,

г. Душанбе, Республика Таджикистан, [km-0808@mail.ru](mailto:km-0808@mail.ru)

<sup>5</sup>г. Инсбрук, Австрия, [lampada444@hotmail.com](mailto:lampada444@hotmail.com),

<sup>6</sup>г. Лестер, Англия, [veta2312@yahoo.com](mailto:veta2312@yahoo.com)

***Аннотация.** Рассмотрены виды, свойства и применение в современной металлургии искусственных твердых углеродистых материалов : буроугольных и каменноугольных полукоксов, каменноугольного, нефтяного и пекового коксов. Выявлены доминирующие тенденции, характерные для отечественного и мирового рынков этих материалов. Рассмотрена технология производства буроугольных полукоксов. Обобщен опыт их применения в качестве топлива и восстановителей в металлургии и электротермии неорганических материалов. Рассмотрены свойства и применение каменноугольного, нефтяного и пекового коксов.*

**Ключевые слова:** искусственные твердые углеродистые материалы, буроугольный и каменноугольный полукокс, каменноугольный, нефтяной, пековый коксы, металлургия.

## PROPERTIES AND APPLICATION OF ARTIFICIAL FIRM CARBONACEOUS MATERIALS IN METALLURGY

Anikin A.E.<sup>1</sup>, Galevskiy G.V.<sup>2</sup>, Rudneva V.V.<sup>2</sup>, Galevskiy S.G.<sup>3</sup>,  
Komroni M.<sup>4</sup>, Makarycheva E.G.<sup>5</sup>, Smith S.V.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> LLC «SMTS-Ogneupory»,  
Novokuznetsk, Russia, anikin1985@rambler.ru

<sup>2</sup>Siberian state industrial university,  
Novokuznetsk, Russia, kafmet@sibsiu.ru

<sup>3</sup>St. Petersburg Mining University,  
St. Petersburg, Russia, sgalevskii@gmail.com

<sup>4</sup>Ministry of the industry and new technologies,  
Dushanbe, Republic of Tajikistan, km-0808@mail.ru,  
<sup>5</sup>Innsbruck, Austria, e-mail: lampada444@hotmail.com,

<sup>6</sup>Leicester, England, veta2312@yahoo.com

**Abstract.** Types, properties and application in modern metallurgy of artificial solid carbonaceous materials are considered: brown-coal and coal semi-coke, coal, oil and peak coke. The dominating trends characteristic of the domestic and world markets of these materials are revealed. The production technology of brown-coal semi-coke is considered. Experience of their application as fuel and reducers in metallurgy and an electrothermal technology of inorganic materials is generalized. Properties and use of coal, oil and peak coke are considered.

**Keywords:** artificial solid carbonaceous materials, brown-coal and coal semi-coke, coal, oil, peak coke, metallurgy.

Целью настоящей работы является рассмотрение видов, свойств и анализ применения в современной металлургии искусственных твердых углеродистых материалов (буроугольных и каменноугольных полукоксов, каменноугольного, нефтяного и пекового коксов) и выявление доминирующих тенденций, характерных для отечественного и мирового рынков этих материалов.

### **Буроугольные полукоксы.**

Буроугольный полукокс (БПК) – это продукт полукоксования бурых углей. Полукоксование – это нагревание твердых горючих ископаемых до температуры 500-600 °С без доступа воздуха. Полукокс – это пористое, более обуглероженное, по сравнению с исходным углем, синтетическое твердое топливо с выходом летучих веществ от 9 до 23 % и теплотой сгорания 29,3-34,7 МДж/кг. Он характеризуется высокой реакционной способностью, легко загорается, горит без копоти, имеет высокую температуру горения. В зависимости от исходного угля и условий полукоксования, он может быть в кусковом или порошкообразном виде. Выход полукоксовки составляет обычно 55-75 % от исходного угля [1].

Известны различные технологические варианты производства полукоксов из низкометаморфизованных углей [1-4].

На ОАО «Металлургический завод «Сибэлектросталь» (Сибэлектросталь) (г. Красноярск) [1, 2] в конце 60-х гг. применялся энерготехнологический способ полукоксования бурого угля. В Югославии [2] в 60-е гг. применялся способ полукоксования на установке Лурги-Рургаз в реакторе с кипящим слоем. На ОАО «Ангарская нефтехимическая компания» (АНХК), ООО «Завод полукоксования» (г. Ленинск-Кузнецкий), а также в Германии в 60-70-е гг. получил распространение процесс полукоксования в вертикальных шахтных печах системы Лурги с внутренним обогревом. На сланцеперерабатывающем заводе VKG Oil AS (Эстония) [3] совместно с ВУХИНОм в 1997 г. было проведено коксование длиннопламенного

угля Новой Зеландии в камерных печах с внешним обогревом. Также опробован и отработан процесс полукоксования углей марок Д, ДГ и СС в газогенераторах. В 2000-х гг. в газогенераторах данного завода были проведены полукоксования углей марки Д Шубаркольского разреза (Казахстан). Известна технология термоокислительного полукоксования на цепных колосниковых решетках (ЦКР). Пиролиз угля осуществляется в окислительном режиме за счет сгорания над слоем топлива выделяющихся летучих веществ. В России данную технологию разрабатывали в МХТИ им. Д. И. Менделеева, затем в ВУХИНе. Процесс внедрен в условиях Казахстана для получения углеродистых материалов из углей марки Д Шубаркольского разреза. В России в промышленном масштабе не применяется. За рубежом данный способ широко используют в Канаде, США, Германии, ЮАР и Индии. Для получения полукокса могут применяться кольцевые печи. Сущность метода заключается в нагревании тонкого слоя свободно лежащей угольной загрузки на движущемся поде. Наибольший опыт накоплен в Германии и США. В бывшем СССР технология коксования в кольцевых печах отработывалась на Нижнетагильском металлургическом комбинате и Московском коксогазовом заводе. В настоящее время эти установки не работают. В Китае [4] в провинции Шаньси эксплуатируются две вертикальные печи типа SJ производительностью около 100 тыс./т год полукокса из углей Шеньму марки Д. Газ для нагрева угля вдвигается через фурмы, установленные в стенах печи. Сгорая и частично сжигая выделяющиеся при нагреве летучие компоненты угля, образующиеся внутри печи, газ равномерно нагревает загрузку угля. Данная технология также используется в Казахстане – на борту Шубаркольского разреза в 2006 г. построено шесть печей с общим производством полукокса 300 тыс. т/год.

В настоящее время одним из самых перспективных способов получения БПК считается технология «ТЕРМОКОКС» [5]. Суть технологической концепции состоит в разделении углей с высоким выходом летучих веществ на два продукта – газовое топливо и коксовый остаток (полукокс). В рамках указанной технологии реализуются следующие способы: «ТЕРМОКОКС-С», «ТЕРМОКОКС-КС», «ТЕРМОКОКС-О<sub>2</sub>». Технология «ТЕРМОКОКС-С» предусматривает частичную газификацию углей в слоевых аппаратах. В 1996 г. процесс реализован в г. Красноярске. Технология «ТЕРМОКОКС-КС» заключается в частичной газификации углей с использованием технологии кипящего слоя. В 2007 г. процесс реализован на Березовском разрезе (Красноярский край). Технология «ТЕРМОКОКС-О<sub>2</sub>» предусматривает частичную газификацию угля в слоевых реакторах с использованием кислородного дутья. Таким образом, исходя из географии применения, по технологии «ТЕРМОКОКС» перерабатываются, в первую очередь, бурые угли Березовского месторождения КАБ. Однако данная технология позволяет перерабатывать бурые, а также каменные угли марок Д и Г других месторождений.

Буроугольные полукокси широко применяются в металлургии и электротермии неорганических веществ в качестве топлива и восстановителей. Так, на ОАО «Ачинский глиноземный комбинат» (АГК) предлагают использовать БПК из углей КАБ в качестве технологического топлива для производств глинозема [6].

В 1960-70-х гг. БПК, произведенный на опытно-промышленных установках ЭТХ (г. Калинин и г. Красноярск) и ТККУ (г. Свердловск), был успешно опробован в качестве ПУТ в доменном производстве, как компонент шихты для коксования и как восстановитель в металлургии [6].

На ОАО «Кокс» (г. Кемерово) была получена партия (1700 т) кокса из шихты, в которую входило 25 % БПК как отощающей добавки [2]. Опытный кокс отличался от обычного повышенной реакционной способностью и большим электросопротивлением. В работе [7] исследовали возможность добавки БПК из углей Бородинского и Березовского месторождений КАБ в шихту на коксование. Добавка БПК из углей Бородинского разреза приводила к увеличению насыпной массы шихты на 15 %. Кокс, полученный с добавлением БПК, имел повышенную реакционную способность. Опыты проводились на ОАО «Кокс». На ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» (ЗСМК) в шихту добавляли 5 % БПК из углей Березовского месторождения. Полученный кокс имел повышенную реакционную способность, при этом его

структурная прочность была выше, чем у обычного кокса.

В работе [8] приведены результаты использования БПК из углей КАБ в процессе прямого получения железа. Опыты проводились в вертикальной трубчатой электропечи. Получены прочные окатыши со степенью металлизации ~ 40 % и окатыши пониженной прочности, металлизированные на 85-90 %.

БПК может применяться в качестве карбюризатора в процессе цементации – науглероживания поверхности стали. В работе [9] приведены результаты использования БПК из углей Ирша-Бородинского разреза КАБ в качестве карбюризатора для цементации четырех марок стали: двух малоуглеродистых (Ст.10, Ст.20) и двух легированных (20Х, 12ХН3А). Карбюризатор, полученный на основе БПК, несколько уступает по своей цементирующей способности древесно-угольному, но превосходит промышленный полукоксый карбюризатор ООО «Завод полукоксования» (г. Ленинск-Кузнецкий).

В работе [10] представлены результаты опытов по использованию БПК из углей Березовского разреза КАБ в процессе агломерации железных руд. Авторами рекомендовано для улучшения показателей аглопроцесса и сохранения качества агломерата на производственном уровне использование БПК крупностью 1-5 мм и замена им коксовой мелочи в количестве 40-50 %.

В работе [7] приведены результаты исследований вдувания БПК из углей Бородинского разреза КАБ в горн доменной печи объемом 2000 м<sup>3</sup>. Исследования были проведены на ЗСМК совместно с ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина» (ЦНИИчермет) и Институтом черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины (ИЧМ). Отмечалось повышение теоретической температуры горения топлива, увеличение восстановительной способности СО и Н<sub>2</sub>, повышение основности шлака, снижение содержания серы в чугуне, увеличение выпуска чугуна. В целом, опыты показали, что ПУТ из БПК может частично заменить кокс в доменной плавке. Кроме того, авторы [11, 12] называют БПК лучшим топливом для вдувания в горн доменных печей.

Полукокс из бурых углей, полученный в США в кольцевых печах диаметром 5 и 8 м с производительностью последней по БПК 28 т/ч, используют в электротермических производствах ферросплавов и фосфора [3].

Полукокс, полученный из бурых углей на агрегате высокоскоростного пиролиза на заводе «Сибэлектросталь», использовался в качестве мелкозернистого восстановителя в бескоксовой металлургии [11]. Также мелкозернистый БПК может применяться в металлургии для получения различных сортов кокса, агломерата, чугуна. Полукокс, полученный из бурых углей КАБ по технологии термоокислительного полукоксования (газификации) в реакторах шахтного типа с плотным слоем на ЗАО «Карбоника-Ф» (г. Красноярск), может использоваться в качестве технологического топлива при производстве агломератов минерального сырья, в различных металлургических и обжиговых процессах взамен коксовой мелочи и высококалорийных топлив.

БПК, полученный из углей КАБ, применялся в полупромышленном масштабе для металлизации рудоугольных окатышей на конвейерной машине площадью 10 м<sup>2</sup> на заводе «Сибэлектросталь». Также БПК может применяться для получения жидкого металла (чугуна) непосредственно из ЖРС, минуя доменный передел [13]. БПК, полученный из углей КАБ, применялся для металлизации железорудных окатышей в трубчатой вращающейся печи [13 – 15] и в конвейерной печи [15].

БПК из углей КАБ может использоваться для получения рудоугольных окатышей, используемых в ферросплавном производстве. БПК в этом случае используется в качестве высокореакционного восстановителя. БПК из углей Ирша-Бородинского разреза использовался в процессе восстановления марганцево-угольной шихты и плавки из нее низкофосфористого шлака [12]. Процесс восстановления рудо-флюсо-угольных окатышей с помощью БПК в присутствии известняка в количестве 10 % изучался в работе [16].

#### ***Каменноугольный кокс и полукокс.***

Каменноугольный кокс – это продукт коксования каменного угля. Коксованием называется процесс переработки углей (угольных смесей) путем их нагрева без доступа воздуха

до 900-1100 °С с получением твердого углеродистого остатка, называемого коксом [17].

Полукокс из каменных углей в настоящее время широко применяются в качестве восстановителей и топлива в металлургии и электротермии неорганических веществ. Так, полукокс из угля марки Д Шубаркольского месторождения (Казахстан) в смеси с коксовым орешком ОАО «ЕВРАЗ НТМК» (НТМК) применялся для выплавки высокоуглеродистого феррохрома [20]. Испытания, проведенные на СЗФ, показали, что с увеличением доли спецкокса в шихте увеличилось извлечение хрома, снизилось содержание оксида хрома в шлаке. Полученный высокоуглеродистый феррохром имел пониженное содержание фосфора.

В работах [2, 3, 14, 18] признают полукокс, произведенный на АНХК (ангарский полукокс) высококачественным восстановителем для кремнистых сплавов. При испытании полукокса, произведенного на ООО «Завод полукоксования» (ленинск-кузнецкого полукокса), с заменой им до 50 % коксового орешка, было установлено, что при выплавке 75 %-ного ферросилиция имело место расстройство хода печи: спекание колошника, частые обвалы шихты [18]. Однако при выплавке других марок ферросплавов он используется [3].

Полукокс из углей марки ДГ Колумбии испытали на ферросплавных заводах России (ЧЭМК), Казахстана (АЗФ) и Норвегии (заводы фирмы «Элкем АС») при производстве соответственно феррохрома, ферросилиция взамен 30-40 % металлургического кокса и в производстве кристаллического кремния с полной заменой им древесного угля. Испытания показали высокую техническую эффективность его применения [19].

Полукокс, полученный из длиннопламенных углей Кузбасса и Шубаркольского месторождения Казахстана по технологии ЗАО «Карбоника-Ф», соответствует лучшим образцам углеродистых восстановителей для электротермических производств [3, 11, 20].

Полукокс, полученный из углей марки Д Шубаркольского месторождения (Казахстан) в газогенераторах сланцеперерабатывающего завода VKG Oil AS (Эстония), отвечает требованиям, предъявляемым к углеродистым восстановителям для электротермических процессов производства ферросплавов [21].

Полукокс, полученный из углей марки Д месторождения Шеньму (Китай) в вертикальных печах типа SJ, находит широкое применение в электротермических производствах: ферросплавов – ферросилиция и ферромарганца, фосфора и карбида кальция [4].

Каменноугольный кокс является неотъемлемым сырьем для доменного процесса, процессов агломерации и производства окатышей. Коксовый орешек является основным восстановителем для электротермических производств. Коксовая мелочь может использоваться в процессах прямого восстановления ЖРС и ЖСО. Так, в 1989 г. фирмами «Искор» (ЮАР) и «Фест-Альпине» (Австрия) была запущена установка по выплавке чугуна по технологии «Корекс». В качестве топлива использовали 15 % коксовой мелочи и 85 % энергетического угля [14]. Коксовая мелочь применяется для получения губчатого железа во вращающейся трубчатой печи, металлизированных окатышей на конвейерной обжиговой машине, чугуна во вращающемся конвертере по способу «Доред-процесс», жидкого металла в качающейся отражательной регенеративной печи по способу «КШС-процесс» [12]. Кузнецкий кокс и ангарский полукокс использовались в процессе металлизации окатышей в трубчатой печи [14].

#### ***Нефтяной и пековый коксы.***

Нефтяной и пековый кокс представляет собой высокоуглеродистый остаток, получаемый из нефтяных остатков в процессе коксования – термической обработки без доступа воздуха при 400-500 °С [17]. Сырьем для производства нефтяного кокса являются тяжелые остатки атмосферной и вакуумной переработки нефти (мазут и гудроны), крекинг-остатки от термического крекинга мазутов и гудронов, тяжелые газойли каталитического крекинга, остатки производства масел. Для производства кокса наряду с нефтяными остатками используют также высокотемпературный пек каменноугольного происхождения, который коксуют при температуре 1000 °С.

Нефтяной и пековый кокс используется для производства анодной массы, применяемой для выплавки алюминия, в качестве сырья для производства электродов, в производстве ферросплавов, карбида кальция, различных углеродных изделий [17].

Так, слоистый нефтяной кокс использовали как упрочняющий агент в производстве углеродистого восстановителя [23]. Установлено, что оптимальное содержание слоистого нефтяного кокса составляет 1 % и обеспечивает высокую механическую прочность при испытании окатышей на сжатие и истирание, а также увеличение степени восстановления железа из руды. Вместе с тем, при применении пористого нефтяного кокса положительный эффект отсутствовал.

Кокс замедленного коксования нефти в смеси с гидролизным лигнином брикетировали и получали углеродистый восстановитель для электротермического производства кремния [23]. Установлено, что извлечение кремния на уровне  $\geq 73,4$  % обеспечивается при следующих оптимальных условиях: массовое содержание гидролизного лигнина и нефтяного кокса 90:10, крупность нефтяного кокса  $\leq 6$  мм.

Низкоактивный, обладающий высокой электропроводностью нефтяной кокс и высококореакционный ванадий- и никельсодержащий кокс низкотемпературного термоконтактного крекинга нефти (ТККН) использовали в качестве малозольных восстановителей в электротермии силикоалюминия [24, 25]. Эффективность кокса ТККН подтверждена результатами опытных плавов – производительность печи возросла на 22 %, удельный расход электроэнергии и минеральной части шихты снизился соответственно на 11 и 17 %.

В работе [24] изложен промышленный способ использования нефтяного кокса в производстве ферросилиция. Разработанный на ООО «Братский завод ферросплавов» (БЗФ) способ ведения плавки позволил выплавлять ферросилиций при замене нефтяным коксом 15 % углерода без снижения технико-экономических показателей (ТЭП) и с получением ферросилиция ФС75. При замене до 35-40 % углерода нефтяным коксом снижение показателей плавки происходило на 3-5 %, однако экономически это компенсировалось высоким качеством получаемого сплава.

#### Библиографический список

1. Минерально-сырьевая база угольной промышленности России : в 2 т. Т. 1. Состояние, динамика, развитие / Н. Н. Балмасов [и др.] ; под ред. А. Е. Евтушенко, Ю. Н. Малышева. – М. : Издательство Московского государственного горного университета, 1999. – 648 с.
2. Мизин, В. Г. Углеродистые восстановители для ферросплавов / В. Г. Мизин, Г. В. Серов. – М. : Metallurgia, 1976. – 272 с. : ил.
3. Страхов, В. М. Научные и производственные аспекты получения специальных видов кокса для электротермических производств / В. М. Страхов // Кокс и химия. – 2008. – № 9. – С. 44–49.
4. Технология производства и качество полукокса из вертикальных печей типа SJ Китая / В. М. Страхов [и др.] // Кокс и химия. – 2007. – № 5. – С. 17–24.
5. Исламов, С. Р. Энергоэффективное использование бурых углей на основе концепции «ТЕРМОКОКС» : автореф. дис. на соиск. учен. степ. док. техн. наук : 05.14.04 / Исламов Сергей Романович. – Красноярск, 2010. – 37 с.
6. Энерготехнологическое использование канско-ачинских углей / С. Г. Степанов [и др.] // Уголь. – 2003. – № 7. – С. 50–54.
7. Школлер, М. Б. Буроугольный полукокс – модификатор свойств кокса и угольных смесей / М. Б. Школлер // Кокс и химия. – 2007. – № 12. – С. 18–24.
8. О возможности использования полукокса из бурых углей Канско-Ачинского месторождения в черной металлургии / В. Е. Тихомиров [и др.] // Кокс и химия. – 1983. – № 12. – С. 14–16.
9. Старке, Э. П. Карбюризатор на основе буроугольного кокса для химикотермической обработки стали / Э. П. Старке, В. М. Страхов // Кокс и химия. – 2003. – № 9. – С. 43–45.
10. Буроугольный полукокс. Возможности его использования как топлива в агломерации железных руд / В. М. Страхов [и др.] // Кокс и химия. – 2007. – № 8. – С. 20–26.

11. Современные энерготехнологические процессы глубокой переработки твердых топлив : учеб. пособие. – Новокузнецк : НИУ РЭТ-ТПУ, 2010. – 220 с.
12. Использование буроугольного полукокса в качестве пылеугольного топлива в доменной плавке / С. Р. Исламов [и др.]. – Донецк : УНИТЕХ, 2008. – 68 с.
13. Теория металлургии железорудного сырья / Ю. С. Юсфин [и др.]. – М. : Металлургия, 1982. – 256 с.
14. Кудрявцев, В. С. Использование некоксуемых углей в черной металлургии / В. С. Кудрявцев, С.А. Пчелкин. – М. : Металлургия, 1981. – 168 с.
15. Кудрявцев, В. С. Металлизированные окатыши / В. С. Кудрявцев, С.А. Пчелкин. – М. : Металлургия, 1974. – 136 с.
16. Юсфин, Ю. С. Обжиг железорудных окатышей / Ю. С. Юсфин, Т. Н. Базилевич. – М. : Металлургия, 1973. – 272 с.
17. Глущенко, И. М. Теоретические основы технологии горючих ископаемых : учеб. для вузов / И. М. Глущенко. – М. : Металлургия, 1990. – 296 с.
18. Нефедов, П. Я. О требованиях к качеству углеродистых восстановителей для процессов рудной электротермии / П. Я. Нефедов // Кокс и химия. – 2000. – № 8. – С. 24–32.
19. Кокс Китая как углеродистый восстановитель для производства ферросплавов / В. М. Страхов [и др.] // Кокс и химия. – 2005. – № 11. – С. 16–21.
20. Анализ качества и перспективы использования малозольных углеродистых восстановителей для электротермического производства технического кремния / В. М. Страхов [и др.] // Кокс и химия. – 2012. – № 5. – С. 18–21.
21. Полукоксование длиннопламенных углей Шубаркольского месторождения в газогенераторах / И. Л. Глезин [и др.] // Кокс и химия. – 2009. – № 8. – С. 25–29.
22. Юсфин, Ю.С. Новые процессы получения металла (металлургия железа) : учеб. для вузов / Ю.С. Юсфин, А. А. Гиммельфарб, Н.Ф. Пашков. –М.: Металлургия, 1994. – 320 с.
23. Формирование заданных свойств углеродистого восстановителя для электротермических процессов (Обзор) / М. Л. Улановский [и др.] // Кокс и химия. – 2000. – № 4. – С. 14–20.
24. Страхов, В. М. Альтернативные углеродистые восстановители для ферросплавных производств / В. М. Страхов // Кокс и химия. – 2009. – № 1. – С. 20–25.
25. Страхов, В. М. Проблемы с углеродистыми материалами для рудной и химической электротермии и пути их решения / В. М. Страхов // Кокс и химия. – 2010. – № 8. – С.29–33.

УДК 669.184:669.054.8

## ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СКРАПА ШЛАКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ

Амелин А.В.<sup>1</sup>, Протопопов Е.В.<sup>2</sup>, Кузнецов С.Н.<sup>2</sup>, Калиногорский А.Н.<sup>2</sup>, Ганзер Л.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «ЕВРАЗ ЗСМК»,

г. Новокузнецк, Россия, [protopopov@sibsiu.ru](mailto:protopopov@sibsiu.ru)

<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, Россия, [protopopov@sibsiu.ru](mailto:protopopov@sibsiu.ru)

*Аннотация.* Рассмотрены характерные особенности шлакообразования и окислительного рафинирования металла в 160-т конвертерах АО «ЕВРАЗ ЗСМК» с использованием в твердой металлошихте скрапа шлакометаллического. Установлены технологические преимущества процесса при восстановлении оксидов железа из шлаковой составляющей железосодержащего продукта переработки отвальных шлаков.

**Ключевые слова:** выплавка стали, конвертер, металлический лом, скрап шлакометаллический, шлаковая составляющая, восстановление оксидов железа, шлакообразование, технологические показатели.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</b> .....	<b>4</b>
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.<sup>1</sup>, 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.<sup>4</sup>, 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
<b>СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА</b> .....	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
<b>СЕКЦИЯ 3: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ, ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ</b> .....	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
<b>СЕКЦИЯ 4: ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И АГРЕГАТАХ. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ</b> .....	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