

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский государственный индустриальный университет

Посвящается 400-летию города Новокузнецка

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2017»

15 – 16 ноября 2017 г.

Труды
XX Международной научно-практической конференции
Часть 1

Новокузнецк
2017

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. Темлянец, д.т.н., профессор А.В. Феоктистов,
д.т.н., профессор Г.В. Галевский, д.ф.-м.н., профессор В.Е. Громов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., профессор Н.А. Козырев,
к.т.н., профессор С.Г. Коротков, к.т.н., доцент С.В. Фейлер

М 540 Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1 / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – 460 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.

Конференция проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-08-20433.

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»
ОАО «Кузбасский технопарк»
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук
Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2017

Таблица 4 - Режим работы газокислородных горелок в конце плавки по предлагаемой технологии.

Процент загрузки ДСП, %*	От 90 до 95	От 95 до 98	От 98 до 100
Расход кислорода, м ³	2000	1200	700
Расход углерода, кг/мин	16	16	16

По результатам проведенных исследований можно сказать, что предложенный энерготехнологический режим позволит повысить технико-экономические показатели выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах, а именно снизить удельный расход электроэнергии на 1% и увеличить выход жидкого металла на 0,7 %.

Библиографический список

1. Стомахин А.Я., Шалимов А.Г. О работе IX Международного конгресса сталеплавильщиков. // «Электрометаллургия», № 2, 2007г., с. 37 – 39.
2. Шалимов А.Г., Трахимович В.И. Использование железа прямого восстановления при выплавке стали – М.: Metallurgy, 1982г., 248с.
3. Лопухов Г.А. // Эволюция сталеплавильного производства к 2010 году. Электросталь. № 5, 2002г. с. 2-3.
4. Гейхман М.В., Кузнецов Л.Н. Совершенствование выплавки электростали с использованием металлизированного сырья при дуговом разогреве Бюл. «Черметинформация», 1982г., 30с.
5. Милович Р., Некрасов В.М., Дюбанов В.Г. // Инжекционные технологии и возможность их внедрения в производство. // «Электрометаллургия», №6, 2002г., с. 2 – 14.

УДК 621.783.24 (075)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Михайличенко Т.А., Сюсюкин А.Ю., Гальчун А.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»,
Новокузнецк, Россия, archimih@mail.ru*

Аннотация: Разработаны мероприятия по снижению расхода топлива на нагревательных печах шаропрокатного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» на основе аналитического обзора современных технических решений по экономии топлива в нагревательных устройствах черной металлургии. Проведены теплотехнические расчеты, подтверждающие эффективность предлагаемых мероприятий.

Ключевые слова: шаропрокатный стан, камерная печь с шагающими балками, секционная роликовая печь, расход топлива, кладка печи, волокнистая теплоизоляция, опорные трубы, металлический петлевой рекуператор, оребренный пластинчатый теплообменник, тепловой баланс.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF HEATING FURNACES OF METALLURGICAL PRODUCTION

Mihaylichenko T.A., Syusyukin A.J., Galchun A.G.

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia
JSC «EVRAZ ZSMK»,
Novokuznetsk, Russia, archimih@mail.ru*

Annotation: Activities to reduce fuel consumption of reheating furnaces of ball-rolling plant «EVRAZ ZSMK» has been developed. The research was based on an analytical review of modern technical solutions for fuel savings in heating devices of the steel industry. Heat engineering calculations confirm the efficiency of the proposed activities.

Keywords: ball-rolling mill, chamber furnace with walking beams, sectional roller furnace, fuel consumption, furnace masonry, fibrous insulation, pipes, metal loop heat exchanger, finned heat exchanger, heat balance.

Актуальность выбранной темы исследования определяется сложным экономическим положением в металлургической отрасли, особенно в последние годы. Повышение цен на топливо и энергоносители, проблемы с рынками сбыта и многое другое заставляют потребителей и производителей печного оборудования и теплотехников принимать решительные меры, направленные на экономию энергоресурсов в нагревательных печах.

Целью настоящей работы является разработка мероприятий по снижению расхода топлива на нагревательных печах шаропрокатного цеха (ШПЦ) АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить возможности и перспективы снижения расхода топлива на нагревательных печах конкретного производственного участка.

2. Проанализировать тепловые балансы печей шаропрокатных станов (ШПС-1 и ШПС-2) ШПЦ АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

3. Рассмотреть возможность и целесообразность применения эффективных огнеупорных и теплоизоляционных материалов в кладке свода и стен, а также теплоизоляции на опорных водоохлаждаемых трубах.

4. Выбрать и рассчитать рекуператор для печи ШПС-2.

Шаропрокатное производство на АО "ЕВРАЗ ЗСМК" оборудовано двумя шаропрокатными станами общей производительностью до 120 тысяч тонн в год. Объектами исследования в данной работе были две печи.

Секционная роликовая печь с торцевой посадкой и торцевой выдачей заготовок расположена на печном участке шаропрокатного стана №1 (ШПС-1) [1].

В печи производится нагрев под прокатку заготовок круглого сечения диаметром 40, 60, 80 мм из углеродистых, низколегированных и легированных конструкционных марок сталей. Транспортировка заготовок в печи осуществляется по печному рольгангу. Печи отапливаются природным газом с теплотой сгорания $34769 \text{ кДж/м}^3 \pm 840 \text{ кДж/м}^3$. Газ сжигается в газовых плоскопламенных горелках типа ППГК-140М [2]. Максимальный расход газа на печь равен $1300 \text{ м}^3/\text{час}$. Рабочий расход газа составляет $1000\text{--}1100 \text{ м}^3/\text{час}$.

Камерная печь с шагающими балками с торцевой посадкой и выдачей заготовок расположена на печном участке шаропрокатного стана №2 (ШПС -2). В печи производится нагрев под прокатку заготовок из углеродистых марок сталей. Печи отапливаются природным газом с теплотой сгорания $34769 \text{ кДж/м}^3 \pm 840 \text{ кДж/м}^3$, который сжигается в газовых плоскопламенных горелках ГР-1500П. Рабочий расход газа составляет $950\text{--}1100 \text{ м}^3/\text{час}$ [3].

Печь ШПС -2 является печью периодического действия. Коэффициент полезного действия (КПД) действующей печи составляет 21,79 %, а коэффициент использования топлива (КИТ) - 56,96 % [3].

Балансовые испытания проводятся с периодичностью один раз в 3 года или до и после капитального ремонта печей. Капитальный ремонт нагревательных печей прокатного производства проводится один раз в 2 года.

Целью испытаний печи является:

- получение статистических данных по работе нагревательной печи;
- анализ полученных данных, сравнение с проектными данными и результатами последних испытаний, установление причин отклонения от последних;
- определение основных технико-экономических показателей работы печи: производительность, КПД, КИТ, расход условного топлива, расход топлива на нагрев металла до и после капитального ремонта печи, оценка эффективности проведения ремонта и др.;
- определение основных статей прихода и расхода тепла;
- разработка мероприятий по дальнейшему улучшению показателей работы печей и их оценка после внедрения.

Тепловой баланс печи выражается уравнением, связывающим статьи прихода и расхода тепла. Кроме того, что на базе теплового баланса определяются основные теплотехнические показатели печи, на действующих предприятиях его можно рассматривать как инструмент анализа и совершенствования работы печи.

Анализ теплового баланса печи ШПС-1 проводился на основе данных, представленных в таблице 1.

Тепловой баланс этой печи составлялся в 2008 и 2011 годах. На печи предусмотрена утилизация тепла (металлический петлевой рекуператор). Из таблицы 1 видно, что физическое тепло воздуха

уменьшилось с 11,95 до 8,68 %, что должно было привести к увеличению потерь тепла с уходящими газами (), но на самом деле потери тепла с уходящими газами уменьшились:

- в 2008 году 42,51 %;
- в 2011 году 40,11 %.

Потери тепла с охлаждающей водой уменьшились с 38,05 до 35,39 %, что было связано с изменением температурного режима пятой зоны печи и заменой роликов.

Кроме того, по сравнению с 2008 годом увеличились потери тепла через кладку печи на 2 %, что свидетельствует о значительном износе футеровки.

Таблица 1– Тепловой баланс печи ШПС-1

Статьи баланса	2008 год	2011 год
	%	%
Приход тепла:		
Химическое тепло топлива ()	87,58	90,92
Физическое тепло воздуха ()	11,95	8,68
Окисление металла ()	0,47	0,40
ИТОГО:	100	100
Расход тепла:		
Тепло нагретого металла (Q_m)	11,31	9,58
Потери тепла с охлаждающей водой ()	38,05	35,39
Потери тепла излучением ()	0,55	0,98
Потери тепла через кладку ()	5,25	7,28
Потери тепла через кладку ()	42,51	40,10
Потери тепла с уходящими газами ()	0,14	0,12
Потери тепла с окалиной ()	2,19	6,55
Неучтенные потери ()		
ИТОГО:	100	100

Для увеличения производительности печи рассматривается вопрос о замене двухручьевых роликов на трехручьевые, что позволит увеличить садку печи, улучшить эффективность использования топлива за счет увеличения расходной статьи теплового баланса на нагрев металла, при этом КПД печи увеличится.

С целью снижения потерь тепла с охлаждающей водой предлагаются следующие мероприятия:

- в низкотемпературных зонах печи заменить стальные водоохлаждаемые ролики на цельные ролики из жароупорного чугуна;
- использовать изоляцию роликов.

Аналогично можно проанализировать тепловой баланс печи ШПС-2 (таблица 2).

Таблица 2– Тепловой баланс печи ШПС-2

Статьи баланса	2005 год	2008 год	2011 год
	%	%	%
Приход тепла:			
Химическое тепло топлива ()	98,02	98,26	98,51
Окисление металла ()	1,98	1,74	1,49
ИТОГО:	100	100	100
Расход тепла:			
Тепло нагретого металла (Q_m)	25,86	21,04	17,88
Потери тепла с охлаждающей водой ()	30,87	32,33	37,26
Потери тепла излучением ()	0,20	0,19	0,20
Потери тепла через кладку ()	1,68	2,59	2,46
Потери тепла с уходящими газами ()	39,09	41,55	39,75
Потери тепла с окалиной ()	0,65	0,54	0,45
Неучтенные потери ()	1,65	1,76	2,00
ИТОГО:	100	100	100

Данная печь является печью периодического действия, нагрев в которой осуществляется по

циклу « посадка – нагрев – выдача», поэтому балансовые испытания проводились на протяжении одного цикла работы от момента посадки первой заготовки до момента выдачи [3].

В период испытаний измеряли:

- параметры нагреваемого металла;
- параметры теплоносителей (вода, газ, воздух);
- параметры печи в период работы (температура деталей конструкции печи).

Тепловой баланс данной печи составлялся в 2005, 2008 и 2011 годах. На этой печи не предусмотрена утилизация тепла.

Расчет теплового баланса и сравнение его со средними показателями работы печей такого же типа позволяет сделать вывод, что анализируемая печь имеет высокие потери тепла с охлаждающей водой, теплопроводностью через кладку и с уходящими продуктами сгорания. Высокие потери тепла этих статей теплового баланса, в свою очередь, ведут к увеличению расхода топлива, снижению КПД и КИТ печи.

В исследуемый период увеличились потери тепла с охлаждаемой водой:

- в 2005 году – 30,87 %;
- в 2008 году – 32,33 %;
- в 2011 году – 37,26 %, что должно было снизить КПД – это и наблюдается в тепловом балансе печи.

КПД печи снижался и составлял:

- в 2005 году – 25,86 %;
- в 2008 году – 21,04 %;
- в 2011 году – 17,88 %.

Потери тепла через кладку изменяются незначительно, поэтому на КПД существенно не повлияли.

Потери тепла с продуктами сгорания изменялись так:

- в 2005 году – 39,09 %;
- в 2008 году – 41,55 %;
- в 2011 году – 39,75 %.

Приведенные выше данные приводят к выводу о том, что имеет смысл подумать об утилизации тепла на этой печи, но в данном случае речь может идти о рекуператоре, а не о рекуперативной горелке, т.к. они дороже и их устанавливают обычно не при реконструкции, а при проектировании новой печи.

Что же касается потери тепла с охлаждаемой водой, то здесь, по-видимому, следует предусмотреть хорошую современную изоляцию водоохлаждаемых балок печи.

Для повышения эффективности работы печи с шагающими балками ШПС-2 предлагается осуществить ряд мероприятий:

- Применить эффективные огнеупорные и теплоизоляционные материалы в кладке свода и стен.
- Применить волокнистую изоляцию на опорных трубах.
- Установить теплоутилизирующее устройство – рекуператор.

Для футеровки нагревательных печей в настоящее время широко применяются жароупорные бетоны, пластичные и набивные массы, волокнистые и легковесные огнеупоры. Эффективно выполнение подвешного свода из жароупорного бетона. Проанализировав актуальную в настоящее время информацию по этому вопросу, можно сделать вывод, что применение таких материалов снизит расход топлива примерно на 3-5 %.

Статья потерь тепла с охлаждающей водой в тепловом балансе является наиболее существенной, и, как показывает опыт эксплуатации печей в других цехах, наилучшие результаты дает двухслойная изоляция с наружным слоем из жароупорного бетона и внутренним – из керамического материала. Так, на печи с шагающими балками рельсобалочного цеха и на нагревательной печи стана 250 сортопрокатного цеха при применении аналогичной изоляции балок потери тепла с водой не превышают 10 %. Уменьшение потерь тепла на водоохлаждаемых элементах печи ШПС-2 при применении изоляции может составить примерно 10-15 %. Кроме того, применение современных огнеупорных и изоляционных материалов на водоохлаждаемых элементах печей, таких как опорные и шагающие балки, увеличивает их срок их службы минимум в два раза, что в свою очередь снижает затраты на ремонт тепловых агрегатов.

Нагревательные печи, как правило, оборудуются рекуператорами – теплообменниками непрерывного действия, в которых за счет тепла уходящего дыма подогревается воздух (реже газ) для горения [4].

Исходными данными для выбора и расчета рекуператора являются требуемая температура подогрева воздуха, температура уходящего дыма и конкретные условия работы рекуператора. Для рассматри-

ваемой нами печи уместно использование металлического трубчатого петлевого рекуператора [5,6].

В работе был сделан расчет и анализ теплового баланса после установки рекуператора [7]. Тепловой баланс печи ШПС-2 до и после установки металлического петлевого трубчатого рекуператора представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Тепловой баланс печи ШПС-2 до и после установки рекуператора

Статьи баланса	Без рекуператора	С рекуператором
	%	%
Приход тепла:		
Химическое тепло топлива ()	98,26	88,30
Окисление металла ()	1,74	2,00
Физическое тепло воздуха ()	0	9,70
ИТОГО:	100	100
Расход тепла:		
Тепло нагретого металла (Q_m)	21,04	24,70
Потери тепла с охлаждающей водой ()	32,33	37,90
Потери тепла излучением ()	0,19	0,20
Потери тепла через кладку ()	2,59	3,00
Потери тепла с уходящими газами ()	41,55	31,50
Потери тепла с окалиной ()	0,54	0,60
Неучтенные потери ()	1,76	2,10
ИТОГО:	100	100

В результате количественного перераспределения потерь тепла по статьям теплового баланса коэффициент полезного действия печи (КПД) увеличился и составил 27,9 %, а коэффициент использования топлива составил 64,4 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что после установки рекуператора на печь ШПС-2 КПД повысился на 6,1 %, КИТ – на 7,4 % (сравнение с данными 2008г.).

Обзор последних достижений в области утилизации тепла в черной металлургии показал, что в настоящее время альтернативой металлическому рекуператору являются отечественные оребренные пластинчатые теплообменники (ОПТ), характеристики которых превышают практически все показатели зарубежных аналогов. Особенностью и специфичностью рекуператоров ОПТ является фактор равномерного распределения входящих потоков (как по дымовой, так и по воздушной сторонам). Был сделан сравнительный анализ трубчатого рекуператора и ОПТ, из которого можно сделать вывод, что самый главный плюс рекуператора ОПТ по сравнению с металлическим рекуператором - это низкие масса и объем конструкции. Еще одним важным преимуществом ОПТ является достаточно низкая цена.

Основные результаты, следующие:

- проанализированы возможные пути экономии топлива при действующей технологии нагрева,
- обоснованы и выбраны для модернизации конструктивные элементы (волоконная изоляция на опорных трубах, более эффективные огнеупорные и теплоизоляционные материалы в кладке стен и свода, теплоутилизирующее устройство),
- представлено расчетное подтверждение эффективности установки рекуператора, а именно, на базе составления теплового баланса показано повышение основных технико-экономических показателей работы печи (КПД, КИТ, расхода топлива).

Библиографический список

1. Роликовая печь ШПС-1: технический паспорт / Ф.И. Медведев, Е.А. Нюняев, Е.А. Колотов; ОАО "Новокузнецкий металлургический комбинат". – Новокузнецк: 2004. – 23 с.
2. Современные горелочные устройства (конструкции и технические характеристики): справ.издание / А.А. Винтовкин [и др.] – М.: Машиностроение – 1, 2001. – 496 с.
3. Проведение тепловых испытаний печи с шагающими балками ШПС-2: отчет/ Е.А. Колотов, Е.В. Могильный, А.Ю. Сюсюкин; ОАО "ЕВРАЗ ЗСМК" - Новокузнецк: 2008. – 22 с.
4. Теплотехника металлургического производства. В 2т. Т.2: Конструкция и работа печей: учебное пособие для вузов / В.А. Кривандин, В.В. Белоусов, Г.С. Сборщиков [и др.] – М.: МИСИС, 2001. – 736 с.

5. Рекуператоры для промышленных печей : учеб. пособие / В.М. Павловец; Сиб. гос. индустр. ун-т. - Новокузнецк :Изд. центр СибГИУ, 2012. – 218 с.
6. Расчеты камерных печей: учебник / В.В Стерлигов, Т.А Михайличенко; Сиб. гос. индустр. ун-т. - Новокузнецк: СИБГИУ, 2010. – 110 с.
7. Гальчун А.Г., Михайличенко Т.А., Сюсюкин А.Ю. Снижение расхода топлива на нагревательных печах АО «ЕВРАЗ ЗСМК» // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всеросс. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – Вып.21. – Ч. II.2. Металлургические процессы, технологии, материалы и оборудование. – С.170-172.

УДК 662.741.34

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИ ПОДГОТОВЛЕННОЙ УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДОМЕННОГО КОКСА

Прошунин Ю.Е., Школлер М.Б.

*Общество с ограниченной ответственностью "Энергоресурс",
г. Новокузнецк, Россия, proshunin_ue@mail.ru
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, shkoller@mail.ru.*

Аннотация: В докладе рассмотрена историческая ретроспектива развития технологии термической подготовки угольной шихты перед коксованием. Приведена информация о создании на основе обобщения передового мирового опыта на Западно-Сибирском металлургическом комбинате (г. Новокузнецк) опытно-промышленной и промышленной установок (коксовые батареи 1 и 7). На основе результатов исследований показаны эффективность и перспективность процесса термической подготовки угольной шихты.

Ключевые слова: Угольная шихта, термическая подготовка, доменный кокс, качество, эффективность.

ABOUT THE EFFECTIVENESS OF THERMALLY PREPARED COAL CHARGE FOR THE PRODUCTION OF BLAST FURNACE COKE

Proshunin Y.E., Shkoller M.B.

*The limited liability company «Energoresurs»,
Novokuznetsk, Russia, proshunin_ue@mail.ru
Siberian state industrial University,
Novokuznetsk, Russia, shkoller@mail.ru*

Abstract: The article describes the historical retrospective of the development of technology thermal preparation of coal charge before coking. Provides information on the establishment on the basis of generalization of world experience in the West Siberian metallurgical plant (Novokuznetsk), the pilot and industrial facilities (coke oven batteries 1 and 7). Based on the results of studies have shown the efficacy and promising process of thermal preparation of coal charge.

Keywords: coal charge, thermal preparation, blast-furnace coke, quality, efficiency.

Получение чугуна невозможно без наличия качественного, отвечающего жестким современным требованиям кокса, выполняющего тройную функцию в доменной печи: источника тепла, восстановителя и разрыхлителя. Причем снижение расхода кокса от нормальных 500 кг/т чугуна за счет вдувания пылеугольного топлива выдвигает еще более жесткие требования к качеству каменноугольного кокса [1].

Повышению качества кокса препятствует состояние сырьевой базы российской коксохимии, не позволяющее производить кокс, качество которого соответствовало бы международному уровню и потребностям доменного производства из-за дефицита отдельных марок коксующихся углей и, самое

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ СВАРКЕ С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ ФИЗИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ. Ч.1. ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ПРИНЦИПЫ	271
Апасов А.М.	
МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ СВАРКЕ С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ ФИЗИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ. Ч.2. СИСТЕМА АКТИВНОГО ВОЗДЙСТВИЯ НА ЗАРОЖДАЮЩИЕСЯ ДЕФЕКТЫ.....	278
Апасов А.М.	
РАЗРАБОТКА НОВЫХ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОВШЕВОГО ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА И БАРИЙ - СТРОНЦИЕВОГО МОДИФИКАТОРА	288
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Михно А.Р., Уманский А.А.	288
ПРИМЕНЕНИЕ КАРБИДА ЦИРКОНИЯ: ОЦЕНКА, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОМИНИРУЮЩИХ ТЕНДЕНЦИЙ И ПЕРСПЕКТИВ	293
Алексеева Т.И., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАРИЙ-СТРОНЦИЕВОГО КАРБОНАТИТА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ НА ОСНОВЕ ШЛАКА ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКОМАРГАНЦА.....	296
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Бурнаков М.А., Михно А.Р., Федотов Е.Е.	
ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ И СОСТАВА ПРОДУКТОВ ПЛАЗМООБРАБОТКИ МИКРОПОРОШКА КАРБИДА КРЕМНИЯ	299
Руднева В.В., Галевский Г.В., Черновский Г.Н.	
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co.....	305
Гусев А.И., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Попова М.В., Корнев Е.С.	
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО СИНТЕЗА КАРБИДА ЦИРКОНИЯ	311
Алексеева Т.И., Галевский Г.В., Руднева В.В.	
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОБАЛЬТА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ МЕТАЛЛА НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V	316
Осетковский И.В., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Попова М.В., Корнев Е.С.	
ИЗГОТОВЛЕНИЕ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБИДА БОРА ГОРЯЧИМ ПРЕССОВАНИЕМ.....	321
Крутский Ю.Л., Непочатов Ю.К., Пель А.Н. Черкасова Н.Ю.	
О ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ WO ₃ ПРИ ДУГОВОМ РАЗРЯДЕ	324
Бояринцев С.Е., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Наумчик А.Д., Усольцев А.А.	
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФЛЮСОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ НАПЛАВКЕ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ	327
Уманский А.А. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Соколов П.Д., Думова Л.В.	
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СВАРКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	332
Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Патрушев А.О., Усольцев А.А.	
ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА НА ОСНОВЕ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ СИЛИКОМАРГАНЦА	336
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Федотов Е.Е., Непомнящих А.С.	
 СЕКЦИЯ 4: ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И АГРЕГАТАХ. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ.....	
 РОЛЬ ТЕПЛОФИЗИКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В МЕТАЛЛУРГИИ.....	
Дружинин Г.М., Зайнуллин Л.А., Казяев М.Д., Лисиенко В.Г., Спирин Н.А., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г.	
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ДИАГНОСТИКЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫХ АГРЕГАТОВ НА УЧАСТКЕ МНЛЗ – НАГРЕВАТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО	348
Бирюков А.Б., Иванова А.А.	
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	352
Матюхин В.И., Ярошенко Ю.Г., Матюхин О.В., Журавлев С.Я	
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АГЛОМЕРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ О МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ	358
Петрышев А.Ю., Колясников А.Ю., Лопатин А.С., Клейн В.И., Берсенева И.С.	
ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ.....	362
Рощупкина Е.Ю., Кожухова В.И., Кожухов А.А., Бондарчук А.А.	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	364
Михайличенко Т.А., Сюсюкин А.Ю., Гальчун А.Г.	