

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. Темлянцев, 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

В.И. Ленина», 2011. – 396 с. SBN 978-5-89482-789-6.

6. Соколов А.К. К расчету температуропроводности материалов численно-аналитическим методом по несимметричному температурному полю/ "Пожарная и аварийная безопасность" сборник материалов XI Международной научно-практической конференции// Иваново ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2016. С. 439-442.

УДК 669.046

СНИЖЕНИЕ УГАРА МЕТАЛЛА В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ С МЕХАНИЗИРОВАННЫМ ПОДОМ НА ОСНОВЕ ПОВЫШЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК

Кузнецова О.В., Коноз К.С., Темлянцев М.В., Темлянцев Н.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

***Аннотация:** В работе проведено исследование влияния неравномерности нагрева заготовок по длине на угар металла в методических печах с механизированным подом. Установлено, что повышение неравномерности нагрева поверхности заготовки приводит к росту угара, причем эта зависимость имеет нелинейный характер.*

***Ключевые слова:** методические печи, неравномерность нагрева, угар стали.*

REDUCTION OF IRON LOSSES IN THE CONTINUOUS FURNACE WITH A MECHANIZED HEARTH BOTTOM BY INCREASING THE UNIFORMITY OF BILLETS HEATING

Kuznetsova O.V., Konoz K.S., Temlyantsev M.V., Temlyantsev N.V.

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

***Abstract:** the work investigated the effect of the uneven heating of the workpieces along the length of the metal oxidation in the methodical furnaces. It is found that increasing the uneven heating of the surface of the workpiece leads to increased oxidation, and this dependence has nonlinear character.*

***Key words:** reheating furnace, uneven heating, waste steel.*

Слябы и квадратные заготовки перед прокаткой нагревают в методических печах различных конструкций. Наиболее перспективными из них являются методические печи с механизированным подом (печи с шагающим подом ПШП и печи с шагающими балками ПШБ). Одним из важных показателей качества нагрева металла [1] в печах, наряду с отсутствием трещин от температурных напряжений [2], является равномерность распределения температур по толщине, длине и периметру заготовок. Для методических печей с механизированным подом характерна достаточно высокая неравномерность нагрева металла по длине заготовок, причиной которой являются зазоры между элементами шагающего пода или водоохлаждаемые шагающие балки [3, 4].

В ПШП возникновение локальных участков заготовки с пониженной температурой («темных пятен») может быть связано с несовершенством конструкции или техническим состоянием водяных затворов. Например при неудовлетворительной работе гидрозатворов, в зависимости от режима давления в печи, через зазоры между шагающими элементами пода может происходить подсос атмосферного воздуха, который вызывает охлаждение участка заготовки, расположенного над зазором.

В ПШБ темные пятна возникают в местах контакта заготовок с водоохлаждаемыми балками, причем величина неравномерности в значительной степени зависит от конструкции и материала рейтеров, устанавливаемых на балки.

Характерно, что неравномерность нагрева заготовок проявляется и в процессе прокатки. При фиксировании токов I двигателей прокатного стана отчетливо видны низкочастотные колебания, число которых соответствует количеству локальных участков проката с пониженной температурой, а величина колебания нагрузки зависит от величины колебания температуры.

Высокая температурная неравномерность по длине заготовок имеет ряд негативных последствий, отрицательно влияющих на работу нагревательных печей, прокатного стана и качество металло-

продукции:

- неравномерность геометрических размеров и массы погонного метра по длине раската;
- периодическое увеличение усилий прокатки, и как следствие, увеличение вероятности поломок валков;
- увеличение расхода электроэнергии на прокатку профилей;
- исключение возможности расширения сортамента за счет прокатки высокоточных и облегченных и облегченных профилей, стабильного выполнения размеров готового проката в поле минусовых допусков;
- создает колебания механических характеристик проката по длине раската;
- усложняет настройки стана, что приводит к повышению брака и второго сорта по геометрическим размерам профилей;
- повышенный угар и расход топлива при нагреве.

Чем меньше температура металла в области темного пятна, тем выше сопротивление металла пластической деформации, усилия P стана и расход электроэнергии на прокатку. Снижение температуры, например, стали марки 3пс с 1300 до 1150 °С приводит к увеличению сопротивления стали пластической деформации, а соответственно и усилий прокатки в 1,55 раза, в среднем, примерно на 3 % на каждый 10 °С. В связи с этим необходимость получения требуемой среднемассовой конечной температуры металла (чтобы прокатать темные пятна) приводит к неизбежности повышения температуры нагрева остальной части заготовки, где нет темных пятен. Это приводит к общему росту угара, обезуглероживания стали, ухудшает условия работы футеровки пода печи, снижает срок ее службы.

На рисунке 1 схематично представлена зависимость усилий прокатки и нагрузки электродвигателей клетки от температуры заготовки для различной неравномерности температуры по длине заготовки. При одинаковой средней температуры металла более равномерный прогрев (рисунок 1, в) приводит к меньшей вероятности роста зерна, перегрева, пережога стали и оплавления окалины. Он позволяет интенсифицировать обжатия и повысить производительность процесса прокатки. Высокая неравномерность нагрева (рисунок 1, а) напротив, повышает вероятность возникновения брака нагрева, приводит к значительным колебаниям усилий стана и нагрузки электродвигателей.

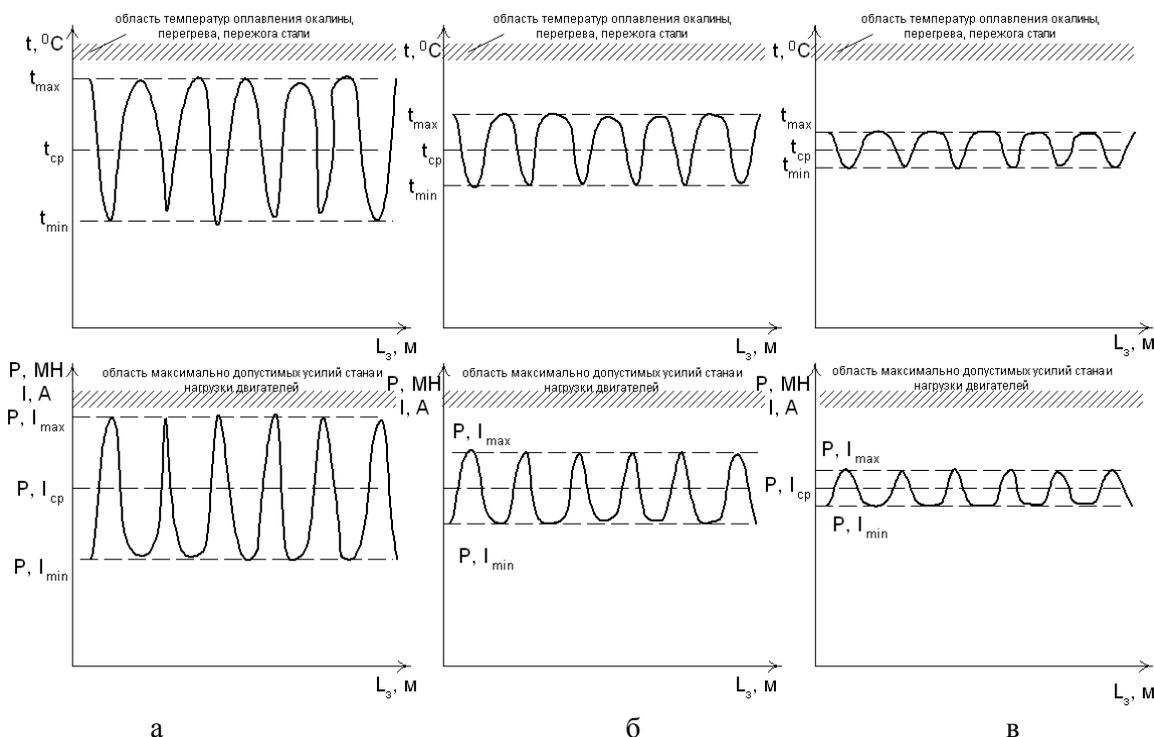


Рисунок 1 – Зависимость усилий прокатки и нагрузки электродвигателей клетки от температуры заготовки для различной неравномерности температуры по длине заготовки

В настоящей работе проведено исследование влияния неравномерности нагрева поверхности заготовки на угар металла. На основе экспериментальных данных замеров тепловизором температур поверхности заготовок, нагретых в печи с шагающим подом одного из российских металлургических предприятий проведен статистический анализ и с помощью метода наименьших квадратов получено уравнение регрессии распределения температуры t по длине l заготовки :

$$t = t^0 + A \cdot \cos(B \cdot l) \quad (1)$$

где t^0 – средняя температура поверхности заготовки, °С;

A и B – эмпирические коэффициенты зависящие от режима нагрева и количества зазоров между элементами пода (участков тепловода).

Для примера на рисунке 2 представлены результаты одного из вариантов статистической обработки данных. В уравнении (1) $t^0 = 1214$ °С; $A=60$; $B=3,76$. Максимальное значение температуры поверхности 1274 °С, минимальное 1154 °С, перепад температур Δt соответственно 120 °С. Зависимость имеет вид косинусоиды. Торцы заготовок характеризуются более высокой температурой нагрева, а количество температурных минимумов (темных пятен) соответствует количеству и месту расположения зазоров между элементами пода, оказывающими охлаждающий эффект.

Используя уравнение (1) и данные по кинетике окисления кремнистых рессорно-пружинных сталей [5 – 10] провели оценку влияния неравномерности нагрева на угар металла. Сравнительные расчеты вели на примере выдержки стали марки 60С2ХА при соответствующей температуре по длине заготовки в течении 1 мин.

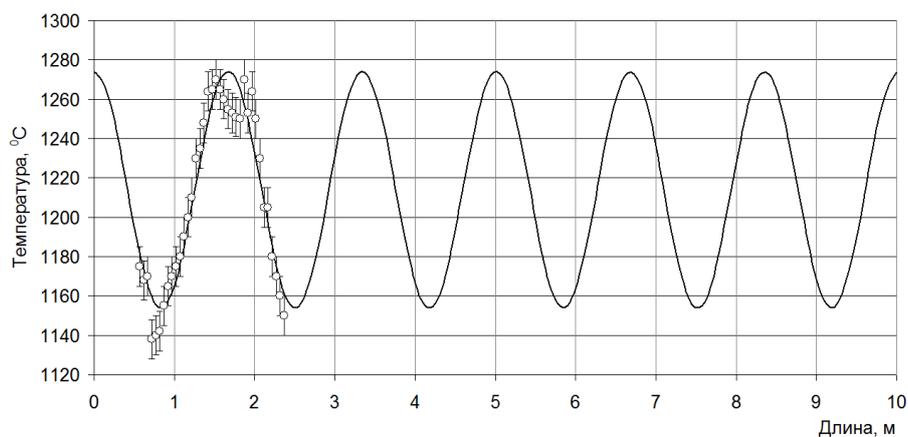


Рисунок 2 – Распределение температуры по длине заготовки (точки – экспериментальные данные, сплошная линия – расчетные)

На рисунке 3 показаны результаты исследования. Установлено что повышение неравномерности нагрева поверхности заготовки приводит к росту угара, причем эта зависимость имеет нелинейный характер. При одинаковой средней по длине температуре 1214 °С и перепаде температур 100 °С угар возрастает на почти 2 % по сравнению с равномерным нагревом, а при перепаде в 200 °С – на 7 %.

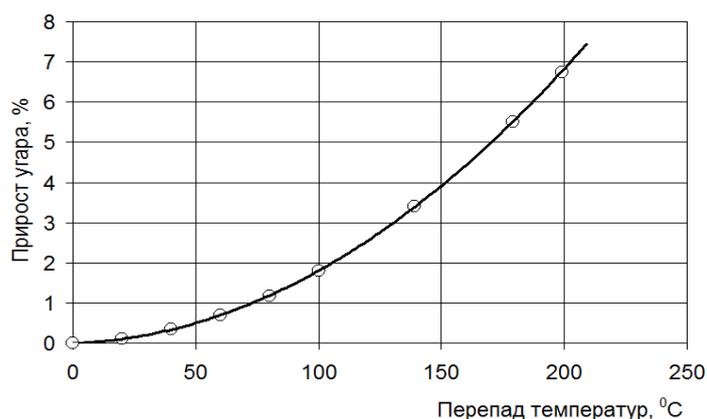


Рисунок 3 – Зависимость прироста угара от неравномерности нагрева поверхности заготовки

Библиографический список

1. Нагрев под прокатку непрерывнолитых заготовок рельсовой электростали / М.В. Темлянец, В.В. Гаврилов, Л.В. Корнева, А.Ю. Сюсюкин, Н.В. Темлянец // Изв. вузов. Черная металлургия. 2005. № 6. С. 69, 70.
2. Темлянец М.В., Стариков В.С. Исследование разрушения заготовок из конструкционных рессорно-пружинных сталей с катаной и литой структурой при комбинированных тепловых обработ-

ках // Изв. вузов. Черная металлургия. 2003. № 4. С. 56-58.

3. Освоение печей с шагающим подом и снижение расхода топлива / А.А. Кугушин, Б.И. Сельский, Б.Н. Серебренников и др. // Сталь. 1980. №10. С. 881 – 884.

4. Освоение и исследование нагревательных печей с шагающими балками / В.Л. Гусовский, Л.А. Пинес, Э.И. Спивак и др. // Сталь. 1970. №9 С. 849 – 853.

5. Темлянцев М.В., Темлянцев Н.В. Высокотемпературное окисление и обезуглероживание кремнистых пружинных сталей // Заготовительные производства в машиностроении. 2005. № 3. С. 50–52.

6. Темлянцев М.В., Темлянцев Н.В. Исследование химического состава окалина пружинной стали 60С2 // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 2. – С. 75 – 76.

7. Высокотемпературное окисление и обезуглероживание рессорно-пружинной стали марки 60С2ХА / М.В. Темлянцев, К.С. Слажнева, А.Ю. Дзюба, А.А. Уманский, Н.В. Темлянцев // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. – Новокузнецк: СибГИУ, 2014. – Вып. 33. – С. 55–63.

8. Темлянцев М.В., Михайленко Ю.Е. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением. – М.: Теплотехник, 2006. – 200 с.

9. Нагрев стальных слябов / В.Н. Перетягко, Н.В. Темлянцев, М.В. Темлянцев, Ю.Е. Михайленко – М.: Теплотехник, 2008. – 192 с.

10. Филиппова М.В., Перетягко В.Н., Темлянцев М.В. Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2016. – 269 с.

УДК 536.2:669.046: 621.1.004

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУР И ТОЛЩИН ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЗОН ПРОХОДНЫХ ПЕЧЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Соколов А.К.

*Ивановский государственный энергетический университет,
г. Иваново, Россия, sokolov@bjd.ispu.ru*

Аннотация: Предложены формулы для оценки эффективности тепловой изоляции зон многозонных печей (и теплоиспользующих установок) для выбора наиболее эффективных энергосберегающих мероприятий. Выполнены расчетные исследования зависимостей эффективности тепловой изоляции от температур газов в зонах печи и толщин тепловой изоляции.

Ключевые слова: многозонные печи, тепловая изоляция, эффективность, энергосбережение, расчет, исследование

A STUDY OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND THICKNESS OF THERMAL INSULATION ZONES WALK-THROUGH FURNACES ON THE EFFECTIVENESS OF ENERGY EFFICIENCY

Sokolov A. K.

*Ivanovo state power University
Ivanovo, Russia, sokolov@bjd.ispu.ru*

Abstract. The proposed formula to assess the effectiveness of the thermal insulation zones multi-zone ovens (and installations) to select the most effective energy saving measures. Performed computational studies of the dependency of the efficiency of thermal insulation from the temperature of the gases in the zones of the furnace and thicknesses of thermal insulation.

Keywords: multi-zone furnace, thermal insulation, efficiency, energy saving, calculation, study

Оптимальное проектирование нагревательных печей по минимуму дисконтированных затрат в каждой из зон печи представляет довольно сложную задачу. Для упрощения задачи представляет интерес оценка эффективности энергосберегающих мероприятий с использованием сравнительно простых математических моделей тепловой работы нагревательных газовых печей [1].

На эффективность энергосбережения (снижения расхода топлива) оказывают влияние темпе-

| | |
|--|-----|
| ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИ ПОДГОТОВЛЕННОЙ УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДОМЕННОГО КОКСА | 369 |
| Прошунин Ю.Е., Школлер М.Б. О РЕШЕНИИ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПО ТЕМПЕРАТУРНОМУ ПОЛЮ СТАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ, ИЗМЕРЕННОМУ В ТРЕХ ТОЧКАХ..... | 373 |
| Соколов А.К. СНИЖЕНИЕ УГАРА МЕТАЛЛА В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ С МЕХАНИЗИРОВАННЫМ ПОДОМ НА ОСНОВЕ ПОВЫШЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК | 378 |
| Кузнецова О.В., Коноз К.С., Темлянец М.В., Темлянец Н.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУР И ТОЛЩИН ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЗОН ПРОХОДНЫХ ПЕЧЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ | 381 |
| Соколов А.К. СЕЛЕКТИВНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ | 386 |
| Ахметвалиева З.М., Куленова Н.А., Такасаки Я., Мамяченков С.В., Анисимова О.С., Мудаширу Л.К, Фокина Е.Л. МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ЛОМ – ВАЖНЫЙ ВТОРИЧНЫЙ РЕСУРС УЛУЧШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И СБЕРЕЖЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ РЕСУРСОВ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ | 392 |
| Гордон Я.М., Спирин Н.А., Швыдкий В.С, Ярошенко Ю.Г. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА С ЦЕЛЮ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ | 396 |
| Свиридова Т.В., Боброва О.Б., Ильина О.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОКОКСА В КОКСОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ..... | 400 |
| Павлович Л.Б., Ермолова Н.Ю. Страхов В. М. МИКРОКРЕМНЕЗЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОБОВАНИЯ И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРСПЕКТИВ | 406 |
| Руднева В.В., Галевский Г.В., Галевский С.Г. ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩЕЙ ОКАЛИНЫ ПРОКАТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ АО «СЕВЕРСТАЛЬ»..... | 413 |
| Бульжёв Е.М., Кокорин В.Н., Еменев П.В., Григорьев В.Ф. ИЗМЕНЕНИЕ УСЛОВИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СЛОЯ КУСКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ВЕРТИКАЛЬНОМ БУНКЕРЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ДУТЬЯ..... | 416 |
| Дудко В.А., Матюхин В.И., Матюхина А.В. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧАХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ВИДЕ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ И ИНЖЕКТОРОВ | 420 |
| Корнеев С.В., Трусова И.А. БАЛАНС ФТОРА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ В ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАХ С АНОДОМ СОДЕРБЕРГА..... | 425 |
| Галевский Г.В., Минцис М.Я. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ И КОНСТРУКЦИИ КОЛЬЦЕВОЙ ПЕЧИ ОАО «ЧТПЗ» С ЦЕЛЮ УЛУЧШЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕЕ РАБОТЫ | 427 |
| Щукина Н.В., Черемискина Н.А., Лошкарев Н.Б., Лавров В.В. РЕКОНСТРУКЦИЯ АСПИРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ В ЦЕХЕ ТОПЛИВОПОДАЧИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЭЦ г. НОВОКУЗНЕЦКА..... | 432 |
| Соловьев А.К., Полынцев М.П. К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПЫЛЕВЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ В МЕТАЛЛУРГИИ КРЕМНИЯ..... | 437 |
| Немчинова Н.В., Тютрин А.А., Рыбина М.Н. ИЗВЛЕЧЕНИЕ ФТОРА ИЗ УГОЛЬНОЙ ЧАСТИ ОТРАБОТАННОЙ ФУТЕРОВКИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ..... | 441 |
| Немчинова Н.В., Тютрин А.А., Сомов В.В., Бараускас А.Э., Яковлева А.А. ПРИМЕНЕНИЕ УЛОВЛЕННОЙ ПЫЛИ ОТ ОТКРЫТЫХ РУДОВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ | 446 |
| Полтойнин А.И., Шупик А.Ю. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ РАБОТОЙ ШАХТНОЙ ПЕЧИ..... | 450 |
| Фатхутдинов А.Р., Швыдкий В.С., Спирин Н.А. | |

Научное издание

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

Труды XX Международной научно-практической конференции

Часть 1

Под общей редакцией профессора Е.В. Протопопова

| | |
|----------------------|-----------------|
| Технический редактор | В.Е. Хомичева |
| Компьютерная верстка | Н.В. Ознобихина |

Подписано в печать 23.10.2017 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 27,0 Уч.-изд. л. 29,4 Тираж 300 экз. Заказ № 521

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ