Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2022»

Труды

XXIII Международной научно-практической конференции

23– 25 ноября 2022 г.

Часть 1

Новокузнецк
2022

ISSN 2542-1670

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия
д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор С.В. Коновалов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., доцент Д.А. Чинахов,
к.т.н., доцент Р.А. Шевченко, к.т.н., доцент О.А. Полях,
к.т.н., доцент Е.Н. Темлянцева, д.т.н., доцент В.В. Зимин

М 540 Металлургия : технологии, инновации, качество : труды XXIII Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Часть 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2022. – 390 с. : ил.

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и практики металлургических процессов, технологий обработки материалов, автоматизации, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов металлургического производства.

Конференция проводится ежегодно.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

АДМИНИСТРАЦИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА КУЗБАССА

ФГБОУ ВО «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

АО «РУСАЛ-НОВОКУЗНЕЦК»

АО «КУЗНЕЦКИЕ ФЕРРОСПЛАВЫ»

АО «НЗРМК им. Н.Е. КРЮКОВА»

ЛЯОНИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ, Г. АНЬШАНЬ, КНР

ОАО «ЧЕРМЕТИНФОРМАЦИЯ»

ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ»

ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК СИБГИУ»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ «КУЗБАСС»

АО «КУЗБАССКИЙ ТЕХНОПАРК»

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2022

УДК 669.047

ВЫПЛАВКА ЧУГУНА ДЛЯ СМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИЗЛОЖНИЦ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ СРЕДНЕЙ И МАЛОЙ ЕМКОСТИ

Лубяной Д.Д.[1], Кузнецов И.С.[1], Кухаренко А.В.[3], Князев С.В.[1], Лубяной Д.А.[2]

[1]Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
[2]Филиал Кузбасского иосударственного пехнического университета им. Т.Ф. Горбачева, г. Прокопьевск, Россия, lubjanoy@yandex.ru
[3]ООО «РУСАЛ ИТЦ» г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. *В статье представлен опыт производства сменного оборудования и изложниц в индукционных печах средней и малой емкости. В статье рассмотрено применение десульфурации металла при плавке чугуна в индукционных печах рафинирования при продувке чугуна азотом. Представлены результаты по применению рафинирования чугуна.*

Ключевые слова: *индукционная печь, чугун, десульфурация, продувка, разливка, индуктор, стойкость.*

SMELTING OF CAST IRON FOR REPLACEABLE EQUIPMENT AND MILLS IN INDUCTION FURNACES OF MEDIUM AND SMALL CAPACITY

Lubyanoi D.D.[1], Kuznetsov I.S.[1], Kukharenko A.V[3]. , Knyazev S.V.[1], Lubyanoi D.A.[2]

[1]Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia,
[2]FILE of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Prokopyevsk, Russia lubjanoy@yandex.ru,
[3]OOO "RUSAL ITC" Novokuznetsk

Abstract. *The article presents the experience of production of replaceable equipment and mills in induction furnaces of medium and small capacity. The article discusses the use of metal desulfurization during the melting of cast iron in induction refining furnaces when purging cast iron with nitrogen. The results on the use of pig iron refining are presented.*

Keywords : *induction furnace, cast iron, desulfurization, purge, casting, inductor, durability.*

В настоящее время в промышленном регионе, таком как Кузбасс возрождается литейное производство черных металлов. При возрождении этого производства появляются ряд особенностей, которые будут характерны и

для других регионов. Рассмотрим их подробнее.

В промышленности чугуны нашли широкое применение для изготовления термостойких деталей [1-2]. Серый чугун, обладает хорошими прочностными характеристиками и высокой термической стойкостью [3].

Рассмотрим особенности технологии плавки в отдельных литейных цехах. Экономическая целесообразность в создании малых производственных предприятий по литью, заключается в том, что данные предприятия более «гибки» и могут в относительно короткие сроки выполнить заказ на небольшую партию изделий.

Это весьма актуально для машиностроительной отрасли.

Для крупных литейных предприятий, например на ОАО «Евраз ЗСМК» с большим количеством заказов на изготовление одной линейки изделий, нет необходимости заниматься штучным и малосерийным изготовлением литья, для обеспечения разовых заказов машиностроительных предприятий.

Отработка и внедрение технологии в больших производствах, а также выпуск лишнего (для нужд заготовки) металла из многотоннажных плавильных агрегатов, во время изготовления разовых партий - все это снижает экономическую целесообразность в ведении разовых проектов для крупных литейных цехов. Поэтому, мы предлагаем более гибкий подход, который поможет научно-производственным и машиностроительным предприятиям получить желаемую продукцию, через строительство малых заводов с литейным и металло-обрабатывающим участком. Стоимость изделия будет безусловно выше, чем единица в партии изготавливаемой на крупном заводе (за счет разовой разработки проекта, отработки технологии, изготовления литейной оснастки, токарных и фрезерных работ и проч.), однако скорость от заказа, до производства будет гораздо выше чем у крупных предприятий. Также целесообразно отметить тот момент, что после отработки технологии на малом литейном предприятии, технологию будет легче адаптировать на большом литейном заводе, оперируясь на эти уже известные и отработанные методы обработки металла.

Эти подходы характерны для небольших литейных предприятий, образованных как правило на ремонтно-механических заводах. Для малого литейного предприятия достаточно 2-х индукционных печей малой и средней вместимости, формовочного и литейного участка, цеха оснастки с модельным участком, склада шихтовых материалов и металлообрабатывающего цеха. Однако, для деятельности малых литейных цехов необходимо современное оборудование по контролю состава металла в шихте, во избежание изготовления брака и снижения издержек. Как показал опыт получение изделий нужного химического состава без экспресс анализа можно только при производстве серого чугуна и только при известном составе исходной шихты. Отсутствие литейного чугуна на рынке и использование чугунного лома привело к значительному возрастанию содержания серы в чугуне. проблема [1] увеличения содержания серы в чугунном ломе, достигая уровня, как показывает практика предприятий 0,10- 0,17 % . По данным работ [1-2] за по-

следние годы в чугунах возросло почти в 10 раз ,что связано с применением при плавке чугуна в вагранке кокса, а также использовании в качестве шихты в основном только лома изделий вагранoчной плавки. Удаление серы – довольно сложная металлургическая задача ,решение которой связано с немалыми затратами энергоносителей и реагентов, что может привести к удорожанию продукции , и часто делает продукцию мало рентабельной. Все это требует разработку и внедрение новых ресурсосберегающих технологий [3-6] одними из которых является десульфурация металла в индукционных печах. Это тем более становится актуальным в связи с появление в промышленности индукционных плавильных установок с широким и технологическими возможностями получения сплавов черных и цветных металлов [7-9]. Проанализируем различные способы десульфурации металла.

Применение для десульфурациии кальцинированной соды является доступной технологий . Кальцинированная сода (Na_2CO_3) также является сравнительно дешевым реагентом. После обработки чугуна содой шлаки имеют малую вязкость, в результате чего потери чугуна с ковшевым шлаком практически полностью отсутствуют.

Основными недостатками применения кальцинированной соды в качестве десульфуратора чугуна являются:

1. Ограниченная глубина десульфурации металла при подаче соды в ковш под струю чугуна; Так при расходе соды 5кг на 500 кг ковш десульфурация металла составляет от50 до 80 % в зависимости от исходного содержания серы.

2. Ресульфурация чугуна после обработки вследствие понижения основности ковшевого шлака в результате разрушения футеровки ковша.

3. Ухудшение санитарно-гигиенических условий в цехе (рисунок 1);

4.Большие потери температуры чугуна.

Рисунок 1 - Пылегазовые выбросы при обработке чугуна содой

Необходимо отметить , что в небольших литейных цехах, находящихся

обособленно от металлургических предприятий имеются особенности логистического обеспечения, которые можно выразить в следующем:

Практически полное отсутствие стабильной металлошихты (обрези , которая есть на металлургических предприятиях). Отходы, образующиеся на машиностроительных предприятиях как правило разнородны. Они требуют раздельного складирования. Сложность проблемы с обеспечением ферросплавами. Требуется использовать ресурсосберегающие, мало окислительные технологии. По возможности использовать прямое легирование металла из руд и концентратов. Для получения качественного металла целесообразно использовать экстракционное рафинирование металла от серы. Практически полное отсутствие литейного чугуна, сокращение ,в связи с широким внедрением МНЛЗ использования боя изложниц, увеличение в шихте при выплавке природнолегированных чугунов, например титаном и ванадием. Эти чугуны можно использовать ограниченно и только в качестве частичной замены шихты при производстве конструкционных марок чугунов СЧ-20- СЧ-30.Таким образом, целесообразным является проведение исследований по комплексной оценке показателей и параметров десульфурации чугуна содой и выявлению условий глубокой десульфурации металла (до 0,005 - 0,020 % серы) в кислой индукционной печи при выплавке чугуна.

Рисунок 2 - Трещина в изделии из-за высокого содержания серы

Удаление серы –довольно сложная металлургическая задача, решение которой связано с немалыми затратами энергоносителей и реагентов, что может привести к удорожанию продукции , и часто делает продукцию мало рентабельной из-за разрушения изделелия с повышенным содержанием серы (рисунок 2). Все это требует разработку и внедрение новых ресурсосберегающих технологий [3-10] одними из которых является десульфурация металла в индукционных печах. Это тем более становится актуальным в связи с появление в промышленности индукционных плавильных установок с широким и технологическими возможностями получения сплавов черных и

цветных металлов [6-8]. Проанализируем различные способы десульфурации металла массопереноса серы необходимо дополнительное перемешивание ванны ,например металлическим или графитовым стержнем, продувкой расплава инертным газом и др. Нами предложена ,успешно испытана и внедрена на ряде предприятий технология рафинирования расплава чугуна от серы основными шлаками реализованному в кислых индукционных печах. Сущность технологии заключается в следующем. При заполнении тигля печи [4] на (60…70) % в ванне печи существует уже одноконтурная циркуляция металла, которая при нагреве металла до температуры 1420 ^{0}С интенсивно дробит шлаковый покров и затягивает частицы шлака вглубь металла. Так как частица шлака вовлекается вглубь металла, то она экранируется жидким металлом от футеровки печи. Данный технологический прием позволяет использовать основные шлаки, которые не будут взаимодействовать с кислой футеровкой.

Сущность экстракционного рафинирования [4,6] применительно к процессу десульфурации состоит в следующем: частицы известкового шлака вовлекаются электромагнитными потоками вглубь индукционной печи. Поверхностный слой частиц шлака раскисляется углеродом металла и кремнием. Вследствие этого растворимость серы резко увеличивается, и поверхностный слой частиц шлака поглощает серу из металла. Далее потоки металла выносят насыщенные серой частицы шлака на поверхность, контактирующую с атмосферой печи, где поверхностный слой частиц шлака окисляется кислородом атмосферы. В результате растворимость серы в поверхностном слое резко снижается, и она, выделяясь из шлака, окисляется кислородом до SO_2 и удаляется в атмосферу печи. Данный процесс многократно повторяется. При наведении шлака целесообразно применение комковой извести вместо мелочи. За время обработки куски извести не успевают полностью растворить и не образуют гомогенного шлакового расплава, который при выдержке во время скачивания шлака может попадать на футеровку и разъедать ее. Как показали эксперименты, такой шлак в процессе работы с комковой известью не образуется, чем и объясняется тот факт, что данный способ десульфурации металла практически несказался на стойкости футеровки печи. Анализ проб шлака, отобранных вовремя и после десульфурации, показал, что в процессе обработки данным способом шлак, как правило, гетерогенный, состоящий из отдельных мелких (1…4 мм) кусков извести с ошлакованной поверхностью. Несмотря на это,они обеспечивают высокую степень десульфурации . Для повышения эффективности данной технологии статистическими методами было оценено влияние различных технологических параметров на скорость и степень десульфурации металла в кислых индукционных печах промышленной частоты. Сопоставим показатели работы и кинетические показатели печи ИЧТ-10 М промышленной (50 Гц) частоты и средней (250Гц) частоты печи MFTGe6.000.Анализ зависимостей обработки опытных данных показал, что наибольшее влияние на степень десульфурации оказывает основность шлака и степень заполнения тигля .Это объясняется тем, что с уменьшением заполнения тигля возрастает удельная мощ-

ность перемешивания металла. Как известно, среднечастотные печи обладают большей удельной мощностью, например индукционная печь промышленной частоты ИЧТ-10М обладает удельной мощностью при полном наполнении тигля (200…300) кВт/т, при неполном наполнении тигля (400…700) кВт/т, печь средней частоты MFTGe6.000 обладает удельной мощностью (800…900) кВт/т. Поэтому представляет интерес оценить влияние мощности перемешивания на кинетические параметры металлургических реакций, в частности десульфурации. Анализ этих результатов показал, что скорость десульфурации чугуна при увеличении мощности перемешивания с (200…300) кВт/т до (850…900) кВт/т возрастает на порядок с (0,0005…0,00072) %/мин. до (0,0084…0,0096) %/мин. При этом отмечено значительное различие изменения скорости удаления серы при различном наполнении тигля в индукционных печах промышленной и средней частоты. Так, в индукционных печах промышленной частоты при полном наполнении тигля удаления серы практически не происходит, так как инертный холодный шлак плавает на поверхности тигля и не вступает в реакцию с металлом. При снижения наполнения тигля до 80 % значительно возрастает интенсивность перемешивания, шлак нагревается и удаление серы происходит по классическому механизму при переходе серы из металла в шлак, плавающий на поверхности металла, скорость десульфурации при этом незначительна и не превышает 0,0005 %/мин. При наполнении тигля (60…70) % и менее значительно изменяется скорость десульфурации чугуна. Это вызвано изменением механизма удаления серы, при переходе от классического к экстракционному рафинированию металла [4-6]. Скорость удаления серы при этом значительно увеличивается и достигает при наполнении тигля 50 % 0,00072%/мин, а при 30 % – 0,0015 %/мин. Для оценки развития процессов поданному механизму проведено исследование на содержание SO_2 в атмосфере печи и газоотводящих трактах с помощью универсального газоанализатора УГ-2. Как показали балансовые плавки и исследование газосодержания в отходящих газах от индукционной печи ИЧТ-10М, по данному механизму удаляется от 16 до 80% от удаленной серы, при этом удельное содержание SO_2 в отходящих газах увеличивается почти в 3 раза. Большему значению десульфурации по данному механизму соответствует меньшее заполнение тигля. Шлак в таких условиях является не аккумулятором удаленной серы, а промежуточной фазой, через которую сера транспортируется в газовую фазу. Вероятно, 0,0015 %/мин – это технологический предел скорости удаления серы в индукционных печах промышленной частоты, т.к. наполнение тигля менее 30 % технологически нецелесообразно. Дальнейшее повышение скорости возможно лишь при повышении мощности на среднечастотных печах. Исследования на среднечастотной печи MFTGe6.000 емкостью 6 т проводились при наполнении тигля от 80 до 100 %.

При оценке технологичности процесса десульфурации в различных печах отмечается, что степень десульфурации чугуна 50 % и более на печах промышленной частоты достигается при наполнении тигля (40…50) %, а на среднечастотных печах MFTGe6.000 при заполнении тигля (80…95) %, что

значительно проще реализовать в технологии действующих цехов. Даже при полном наполнении тигля на среднечастотных печах MFTGe6.000 скорость удаления значительно выше, чем в индукционных печах промышленной частоты и достигает 0,0044 %/мин. [4] Шлак частично плавает на поверхности металла, и частично вовлекается в объем металла. Десульфурация в данном случае происходит по смешанному механизму, включая и экстракционное рафинирование чугуна с переходом серы в газовую фазу. При снижении заполнения тигля до уровня (90…95) % шлак вовлекается в объем металла и в печи преобладает экстракционное рафинирование с переводом серы в газовую фазу, скорость десульфурации при этом возрастает до 0,0096 %/мин.Таким образом, индукционные печи средней частоты MFTGe6.000 позволяют резко интенсифицировать физико-химические процессы, происходящие на границе фаз между металлом и шлаком, что позволяет сознательно интенсификации движения ванны при увеличении мощности и уменьшении степени наполнения тигля печи. Данные технологические приемы реализованы и на печах промышленной частоты, но при меньшем наполнении тигля. Оптимизация процесса по построенным регрессионным и математическим моделям и опытным данным позволила найти технологические режимы, стабильно обеспечивающие получение низкосернистого чугуна в индукционных печах промышленной и средней частоты [4]. Для обеспечения наилучшей десульфурации необходимо выдерживать следующие параметры (для индукционной печи средней частоты параметры приведены в скобках):

- степень заполнения тигля печи 50 % (80…95 %);
- основность шлака 1,4…1,5;
- температура обработки 1420…1430 ^{0}C; (1430…1520 °C);
- окисленность шлака не должна превышать 0,5 % .

Данные технологии позволяют получать чугун на выпуске из печи с содержанием серы 0,005-0,050 % в зависимости от требуемых задач и исходного содержания серы в чугуне. На рисунке 3 представлена шихта для выплавки металла в индукционной печи для производства чугуна.

Рисунок 3 - Шихта перед загрузкой в индукционную печь

На рисунке 4 представлена готовая продукция из качественного чугуна

Рисунок 4 - Термостойкие отливки из чугуна

Необходимо отметить ,что после отливки изделий необходимо произвести " вылеживание" изделий для снятия напряжений , возникающих при отливке. Как показыли исследования, выполненные на ОАО "ЗСМК" на поддонах для сквозных изложниц эта операция позволяет значительно на 27% повысить эксплуатационную стойкость поддонов.

Результаты и обсуждение

Таким образом, в статье рассмотрены вопросы производства чугуна в малых литейных цехах. Установлено, что для получения чугуна высокого качества необходимо проводить десульфурацию металла как в печи, при неполном заполнении тигля, так и при необходимости, на выпуске чугуна содой.

Кроме того металла в литейных цехах в настоящее время имеет ряд особенностей и предполагает широкое применение индукционных печей для:

1 Экстракционного рафинирование металла
2. Прямого легирования из руд и концентратов
3. Применение малоокислительных технологий
4. Применение внепечной обработки
5. Применение экономнолегированных чугунов
6. Применение термовременной обработки расплава

Библиографический список

1.Журило А.Г.,Журило Д.Ю. Изменение содержания серы в амортизационном ломе чугуна за последние 100 лет // Черные металлы .2014.№1 с23-27.

2. Справочник по чугунному литью / под ред.Н.Г.Гиршовича –Л.: Машиностроение ,1978.-757с.

3. Результаты внедрения ресурсосберегающей технологии в литейном цехе ОАО «ЗСМК» / Чичков В. И., Лубяной Д. А., Самсонов Ю. Н. [и др.]. // Литейщик России. – 2004. – № 7. С. 27-29.

4. Лубяной Д.А. Металлургические возможности индукционных печей промышленной и средней частоты // Литейщик России.– 2007.– № 3. – С. 30-32.

5.Лубяной Д. А.,Лубяная С.В. Анализ металлургических возможностей индукционных печей промышленной и средней частоты / Проблемы черной металлургии и материаловедения//– 2013. – № 4. – С. 36-39.

6.Теоретический и экспериментальный анализ процесса перевода индукционной тигельной печи из разряда переплавной установки в активный рафинирующий сталеплавильный агрегат. Н.К.Турсунов, А.Е.Семин, А.А. Саидирахимов Сб. трудов международной научной конференции «Физико-химические основы металлургических процессов » посвященной 115 летию со дня рождения А.М.Самарина Москва , 14-15 ноября 2017г. – С. 73.

7. Индукционные среднечастотные плавильные комплексы для литейного производства/ Лузгин В. И., Петров А.Ю, Рачков С.А., Якушев К.В. // Литейное производство. – 2005. – № 5. – С. 23-27..

8.Индукционные плавильные установки с широким и технологическими возможностями получения сплавов черных и цветных металлов/ Лузгин В. И., Петров А.Ю, Рачков С.А., Черных И.В. Якушев К.В. // Литейщик России. – 2006. – № 10. – С. 24-26.

9.Лузгин В.И.,Петров А.Ю., Фаерман Л.И. Индукционные печи средней частоты нового поколения// Черные металлы .июль -август 2006с.14-25.

10. Турсунов Н.К. ,Семин А.Е., Котельников Г.И. Кинетические особенности процесса десульфурации при выплавке стали в индукционной тигельной печи// Черные металлы .май 2017с.23-28.

УДК 669.162.12

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бурова Ю.Е.[1,2], Вязникова Е.А.[1], Дмитриев А.Н.[1], Витькина Г.Ю.[1], Алекторов Р.В.[1]

[1] Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия
[2]Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. *В статье приведены результаты исследования минералогических превращений, протекающих в процессе агломерации (спекания). Показано, что в процессе спекания магнетит, содержащийся в железорудном концентрате, частично растворяется в силикатной составляющей и флюсе с образованием сложного ферросиликата кальция и алюминия (SFCA). Установлено, что доля ферросиликата кальция и алюминия в образующемся агломерате зависит от заданной основности агломерационной шихты (содержания оксида кальция в шихте). Также сделан вывод о морфологии ферросиликата SFCA, зависящей напрямую от скорости охлаждения агломерата.*

СОДЕРЖАНИЕ

КУЗНЕЦКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЕ ЛИТЕЙЩИКОВ 90 ЛЕТ
Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И. *4*

СЕКЦИЯ 1: ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ *13*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ГОЛОВКИ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ ПРОДУВКИ В БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОНВЕРТЕРАХ
Протопопов Е.В., Уманский А.А., Морозов И.С., Чернышева Н.А. *13*

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ ИЗ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
Уманский А.А., Байдин В.В., Симачев А.С., Думова Л.В. *21*

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ШАРОВЫХ СТАЛЕЙ С ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ
Уманский А.А., Протопопов Е.В., Морозов И.С., Симачев А.С., Думова Л.В. *29*

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАМА КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ
Сафонов С.О., Лопатина А.О. *34*

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИСТЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ ИЗ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ
Шевко В.М., Утеева Р.А., Лавров Б.А., Полатова К.М., Каратаева Г.Е. *38*

ПЕРЕРАБОТКА БОГАТЫХ ПЫЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОМАРГАНЦА С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ
Шевко В.М., Айткулов Д.К., Синельников И.П., Удалов Ю.П., Бадикова А.Д. *45*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ПЯТИКОМПОНЕНТНОГО ЭКВИАТОМНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Co-Cr-Fe-Mn-Ni
Панченко И.А., Дробышев В.К., Бессонов Д.А., Кольчурина М.А., Коновалов С.В. *55*

ВЫПЛАВКА ЧУГУНА ДЛЯ СМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИЗЛОЖНИЦ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ СРЕДНЕЙ И МАЛОЙ ЕМКОСТИ
Лубяной Д.Д., Кузнецов И.С., Кухаренко А.В., Князев С.В., Лубяной Д.А. *62*

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ
Бурова Ю.Е., Вязникова Е.А., Дмитриев А.Н., Витькина Г.Ю., Алекторов Р.В. *70*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК K_2O, Na_2O, MgO, Al_2O_3 НА СВОЙСТВА ШЛАКА ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ
Гизатулин Р.А., Дуняшин Н.С., Валуев Д.В., Худоёров С.С., Заиркулов Э.Ё. *79*

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЛЕГИРОВАННЫХ ЧУГУНОВ В АТМОСФЕРЕ АНОДНЫХ ГАЗОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ЭКОСОДЕРБЕРГ
Пинаев Е.А., Темлянцев М.В., Большаков Д.Г., Темлянцева Е.Н., Куценко А.И. *87*

КИНЕТИКА ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СМОЛОСВЯЗАННЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ФУТЕРОВОК СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ
Якушевич Н.Ф., Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Протопопов Е.В., Темлянцева Е.Н., Приходько М.С. *92*

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА
Павлов В.В., Романенко Ю.Е., Годик Л.А., Фейлер С.В., Фейлер Д.Т. *98*

Научное издание

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2022»

Труды XXIII Международной научно-практической конференции

Часть 1

Под общей редакцией А.Б. Юрьева

Технический редактор Г.А. Морина
Компьютерная верстка Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 16.11.2022 г.
Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 22,8 Уч.-изд. л. 25,2 Тираж 300 экз. Заказ № 295

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ