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 2

Новокузнецк
2017

УДК УДК 004.942

МЕТОД И ИНСТРУМЕНТ РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ И СОЗДАНИИ НОВЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рыбенко И.А.

Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, rybenkoi@mail.ru

Аннотация: *В работе представлен метод и инструмент разработки оптимальных режимов металлургических процессов, основанный на решении двухконтурной задачи оптимизации, который реализован в виде инструментальной системы «Инжиниринг-Металлургия» . С использованием метода разработаны оптимальные технологии легирования стали оксидными материалами и технологии прямого получения металла в агрегате струйно-эмульсионного типа.*

Ключевые слова: *метод, оптимизация, инструментальная система, технология, оптимальный режим, ресурсосбережение.*

METHOD AND TOOL FOR DEVELOPING OPTIMAL TECHNOLOGICAL REGIMES WITH THE IMPROVEMENT OF EXISTING AND CREATION OF NEW METALLURGICAL PROCESSES

Rybenko I.A.

Siberian State industrial University
Novokuznetsk, Russia, rybenkoi@mail.ru

Abstract: *This work describes a method and tool for developing optimum regimes of metallurgical processes based on solving the 2-circuit tasks of optimization, which is implemented as a tool "System Engineering-metallurgy. Using the method developed optimal technologies of alloying steel oxide materials and technology of direct metal used Jet-emulsion type.*

Keywords: *method, optimization, technology, optimization, tooling system, resource-saving technologies.*

Введение

Металлургия является одной из самых ресурсоемких отраслей промышленности. Необходимость снижения энергоемкости и материалоемкости металлургической продукции требует как совершенствования традиционных металлургических схем, так и создания принципиально новых процессов и агрегатов. Решение этих задач связано с исследованиями высокотемпературных процессов в сложных термодинамических системах с физико-химическими превращениями. Поскольку экспериментальные исследования, как правило, являются достаточно дорогими, а зачастую и неосуществимыми, то в этих условиях большое значение приобретает вычислительный эксперимент, который позволяет анализировать состояния и процессы и делать выводы о поведении исследуемых объектов на основании модельных представлений. В связи с этим актуальным является создание методик и инструментальных систем моделирования, открывающих возможности для более эффективной разработки новых металлургических технологи и решения оптимизационных задач.

Метод моделирования и оптимизации металлургических процессов

Для решения поставленных задач разработан метод, особенностью которого является системное решение комплекса взаимосвязанных оптимизационных задач по определению наилучших условий реализации металлургических технологий и путей достижения этих условий [1 −4].

Метод включает следующие этапы: формулировку цели и постановку задачи, выделение объекта исследования, определение оптимальных параметров металлургических систем, определение оптимальных режимов металлургических процессов и реализацию промышленных экспериментов.

В результате постановки задачи формируются целевые условия, включающие выбор типа металлургического процесса, вида задачи и задание системы критериев оптимизации.

На этапе выделения объекта осуществляется задание параметров входных-выходных потоков, параметров процесса и выделение стадий и подпроцессов. Результатом реализации этапа является набор шихтовых материалов, их расходы, химический состав и температура, диапазоны изменения выхода, химического состава фаз и температур продуктов процесса – металла, шлака, газа, параметры процесса, стадий, подпроцессов и совокупность химических реакций, формирующих металлургическую систему.

На третьем этапе определяются оптимальные параметры металлургической системы – осуществляется выделение областей протекания окислительно-восстановительных процессов, производится оценка конечного равновесного и неравновесного состояния и решается задача оптимизации по определению наилучших условий ее функционирования. Результатом реализации этапа являются границы областей протекания окслительно-восстановительных процессов и оптимальные параметры системы: типы и расходы материалов, температуры, составы газовой фазы и термодинамические показатели.

На четвертом этапе осуществляется разработка металлургической технологии путем нахождения оптимальных режимов и определения путей достижения этих режимов для заданных параметров выходного потока и процесса при оптимизации технико-экономических показателей. Для этого осуществляется разработка и программная реализация математических моделей, проводится исследование металлургического процесса и определяются оптимальные режимы.

На последнем этапе предусматривается проведение промышленных экспериментов для корректировки моделей и отладки технологий.

Таким образом, при реализации метода осуществляется двухконтурная оптимизация путем решения многокритериальных оптимизационных задач двух видов: нахождение параметров системы при определении оптимальных условий протекания процессов и определение оптимальных режимов при реализации металлургических технологий (рисунок 1).

Рисунок 1– Схема решения задачи оптимизации

В рамках первого контура проведены исследования и определены оптимальные условия восстановления металлов из оксидов в модельных системах [5]. Эти задачи решались на основе полного термодинамического анализа систем с использованием программных продуктов «Терра» и «АвтоАстра».

В рамках второго контура разработаны технологии легирования металла для электросталеплавильного процесса и прямого получения металла в агрегате струйно-эмульсионного типа с использованием созданной инструментальной системы «Инжиниринг-Металлургия», представляющей собой комплекс программ, адаптированных для ряда металлургических технологий, и зарегистрированной в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (№ 2017617445).

Инструмент реализации метода

Инструментальная система «Инжиниринг-металлургия», структурная схема которой представлена на рисунке 2, состоит из блоков, позволяющих в интерактивном режиме вводить исходные данные по расходам, температуре, химическому составу шихтовых материалов и технологическим параметрам процесса, рассчитывать все стадии и подпроцессы, материальный и тепловой балансы, определять энтальпии входных-выходных потоков, рассчитывать

активности компонентов фаз, термодинамические характеристики химических реакций, технико-экономические показатели процесса, решать задачи оптимизации, производить многовариантные расчеты и представлять информацию в удобном для пользователя виде. В программе разработаны и используются следующие базы данных: «Химический состав материалов», «Термодинамические свойства индивидуальных веществ (ТСИВ)», «Параметры взаимодействия 1-го порядка», «Атомные параметры», «Термодинамические характеристики реакций фазовых переходов и растворения элементов», «Удельные энергоемкости материалов».

Созданная инструментальная системы «Инжиниринг-металлургия» позволяет осуществлять многовариантные расчеты, поводить исследования и решать задачу оптимизации по различным критериям. Это дало возможность решить большой комплекс задач по совершенствованию существующих технологий легирования стали и разработке новых металлургических технологий прямого получения металла в агрегате струйно-эмульсионного типа СЭР.

Результаты исследований

Технология прямого легирования стали в печи никелем с использованием никелевого концентрата

На основании решения оптимизационной задачи с использованием инструментальной системы предложена технология прямого легирования стали в электропечи окатышами, состоящими из никелевого концентрата и коксика. Получено оптимальное соотношение никелевого концентрата и коксика в окатышах, обеспечивающее максимальную степень восстановления никеля, которое составляет 0,07 кг коксика на 1 кг никелевого концентрата. Определены оптимальные режимы прямого легирования стали никелевыми окатышами, обеспечивающие коэффициент извлечения никеля 98,5 %. Результаты оптимизации технологии использовались при реализации технологии в лабораторных и промышленных условиях при выплавке стали 08(12)Х18Н10Т в дуговой электропечи на ОАО «Сталь НК».

Технология обработки стали конвертерным ванадиевым шлаком

Определены оптимальные соотношения и построена номограмма расходов коксика и ферросилиция, необходимых для полного восстановления ванадия из конвертерного ванадиевого шлака при различном содержании пентаоксида ванадия в шлаке [6].

Определены оптимальные условия микролегирования стали ванадием в ковше при различных расходах ванадиевого шлака, восстановителей и различном содержании углерода в стали. Результаты исследований показали, что преобладающим восстановителем является коксик. Оптимальный расход коксика, обеспечивающий максимальную степень восстановления ванадия для среднеуглеродистой стали составляет 6 кг/т. При этих условиях варьированием расхода конвертерного ванадиевого шлака можно получать различное содержание ванадия в металле.

Результаты расчетов использовались при разработке ресурсосберегающей технологи, реализуемость которой подтверждена лабораторными и промышленными испытаниями в ЭСПЦ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Технологии прямого получения металла в агрегате типа СЭР

С использованием методики и инструментальной системы разработаны следующие технологии в агрегате струйно-эмульсионного типа: прямого получения металла из пылевидных руд и железосодержащих отходов, получения марганцевых сплавов, переработки титано-магнетитовых концентратов и прямого восстановления железа с попутным получением синтез-газа.

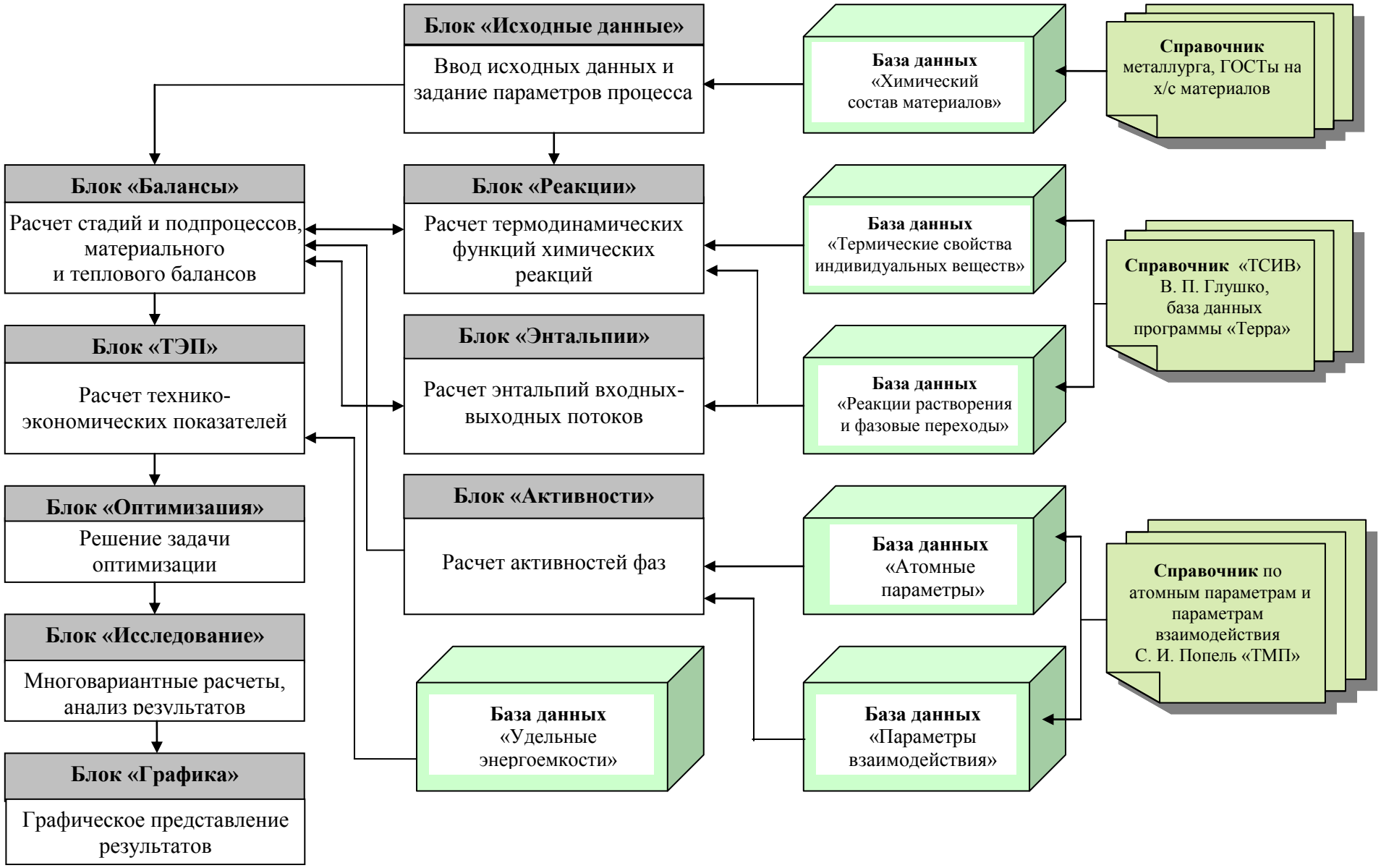

Рисунок 2 – Схема инструментальной системы «Инжиниринг-Металлургия»

В основу нового непрерывного металлургического процесса струйно-эмульсионного типа (СЭР) положена идея реализации принципов синергетики и неравновесной термодинамики, позволившая создать теоретические основы процесса и универсальную конструкцию агрегата, в котором возможно осуществление различных вариантов технологий [7 – 10].

Технология прямого получения металла из железосодержащей смеси окалина-шлам-руда

Для заданной производительности опытной установки при расходе смеси 6 кг/с определены оптимальные расходы материалов: расход кокса составляет 6,03 кг/с и кислорода − 5,74 кг/с (4,02 $м^3$/с). Этим параметрам соответствует температура 1873 К, степень восстановления железа 96 %, содержание углерода в металле 0,49 %, и содержание оксида железа в шлаке 9,47 %. При этом энергоемкость процесса составила 18 ГДж/т металла. Реализуемость технологии подтверждена результатами экспериментов на опытной установке. Например, в одном из экспериментов при расходах металлосодержащей шихты 6 кг/с, отработанного масла 1,2 кг/с, коксика 0,2 кг/с, ферросилиция 0,3 кг/с, алюминия 0,1 кг/с и извести 0,4 кг/с прямым восстановлением был получен металл с содержанием углерода 0,55 %. Ни в одном из известных процессов прямого восстановления железа получить содержание углерода менее 2 % не удается.

Технология переработки мелкофракционных карбонатных и оксидных марганцевых руд

Для предварительного восстановления марганца из высших оксидов или разложения карбонатов и удаления влаги из руды предлагается использовать восстановительный газ, который является продуктом реализации технологии восстановления марганца в агрегате СЭР, и таким образом замкнуть процесс, то есть создать согласованный поток вещества и энергии, проходящий через основной агрегат СЭР и подготовительный агрегат кипящего слоя. Основная задача расчета предлагаемой технологии заключалась в определении такого расхода сырой руды в агрегате кипящего слоя, чтобы получить заданный выход полупродукта и одновременно обеспечить возможность полного перевода высших оксидов или карбонатов сырой руды в низшие оксиды восстановительным газом, получаемым в основном агрегате. На примере оксидной руды Селезеньского и карбонатной руды Усинского месторождений путем решения задачи оптимизации определены расходы материалов и производительность агрегата, которые позволили замкнуть технологический цикл. Сравнительный анализ вариантов технологий представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ показателей технологии переработки марганцевых руд Селезеньского и Усинского месторождений

Показатель	Селезеньская руда		Усинская руда	
	С предв. восстановлением	Без предв. восстановления	С предв. обжигом	Без предв. обжига
Удельные расходы материалов, кг/т ($м^3$/т)				
марганцевая руда	2231,05	2940,7	2738,74	4062,2
уголь	1063,423	4420,7	1363,82	2488,8
силикомарганец (отходы)	111,552	147,0	136,94	203,1
кислород	793,8	3396,6	1035,1	2012,6
природный газ	151,99	200,3	186,58	276.7
Производительность, кг/с	0,45	0,34	0,37	0,25
Энергоемкость, ГДж/т	43,1	97,6	54,6	94,1
Содержание марганца, %	66,17	66,00	77,47	75,00

Технология переработки титано-магнетитового концентрата

Технология обеспечивает одновременно с выплавкой природно-легированного металла также получение товарного титанистого шлака с содержанием 45 ÷ 50 % TiO_2 и более.

С целью выяснения принципиальной возможности реализации процесса были проведены исследования и определены оптимальные показатели процесса для секундного расхода шихты, кислорода и углеродосодержащих материалов, в целом представляющих собой газовзвесь с объемным газосодержанием порядка 99 % и секундным расходом металлической части шихты 4 кг. Состав металлошихты, включающей титано-магнетитовый концентрат, окалину и шлам конвертерного производства, следующий: 26,8 % FeO, 46,1 % Fe_2O_3 и 17,5 % TiO_2. Результаты моделирования показали, что оптимальным является секундный расход коксика порядка 1,4 ÷ 1,5 кг/с, обеспечивающий максимальное восстановление железа при отсутствии карбидов титана в металле. Содержание оксида титана в шлаке составляет 43 % (при содержании CaO – 30 % и Al_2O_3 – 15 %). Путем решения задачи оптимизации проведена оценка технологически допустимых расходов углеродосодержащих материа-

лов и зависимости масс металла и шлака от возможного содержания оксидов железа в шлаке при различном содержании *CO* в газовой фазе.

Результаты исследования технологии, полученные с использованием инструментальной системы, легли в основу при выборе состава шихтовых материалов и энергоносителей при реализации процесса на опытной установке.

Технология прямого восстановления металла с одновременным получением синтез-газа

Основная задача при разработке технологии заключалась в создании условий для более гибкого управления составом отходящих газов с малой зависимостью от технологии получения металла за счет разделения потоков металла, шлака и газа, а также в обеспечении коррекции состава газа до параметров кондиционного синтез-газа путем совмещения пароугольного газификатора с металлургическим агрегатом, что дало возможность создания бездымного энерго-металлургическго процесса, так как отходящий газ превращается в товарный продукт.

Для данной технологии была решена задача оптимизации по коррекции состава попутного технологического газа. Определены расходы угля и кислорода, необходимые для получения металла с содержанием углерода 0,50 % и температурой 1873 К при расходе железной руды 1 кг/с, которые составили 0,674 кг/с и 0,382 кг/с соответственно. Выход газа составил 1,06 кг/с. Этот газ в виде газошлаковой эмульсии поступает в шлакоприемник, куда навстречу шлаковому потоку через фурму вдувается пар. За счет тепла шлака пар нагревается с 150 до 700 ºС и через решетку вместе с технологическим газом, отсепарированным от шлака и имеющим температуру 1773 К, непрерывно поступает в слой угля в камере коррекции газа, которая осуществлялась за счет кислородной конверсии метана кислородом, подаваемым в камеру через фурмы. В результате решения задачи оптимизации определены расходы угля, пара, природного газа и кислорода, обеспечивающие соотношение CO:H_2 равное 2:3 (строка 3таблица 2).

Таблица 2 – Результаты расчетов состава газа с применением метана

Управляющие воздействия						Объемный состав газа, %					Отношение CO:H_2
уголь, кг/с	пар, кг/с	CH_4 кг/с	O_2 кг/с	Т, К	масса газа, кг/с	CH_4	CO	CO_2	H_2	H_2O	
0,3	0,45	0,20	0,20	1051	2,12	1,09	46,88	4,56	43,83	3,64	1,07:1
0,3	0,45	0,25	0,25	1053	2,22	1,13	45,95	4,22	45,13	3,57	1:1
0,3	0,45	0,45	0,25	1006	2,22	2,37	34,13	5,82	51,4	6,26	2:3

В результате реализации процесса получается удвоенное количество синтез-газа (2,22 кг/с вместо 1,06 кг/с) и его калорийность возрастает с 6432 кДж/кг до 20832 кДж/кг.

Выводы

Таким образом, разработан и инструментально реализован в системе «Инжиниринг-металлургия» метод моделирования и оптимизации металлургических процессов, особенностью которого является системное решение комплекса взаимосвязанных оптимизационных задач по определению наилучших условий реализации металлургических технологий и путей достижения этих условий. С использованием метода и инструментальной системы решен ряд задач по определению оптимальных условий осуществления технологий легирования стали никелем и ванадием с использованием оксидных материалов и технологий прямого получения металла в агрегате струйно-эмульсионного типа: прямого получения металла из железорудных материалов, переработки марганцевых руд и титано-магнетитовых концентратов и прямого получения металла с попутным синтез-газом.

Библиографический список

1. Рыбенко, И. А. Моделирование и оптимизация стационарных режимов металлургических процессов [текст] : монография / И. А. Рыбенко, С. П. Мочалов; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2015. – 168 с.

2. Рыбенко, И. А. Применение методики и инструментальной системы расчета металлургических процессов для разработки теоретических основ ресурсосберегающих технологий [текст]: монография / И. А. Рыбенко ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. – 187 с.

3. Рыбенко, И. А. Применение инструментальной системы моделирования и оптимизации для разработки теоретических основ технологий легирования и модифицирования стали [текст] / И. А. Рыбенко // Бюл. Черная металлургия. – 2017. - № 2. – С. 37 – 43.

4. Рыбенко, И. А. Оптимизация технологий в струйно-эмульсионном металлургическом агрегате с использованием методики и инструментальной системы моделирования [текст] / И. А. Рыбенко // Бюл. Черная металлургия. – 2017. - № 3. – С. 60 – 65.

5. Рыбенко, И. А. Термодинамическое моделирование процессов в элементарных системах [текст] : монография / И. А. Рыбенко ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. – 98 с.

6. Исследование условий процесса восстановления ванадия и железа из конвертерного ванадиевого шлака [текст] / И. А. Рыбенко [и др.] // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2011. - № 4. – С. 3 – 5.

7. Использование принципов самоорганизации и диссипативных структур при создании нового струйно-эмульсионного металлургического процесса [текст] / В. П. Цымбал, В. И. Кожемяченко, И. А. Рыбенко [и др.] // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2015. - Т. 58, № 8. − С. 572 − 577.

8. A new jet-emulsion metallurgical process [text] / V. P. Tsymbal // Steel in Translation, 2015. - Vol. 45, Issue 8, − PP. 550 − 554.

9. Предпосылки и принципы создания самоорганизующегося струйно-эмульсионного реактора [текст] / В. П. Цымбал, В. И. Кожемяченко, И. А. Рыбенко [и др.] // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: тр. IV всерос. науч.-прак. конф. с межд. участием. В 2 ч. Ч. I. ; под общ. ред. В. П. Цымбала, Т. В. Киселевой. – Новокузнецк : Изд. СибГИУ, 2016. − С. 27 − 36.

10. Цымбал, В. П. Нетрадиционный подход к переработке титано-магнетитовых и железомарганецевых руд [текст] / В. П. Цымбал, И. А. Рыбенко, В. В. Павлов // Бюл. Черная металлургия. − 2015. - № 10. − С. 90 − 94

УДК 669.046.5

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ В ХОДЕ КАМЕРНОГО ВАКУУМИРОВАНИЯ СТАЛИ

Сафонов В.М.[1], Еланский Д.Г.[2], Кислица В.В.[3], Мурысев В.А.[4], Моров Д.В.[5]

[1]Выксунский филиал НИТУ «МИСиС», г. Выкса, Россия, wmsafonov@gmail.com;
[2]НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия, de-misis@inbox.ru;
[3]АО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса, Россия, kislica_vv@vsw.ru;
[4]АО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса, Россия, murysev_vf@vsw.ru;
[5]АО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса, Россия, morov_dv@vsw.ru.

Аннотация: *На основании результатов статистических исследований показано, что при вакуумировании металла под рафинирующим шлаком в 160-тонном сталеразливочном ковше на процесс вторичного окисления алюминия существенное влияние оказывает как начальное содержание последнего так и продолжительность вакуумирования. Разработаная методика расчёта позволяет определять начальное содержание алюминия в стали для получения заданной его концентрации перед разливкой.*

Ключевые слова: *Сталь, вакуумирование, шлак, вторичное окисление, концентрация алюминия.*

INDUSTRIAL INVESTIGATION OF ALUMINUM OXYDATION DURING TANK VACUUM DEGASSING OF STEEL

Safonov V.M.[1], Elanskiy D.G.[2], Kislica V.V.[3], Murysev V.A.[4], MorovD.V.[5]

[1]Vyksa branch of NUST «MISIS», Vyksa town, Russia, wmsafonov@gmail.com;
[2]NUST «MISIS», Moscow city, Russia, de-misis@inbox.ru;
[3]JSC «Vyksa Steel Works», Vyksa town, Russia, kislica_vv@vsw.ru;
[4]JSC «Vyksa Steel Works», Vyksa town, Russia, murysev_vf@vsw.ru;
[5]JSC «Vyksa Steel Works», Vyksa town, Russia, morov_dv@vsw.ru.

Abstract: *Statistical treatment of industrial data shows that secondary oxidation of aluminium during 160-t ladle vacuum degassing under reduced slag depends on initial aluminium content and treatment time significantly. Developed calculation technique allows to determine initial aluminium content to achieve required value of aluminium concentration before casting.*

Keywords: *Steel, vacuum degassing, slag, secondary oxidation, aluminium content.*

ГАЗОФАЗНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ
ХРОМОРУДНОГО СЫРЬЯ 90
Заякин О.В., Жучков В.И.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА 92
Гилева Л.Ю., Мясоедов С.В., Загайнов С.А., Титов В.Н.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НОВОГО
НЕПРЕРЫВНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СЭР 97
Рыбенко И.А., Цымбал В.П.
ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
РАФИНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА АРГОНОМ 101
Лубяной Д.А., Толстикова Ю.А., Черепанов А.Г.
МЕТОД И ИНСТРУМЕНТ РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ
СУЩЕСТВУЮЩИХ И СОЗДАНИИ НОВЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ 107
Рыбенко И.А.
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ
В ХОДЕ КАМЕРНОГО ВАКУУМИРОВАНИЯ СТАЛИ 113
Сафонов В.М., Еланский Д.Г., Кислица В.В., Мурысев В.А., Моров Д.В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФЕРРОСИЛИЦИЕВЫХ ПЕЧЕЙ И ХАРАКТЕРИСТИК
ПЕЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 116
Кашлев И.М.

СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА 124

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ УСКОРЕННОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И
СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 124
Громов В.Е., Белов Е.Г., Коновалов С.В., Комиссарова И.А., Иванов Ю.Ф.
КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ БОРА И АЗОТА НА
ОБРАТИМУЮ ОТПУСКНУЮ ХРУПКОСТЬ 128
МазничевскийА.Н., Сприкут Р.В., ЗаславскийА.Я., Гойхенберг Ю.Н.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА
СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
КАЛИБРОВАННЫХ ПРУТКОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 6082 134
Сидельников С.Б., Берсенев А.С., Загиров Н.Н., Беспалов В.Н.
РЕЖИМ СТАРЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ
ПОРШНЯ ИЗ СПЛАВА ТИПА АК21 140
Прудников А.Н., Прудников В.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ В ЗОНЕ КОНТАКТА
НИКЕЛЯ И АЛЮМИНИЯ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ 144
Анфилофьев В. В., Шелепова С. Ю., Туякбаев Б. Т., Джес А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХОЛОДНОКАТАНЫХ,
ОТОЖЖЕНЫХ И СВАРНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ОПЫТНЫХ СПЛАВОВ
СИСТЕМЫ AL-MG, ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ 149
Баранов В.Н., Сидельников С.Б., Фролов В.Ф., Зенкин Е.Ю., Орелкина Т.А.,
Константинов И.Л., Ворошилов Д.С., Якивьюк О.В., Белоконова И.Н.
КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
СТАЛИ 110Г13Л ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ 154
Балановский А.Е., Штайгер М.Г., Кондратьев В.В., Карлина А.И.
РАЗРАБОТКА НОВОЙ СИСТЕМЫ КРЕПЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ
КОНТЕЙНЕРА В УСТАНОВКЕ КОНФОРМ 159
Горохов Ю.В., Губанов И.Ю., Иванов А.Г.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛЫХ
ИЗДЕЛИЙ В ШТАМПЕ С ПОДВИЖНОЙ МАТРИЦЕЙ 165
Евстифеев В.В., Александров А.А., Евстифеев А.В., Ковальчук А.И.
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВ КАТАНКИ
ИЗ СПЛАВА АВЕ С ПОМОЩЬЮ СОВМЕЩЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ 169
Сидельников С.Б., Лопатина Е.С., Клейменова Ю.Ю., Самчук А.П., Терентьев А.А.

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ
СПЛАВОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ
РАСПЛАВА И ТЕРМООБРАБОТКИ 174
Попова М.В., Малюх М.А.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
СТРУКТУРЫ СТАЛИ СТ3 ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ УПРОЧНЕНИЯ 181
Балановский А.Е., Штайгер М.Г., Кондратьев В.В., Карлина А.И.
АКТИВНОСТЬ МАГНИЯ В РАСПЛАВАХ СИСТЕМЫ FE-MG-SI 187
Власов В.Н., Агеев Ю.А.
ОСОБЕННОСТИ ЗАТУХАНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В СТАЛИ 20ГЛ 191
Каравайцева А.А., Квеглис Л.И., Павлов А.В.
РАСЧЕТ СОДЕРЖАНИЯ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ, ВЫДЕЛЯЮЩЕЙСЯ
ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ РАСПЛАВА 196
Рафальский И.В., Лущик П.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ
ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ГВС
МЕТОДОМ ВОЛОЧЕНИЯ ИЗ СПЛАВА БРБ2 200
Сидельников С.Б., Бер В.И., Вагнер А.В., Дударев В.М., Семиряков М.А.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ БОРОАЛИТИРОВАНИЯ НА ТОЛЩИНУ
ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ НА СТАЛИ 20 206
Мишигдоржийн У.Л., Улаханов Н.С., Сизов И.Г., Шурыгин Ю.Л., Хараев Ю.П.
РАЗРАБОТКА СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ ТРАМВАЙНЫХ
РЕЛЬСОВ В НЕПРЕРЫВНОЙ РЕВЕРСИВНОЙ ГРУППЕ КЛЕТЕЙ 211
Сметанин С.В., Перетятько В.Н.
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ДРЕССИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ 216
Медведева Е.М., Голубчик Э.М., Гулин А.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОКИЛЬНОГО
ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 221
Васюхно А.Ю., Черномас В.В.
ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ
МЕТАЛЛОВ В ЖИДКОЙ СРЕДЕ …..……..……..230
**Балановский А.Е., Гречнева М.В., Ву Ван Хуи, Штайгер М.Г.,
Кондратьев В.В., Карлина А.И.**

СЕКЦИЯ 3: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ, ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

ОКИСЛЕНИЕ НАНОДИБОРИДА ТИТАНА НА ВОЗДУХЕ 235
Галевский Г.В., Руднева В.В., Ефимова К.А
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ФЛЮС-ДОБАВОК ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ СТАЛИ 241
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Кислов А.И., Свистунов А.Д.
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ WO_3 УГЛЕРОДОМ И КРЕМНИЕМ 245
Крюков Р.Е., Козырев Н.А., Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф., Шурупов В.М.
АНТИФРИКЦИОННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НА БАЗЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С КЕРАМИЧЕСКИМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ 249
Калашников И.Е., Болотова Л.К., Кобелева Л.И., Колмаков А.Г., Катин И.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО
ПОРОШКА КАРБИДА КРЕМНИЯ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ 254
Квашина Т.С., Крутский Ю.Л., Чушенков В.И.
ВЛИЯНИЕ ИНГИБИРУЮЩИХ ДОБАВОК ТУГОПЛАВКИХ КАРБИДОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА
ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ 257
**Крутский Ю.Л., Веселов С.В., Тюрин А.Г., Черкасова Н.Ю., Кузьмин Р.И.,
Чушенков В.И., Воробьев Р.С., Квашина Т.С.**
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАСТЕРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЛЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ФАЗЫ NI3AL ПРИ СПЕКАНИИ ПОРОШКОВ NI И AL 262
Джес А.В., НосковФ.М., КвеглисЛ.И., Казначеева А.М.

КЛАСТЕРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МАРТЕНСИТНОГО
ПРЕВРАЩЕНИЯ В НИКЕЛИДЕ ТИТАНА 267
Джес А.В., Носков Ф.М., Квеглис Л.И., Казначеева А.М.
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ
ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ 273
Вотинова Е.Б., Шалимов М.П., Табатчиков А.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ
СТРУКТУРЫ СИЛУМИНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНЕСЕНИЕМ НА ЕГО ПОВЕРХНОСТЬ
ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ AL-Y_2O_3 МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ 277
Осинцев К.А., Бахриева Л.Р., Бутакова К.А., Мусорина Е.В.,
Коновалов С.В., Загуляев Д.В., Громов В.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ
СТРУКТУРЫ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ1-0,
СФОРМИРОВАННЫХ ПОСЛОЙНЫМ СПЕКАНИЕМ ПОРОШКОВ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ НАПЛАВЛЕНИЕМ 283
Батранин А.В., Федоров В.В., КлименовВ.А., Клопотов А.А.,
Абзаев Ю.А., Волокитин Г.Г., Курган К.А.
ЦИРКУЛЯЦИЯ ЙОДИДОВ ЖЕЛЕЗА И ХРОМА
ПРИ ДИФФУЗИОННОМ ХРОМИРОВАНИИ 288
Христюк Н.А. Богданов С.П.
ПОЛУЧЕНИЕ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
С ЭПФ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ 293
Насакина Е.О., Баикин А.С., Конушкин С.В., Сергиенко К.В., Каплан М.А.,
Федюк И.М., Севостьянов М.А., Колмаков А.Г., Клименко С.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ
КАРБИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА КАЧЕСТВО
ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ WC-CO 295
Чушенков В.И., Крутский Ю.Л., Квашина Т.С.
РАШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВИРУЮЩИХ
ФЛЮСОВ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ КРЕМНИЯ 300
Иванчик Н.Н., Балановский А.Е., Кондратьев В.В., Сысоев И.А., Карлина А.И.
ВЛИЯНИЯ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА АНОДНОЕ
ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА AL + 2,18 % FE В НЕЙТРАЛЬНОЙ СРЕДЕ 305
Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х., Амонов И.Т., Эсанов Н.Р.
ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФАЗОВОГО ИЗМЕНЕНИЯ
СПЛАВА И РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НА НАПРЯЖЕНИЕ И СВОЙСТВА СЛОЯ ПОКРЫТИЯ 311
Шувень Сюй, Сичжан Чен
ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СИЛУМИНА
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОКСИДОМ ИТТРИЯ 318
Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Загуляев Д.В., Толкачев О.С., Петрикова Е.А., Коновалов С.В.
ФОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ПОРИСТОСТИ ВО ВРЕМЯ ЛАЗЕРНОЙ
СВАРКИ ДВУХФАЗНЫХ ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЕЙ DP780 321
Хуанг Л., Чэнь С., Коновалов С., Ма Х.
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА СПЛАВА И ЕГО РАЗМЕРА
ЧАСТИЦ ПРИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ НА НАПРЯЖЕНИЕ И СВОЙСТВА
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ 327
Зиу С., Чэнь С.
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
В КАРБИДООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМАХ TI – C – H – N, TI – O – C – H - N 334
Гарбузова А.К., Галевский Г.В., Руднева В.В.
О КРИСТАЛЛИЗАЦИИ БИНАРНОГО СПЛАВА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ТУГОПЛАВКИМИ
НАНОЧАСТИЦАМИ 338
Черепанов А.Н., Черепанова В.К.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СВАРКИ ДЛИННОМЕРНЫХ
РЕБРИСТЫХ ТИТАНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ НА АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ УСП-5000 344
Григорьев В.В., Бахматов П.В.
ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ СОЗДАНИИ
ЭЛЕМЕНТОВ АЛЮМИНИЕВОГО ТРУБОПРОВОДА НА ПОРООБРАЗОВАНИЕ 350
Ващук И.А., Бахматов П.В.
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ГАЗОДИНАМИКА И
ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ 358
Чинахов Д.А., Солодский С.А., Майорова Е.И., Григорьева Е.Г.

СЕКЦИЯ 4: ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И АГРЕГАТАХ. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ 363

ОБРАЗОВАНИЕ И ВЫБРОСЫ ДИОКСИДА СЕРЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ 363
Галевский Г.В., Минцис М.Я.
СОКРАЩЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ НА ТЭЦ С ПЕРЕВОДОМ ОТОПЛЕНИЯ КОТЛОВ НА ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО 366
Коротков С.Г., Сазонова Я.Е.
К ВОПРОСУ О ПЕРСПЕКТИВАХ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БУРЫХ УГЛЕЙ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ 369
Прошунин Ю.Е., Школлер М.Б.
ЭМИССИЯ ПАУ ИЗ САМООБЖИГАЮЩИХСЯ АНОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ 375
Минцис М.Я., Галевский Г.В.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ГАЗООЧИСТНЫХ УСТАНОВОК ОК РУСАЛ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРОВ С САМООБЖИГАЮЩИМСЯ АНОДОМ 377
Григорьев В.Г., Тепикин С.В., Шемет А.Д., Высотский Д.В., Кузаков А.А., Тенигин А.Ю.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ГОРЕЛКЕ СО ВСТРОЕННЫМ РАДИАЦИОННЫМ РЕКУПЕРАТОРОМ 383
Стерлигов В.В., Старикова Д.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛИКОМАРГАНЦЕВОГО ШЛАКА 388
ПавловичЛ.Б., Исмагилов З.Р., Дятлова К.А.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ КОКСОХИМИИ 394
Полях О.А., Пономарев Н.С., Журавлев А.Д.
ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЛОГЕНОСОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 398
Гимпелевич И., Мегидов Е., Мишне И., Рам Ш., Шимон Ю.
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКРЕМНЕЗЕМА 401
Кондратьев В.В., Колосов А.Д., Горовой В.О., Небогин С.А., Ёлкин К. С., Немаров А.А., Иванов А.А.
ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ОКАЛИНЫ ПРОКАТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ 406
Горшкова О. С., Матюхин В. И.
СИСТЕМА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА СИЛИКАТНОЙ СТРУИ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ 409
Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Шеховцов В.В.
УСКОРЕННАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ОТХОДОВ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО ОБОГАЩЕНИЯ 412
Водолеев А.С., Бердова О.В., Юмашева Н.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ 417
Коляда Л.Г., Тарасюк Е.В.
ТЕПЛОВАЯ РАБОТА ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭДП 421
Корнеев С.В., Трусова И.А.
О ТЕХНОЛОГИЯХ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ 427
Ёлкин К.С., Ёлкин Д.К., Карлина А.И.
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУХОЙ СЕПАРАЦИИ МИКРОКРЕМНЕЗЁМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ 432
Кондратьев В.В., Небогин С.А., Колосов А. Д., Горовой В.О., Немаров А.А., Иванов А.А., Запольских А.С. 432
НАПРАВЛЕНИЯ СОКРАЩЕНИЯ РАСХОДА ФТОРИСТЫХ СОЛЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ 436
Ржечицкий Э.П., Петровский А.А., Немчинова Н.В., Карлина А.И.
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК ПРИМЕНЕНИЕМ УПРУГИХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОЧЛЕНЕНИЯХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР 439
Никитин А.Г., Абрамов А.В.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ 443
Зимина Т.И., Иванов Н.Н., Захаров С.В., Трошина А.О., Паньков А.М.
РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА 446
Ершов В.А., Зимина Т.И., Говорков А.С., Иванов Н.А.,
Захаров С.В., Трошина А.О.
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СПОСОБ РЕЗАНИЯ
НА НОЖНИЦАХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОГНУТОЙ ПОЛОСЫ 449
Никитин А.Г., Демина Е.И.
СОСТАВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ЧАСТИ ОТРАБОТАНОЙ
ФУТЕРОВКИ – ОТХОДА КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА
АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ 452
Ржечицкий Э.П., Петровский А.А., Немчинова Н.В.
ИЗВЛЕЧЕНИЕ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ КАТАЛИЗАТОРОВ
В ПЛАЗМЕННЫХ ПЕЧАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ 457
Девятых Е.А., Девятых Т.О., Швыдкий В.С.
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СИСТЕМ
ГАЗООЧИСТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАВОДОВ 461
Ершов В.А., Зимина Т.И., Колмогорцев И В., Горовой В.О., Трошина А.О.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ КАМЕРНОЙ ПЕЧИ БАРАБАННОГО ТИПА 464
Черемискина Н.А., Щукина Н.В., Лошкарев Н.Б., Лавров В.В.

Научное издание

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

Труды XX Международной научно-практической конференции

Часть 2

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. 27,6 Уч.-изд. л. 30,0 Тираж 300 экз. Заказ № 521

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