

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

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

УДК 669.71

ОБРАЗОВАНИЕ И ВЫБРОСЫ ДИОКСИДА СЕРЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ

Галевский Г.В., Минцис М.Я.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, kafcmet@sibsiu.ru*

Аннотация: Проанализированы источники образования диоксида серы при производстве анодной массы (обожженных анодов) и алюминия электролизом, представлена методика расчета количества образующегося сернистого ангидрида в зависимости от качества используемого сырья. Оценены возможные суммарные выбросы диоксида серы при различных способах производства анодной массы, конструкциях электролизеров и методах очистки отходящих газов от них.

Ключевые слова: электролитическое производство алюминия, диоксид серы, источники образования, выбросы.

EDUCATION AND EMISSIONS OF DIOXIDE SULFUR BY ALUMINIUM PRODUCTION

Galevsky G.V., Mintsis M.Ya.

*Siberian state industrial university,
Novokuznetsk, Russia, kafcmet@sibsiu.ru*

Abstract: Sources of formation of dioxide of sulfur are analyzed by production of anode weight (the burned anodes) and aluminum by electrolysis, the method of calculation of amount of the formed sulphurous anhydride depending on quality of the used raw materials is presented. Possible total emissions of dioxide of sulfur at various ways of production of anode weight, designs of electrolyzers and methods of purification of flue gases are estimated from them.

Keywords: electrolytic aluminum production, sulfur dioxide, education sources, emissions.

При производстве анодной массы или обожженных анодов для алюминиевых электролизеров используется электродный (пековый или нефтяной) кокс и каменноугольный пек. Для прокалики или подсушки кокса применяется мазут или природный газ. Это сырье и топливо содержит в своем составе серу, которая и является источником образования диоксида серы.

В зависимости от рецептуры готовой продукции на производство 1 т электродной продукции расходуется: кокса прокаленного (нефтяного или пекового) – 700 – 840 кг, пека каменноугольного – 180 – 310 кг. Для прокалики 1 т сырого электродного кокса расходуется 15 – 50 кг мазута или 20 – 65 нм³ природного газа, а при подсушке кокса расход топлива снижается в 3 – 4 раза.

Пековый кокс содержит от 0,1 до 0,7 % серы, а нефтяной кокс – 0,3 – 1,6 %. Содержание серы в мазуте, в зависимости от его марки, составляет от 0,5 до 3,5 %, а в природном газе оно, как правило, невелико и им можно пренебречь. Для определения количества серы следует пользоваться отчетными показателями по расходу и качеству сырья на конкретном производстве.

При использовании сырого кокса он предварительно подвергается прокалике при температуре 1100 – 1250 °С; если же применяется предварительно прокаленный кокс, то он подвергается сушке при температуре 250 – 400 °С. Как показали многочисленные исследования, прокалика кокса при тем-

пературе до 1250 °С снижает содержание серы в нем не более чем на 5 %. В процессе прокалки кокса сгорают выделяющиеся летучие соединения, но они практически не содержат соединений серы.

В состав массы входит и пек, содержание серы в котором в среднем не превышает 0,2 %. Содержащаяся в пеке сера переходит в массу или в обожженные аноды. В процессе прокалки последних их десульфуризация практически не происходит, и вся сера, содержащаяся в коксе и пеке, полностью переходит в обожженный блок.

Таким образом, при производстве электродной массы диоксид серы образуется за счет окисления серы, содержащейся в топливе, и его количество в расчете на 1 т электродной массы Q может быть определено по формуле

$$Q = 2((q_T \cdot C_T) : 100) \cdot (K_K : 1000),$$

где: 2 – коэффициент пересчета содержания серы в диоксид серы;

q_T – расход топлива на прокалку (подсушку) 1 т кокса;

C_T – содержание серы в топливе, %;

K_K – расход кокса на производство 1 т электродной массы, кг.

Если содержание серы в мазуте составляет 0,5 – 3,5 %, а расход его при прокалке 1 т кокса находится в пределах 15 – 50 кг, то количество диоксида серы, образующееся при этом, составляет 0,15 – 3,5 кг. При подсушке прокаленного кокса количество диоксида серы будет в 3 – 4 раза меньше. Для определения фактического количества диоксида серы, образующегося при термической обработке кокса, необходимо использовать отчетные данные заводов по содержанию серы в коксе, расходу топлива на 1 т кокса и расходу прокаленного кокса на производство 1 т электродной массы.

При производстве обожженных анодов дополнительное количество диоксида серы образуется за счет сгорания мазута, используемого для обжиговых печей, количество которого, как правило, составляет около 150 кг в расчете на 1 т готовых блоков. Поэтому количество диоксида серы в этом случае может увеличиться на 1,5 – 10,5 кг/т.

Количество серы в 1 т электродной массы или обожженного анода $Q_{см}$ (кг) можно рассчитать по формуле

$$Q_{см} = (q_K \cdot C_K) : 100 + (q_P \cdot C_P) : 100,$$

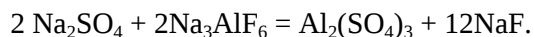
где: q_K – содержание прокаленного кокса в 1 т массы, кг;

q_P – содержание пека в 1 т массы, кг;

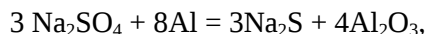
C_K – содержание серы в коксе, %;

C_P – содержание серы в пеке, %.

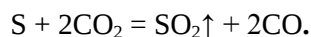
При производстве алюминия электролизом сера поступает в электролит с глиноземом, фторидами (в виде сульфатов) и с материалом анода (сульфиды). Сульфаты вступают в реакцию с криолитом



Растворенный в электролите сульфат восстанавливается алюминием



а образовавшийся сульфид переносится к аноду и окисляется до серы, которая в свою очередь взаимодействует с диоксидом углерода



Суммарное количество серы, участвующей в производстве 1 т алюминия, зависит от расхода каждого вида сырья и содержания серы в них. Подавляющее количество серы, содержащейся во всех видах сырья, при электролизе окисляется до диоксида серы, количество которого будет равно удвоенному содержанию серы.

Содержание серы в глиноземе, в соответствии с данными [1], не превышает 0,02 %, а во фтористых солях (в пересчете на серу) оно составляет около 0,3 %, но для расчетов фактическое содержание серы необходимо уточнить по отчетным данным конкретного производства.

Таким образом, для расчета количества образующегося диоксида серы при электролизе необходимо знать расходные коэффициенты на 1 т алюминия всех видов сырья и содержание серы в них. В таблице приведены данные о расходных коэффициентах основных видов сырья на производство 1 т алюминия, максимальное допустимое содержание серы в них и количество образующегося при электролизе диоксида серы от каждого вида сырья. Эти данные представляют собой максимально возможное количество образующегося диоксида серы. Если в процессе производства с поверхности электролита снимается пена, то количество анодной массы, расходуемой на электролиз, должно быть

уменьшено на величину содержания углерода в пене, которое обычно не превышает 30 % [2].

Таблица – Основные виды сырья для электролиза алюминия и содержание серы в них

Вид сырья	Расход, кг	Содержание серы, %	Количество SO ₂ , кг
Материал анода	560	1,5	16,8
Глинозем	1890	0,02	0,76
Фториды	70	0,3	0,42
Итого			18,0

Из приведенных в таблице данных видно, что основным источником образования диоксида серы является материал анода, на долю которого приходится более 93 % содержания серы в сырье.

Следовательно, для определения количества образующегося диоксида серы в процессе электролиза $Q_{сэ}$ (кг) можно воспользоваться выражением

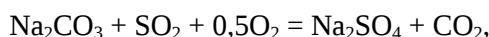
$$Q_{сэ} = 2[(q_a - q_{уп}) C_a] : 100 + (q_r C_r : 100) + (q_f C_f : 100)],$$

где: q_a , q_r , q_f – расход, соответственно, материала анода, глинозема и фторидов на 1 т алюминия, кг;
 $q_{уп}$ – содержание углерода в снимаемой пеке в расчете на 1 т Al;
 C_a , C_r , C_f – содержание серы, соответственно, в материале анода, глиноземе и фторидах, %.

Следовательно, максимальное количество диоксида серы, образующегося в процессе электролиза, не превышает 18 кг/т алюминия, а количество диоксида серы, выбрасываемого в окружающую среду, зависит от наличия и вида систем газоочистки на серии.

Максимальное количество выбросов диоксида серы будет в корпусах, не оснащенных газоочисткой, которые, к сожалению, имеются на отечественных алюминиевых заводах (НкАЗ, БАЗ, КАЗ, УАЗ).

При наличии системы мокрой очистки отходящих газов диоксид серы вступает во взаимодействие с раствором соды



а образовавшийся сульфат выводится в процессе производства регенерированного криолита. КПД мокрой газоочистки по диоксиду серы не превышает 85 %. Поэтому весь, не уловленный газосборной системой газ, попадает в окружающую атмосферу. Коэффициент полезного действия газосборных устройств (шторы, газосборные колокола, укрытия) составляет 60 – 85 % и поэтому от 30 до 50 % образовавшегося диоксида серы попадает в окружающую атмосферу.

Положение еще больше усугубляется при использовании сухой системы очистки отходящих газов, которая не способна улавливать диоксид серы, и поэтому весь образовавшийся серный ангидрид попадает в окружающую атмосферу. Этот тип газоочистки находит широкое применение на электролизерах с обожженными анодами, и для снижения выбросов диоксида серы можно устанавливать за сухой газоочисткой мокрый хвост, но это должно быть обоснованно для каждого конкретного производства.

Анализируя статистические отчеты, представляются малообоснованными данные по выбросам диоксида серы на алюминиевых заводах России. Так, выбросы диоксида серы за 1994 г. на разных заводах находятся в пределах от 1,51 (ИркАЗ) до 28,64 (КАЗ) кг/т Al. На Кандалакшском (КАЗ) и Надвойцком (НАЗ) заводах они составляют около 25 – 29 кг/т, в то время как на Богословском (БАЗ) заводе они не превышают 6,5 кг/т. В то же время КАЗ и НАЗ используют анодную массу, изготовленную на БАЗе. Вряд ли соответствуют действительности отчетные данные о выбросах диоксида серы и на ИркАЗе, которые в 4 – 5 раз меньше, чем на Братском и Красноярском заводах. Производство анодной массы, технология электролиза и газоочистки, а также качество используемого сырья практически не отличаются на всех трех заводах.

Столь разноречивые и необъяснимые данные о выбросах диоксида серы, по нашему мнению, являются следствием отсутствия методики расчета, которая базировалась бы не на единичных измерениях (как это имеет место в настоящее время), а на фактических данных, характеризующих качество используемого сырья при производстве электродной массы и алюминия.

Предлагаемая методика, по нашему мнению, позволит в значительной степени уточнить количество образующегося и выбрасываемого диоксида серы на алюминиевых и электродных заводах.

Библиографический список

1. Справочник металлурга по цветным металлам. Производство алюминия. – М. : Металлургия, 1971. – 559 с.
2. Галевский Г.В., Кулагин Н.М., Минцис М.Я. Экология и утилизация отходов в производстве алюминия. – Новосибирск : Наука, 1997. – 158 с.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	4
КОНВЕРТЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ: СОСТОЯНИЕ, ДОМИНИРУЮЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ПРОГНОЗЫ	4
Протопопов Е.В., Кузнецов С.Н., Фейлер С.В., Ганзер Л.А., Калиногорский А.Н. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ.....	9
Протопопов Е.В., Числавлев В.В., Фейлер С.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАВКИ МАРГАНЦА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО	14
Рожихина И.Д., Нохрина О.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СООТНОШЕНИЯ ЧУГУНА И МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА В ШИХТЕ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ	18
Уманский А.А., Думова Л.В. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧИ СЫРЬЯ (АПС).....	23
Григорьев В.Г., Тепикин С.В., Кузаков А.А. Пьянкин А.П., Тимкина Е.В., Пинаев А.А. О ГРАФИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ	29
Кулаков С.М., Мусатова А.И., Кадыков В.Н. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВАНАДИЯ В СИСТЕМЕ $V_2O_5 - C - Si$	35
Голодова М.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Рыбенко И.А. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	39
Уманский А.А., Думова Л.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ НА АГРЕГАТЕ «КОВШ-ПЕЧЬ» С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	44
Уманский А.А., Козырев Н.А., Бойков Д.В., Думова Л.В. ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МАРГАНЦА В ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ	48
Дмитриенко В.И., Протопопов Е.В., Дмитриенко А.В., Носов Ю.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗБРЫЗГИВАНИЯ ШЛАКА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ.....	51
Синельников В.О., Калиш Д., Шуцки М. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НА УКП ОСНОВНЫХ БОРСОДЕРЖАЩИХ ШЛАКОВ – ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ КОВШЕВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	56
Бабенко А.А., Жучков В.И., Смирнов Л.А., Сычев А.В., Сельменских Н.И., Уполовникова А.Г. НЕРАВНОВЕСНЫЕ ДИССИПАТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ И УПРАВЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА В СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ АГРЕГАТЕ	61
Цымбал В.П., Сеченов П.А., Рыбенко И.А., Оленников А.А. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫСОТЫ ВАННЫ РУДОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ	67
Кравцов К.И. ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ АЛЮМИНИЯ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «АЛЮМИНЦИК».....	71
Мартусевич Е.А., Буинцев В.Н. ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА «ИНЖИНИРИНГ МЕТАЛЛУРГИЯ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ШИРОКОГО КРУГА ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ	75
Рыбенко И.А. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩЕЙ СМЕСИ В КРИСТАЛЛИЗАТОР МНЛЗ.....	82
Гусев А.А., Царуш К. А., Лицин К.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР И СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ	85
Сеченов П.А., Цымбал В.П.	

ГАЗОФАЗНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ХРОМУРУДНОГО 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., Мороз Д.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФЕРРОСИЛИЦИДОВЫХ 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
Мазничевский А.Н., Сприкут Р.В., Заславский А.Я., Гойхенберг Ю.Н. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЛИБРОВАННЫХ ПРУТКОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 6082	134
Сидельников С.Б., Берсенов А.С., Загиров Н.Н., Беспалов В.Н. РЕЖИМ СТАРЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛООВОГО 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, ОТОЖЖЕННЫХ 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., Якивчук 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 ШТАМPE 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 ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ТЕРМООБРАБОТКИ	174
Попова М.В., Малюх М.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СТАЛИ СТЗ 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., Луцки 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., Перетягтько 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 Хун, 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 NI_3Al ПРИ СПЕКАНИИ ПОРОШКОВ NI И Al	262
Джес А.В., Носков Ф.М., Квеглис Л.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 BT1-0, СФОРМИРОВАННЫХ ПОСЛОЙНЫМ СПЕКАНИЕМ ПОРОШКОВ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ НАПЛАВЛЕНИЕМ.....	283
Батрагин А.В., Федоров В.В., Клименов В.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., Байкин 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 $Ti - C - N - H$, $Ti - O - C - N - H$	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., Стариков Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛИКОМАРГАНЦЕВОГО ШЛАКА	388
Павлович Л.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
Зими́на Т.И., Ива́нов Н.Н., Захаров С.В., Трошина А.О., Паньков А.М.	
РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА	446
Ершов В.А., Зими́на Т.И., Говорков А.С., Ива́нов 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., Зими́на Т.И., Колмогорцев И.В., Горовой В.О., Трошина А.О.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЙ 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