

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

Рекомендуемая для обожженных анодных блоков анодная плотность тока на анодах Содерберга недостижима – на электролизерах С8БМ НКЗА при токе 173 кА анодная плотность тока достигла 0,725 А/см², но при этом катодная плотность тока составляет только 0,447 А/см². Столь низкая катодная плотность тока приводит к снижению выхода по току, переохлаждению подины, образованию уходящих далеко под анод подовых настывлей и увеличивает материалоемкость катодного устройства.

По-видимому, эффективная анодная плотность тока без модернизации анодов Содерберга ВТ не превысит 0,75 А/см², но катодную плотность тока весьма целесообразно увеличить, что непременно снизит потери металла за счет протекания обратных реакций, или, иными словами, повысит выход по току. Есть основания полагать, что срок службы узкого катодного устройства возрастет.

Библиографический список

1. Исаева Л.А. Глинозем в производстве алюминия электролизом / Л.А. Исаева, П.В. Поляков. – Красноуральск: Издат. дом «БАЗ», 2000. – 198 с.

УДК 621.921.26

ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННОГО МИКРОКРЕМНЕЗЕМА С ПРИМЕНЕНИЕМ БУГОУГОЛЬНОГО ПОЛУКОКСА

Аникин А.Е.¹, Галевский Г.В.², Руднева В.В.², Галевский С.Г.³

¹ООО «Сибпроект»,

г. Новокузнецк, Россия, anikin1985@rambler.ru

²Сибирский государственный индустриальный университет,

г. Новокузнецк, Россия, kafcmet@sibsiu.ru

³Санкт-Петербургский горный университет,

г. Санкт-Петербург, Россия, sgalevskii@gmail.com

Аннотация: Исследована термодинамика и определены оптимальные температурно-временные режимы карбидизации брикетированной шихты «микрокремнезем – бурого угольный полукокс». В системах Si – O – C и Si – O – C – H процесс карбидообразования является доминирующим: при стехиометрическом составе шихты максимальное содержание в продуктах восстановления карбида кремния достигается при 1700 К. Полная карбидизация шихты в условиях термической обработки достигается при температуре 1923 – 1973 К при длительности 20 – 15 минут. Установлены технологическая целесообразность, условия и показатели химического обогащения продуктов карбидизации. Исследованы фазовый, химический, гранулометрический составы и морфология частиц карбида кремния. Выявлено, что при карбидизации образуется карбид кубической структуры (β-SiC). Содержание карбида после обогащения составляет более 90 %. Карбид кремния получен в виде микропорошка с удельной поверхностью 8000 – 9000 м²/кг из имеющих неправильную форму частиц размерным диапазоном 0,2 – 1,0 мкм.

Ключевые слова: микрокремнезем, бурого угольный полукокс, карбид кремния, термодинамика, термообработка шихты, обогащение.

RECOVERY PROCESSING OF TECHNOGENIC MICROSILICON DIOXIDE WITH BROWN-COAL SEMICOKE APPLICATION

Anikin A.E.¹, Galevskiy G.V.², Rudneva V.V.², Galevskiy S.G.³

¹LLC «Sibproyekt»,

Novokuznetsk, Russia, anikin1985@rambler.ru

²Siberian state industrial university,

Novokuznetsk, Russia, kafcmet@sibsiu.ru

³St. Petersburg Mining University,

St. Petersburg, Russia, sgalevskii@gmail.com

Abstract: Thermodynamics is investigated and the optimal temperature-time regimes of carbidization of the briquetted charge microsilica - lignite char are defined. In systems of Si - O - C and Si - O - C - H car-

bide formation is the dominant process, when the stoichiometric composition of the charge the maximum content in products of recovery of silicon carbide is achieved at 1700 K. The full carbonization of charge in conditions of heat treatment is reached at temperature 1923 - 1973 K with a duration of 20 - 15 minutes. Technological expediency, conditions and rates of chemical enrichment of carbidization products are established. The phase, chemical, granulometric compositions and morphology of silicon carbide particles are investigated. Revealed that the carbide of the cubic structure (β -SiC) is formed during carbonization. Carbide content after enrichment is over 90 %. The silicon carbide is obtained in the form of micropowder with a specific surface area 8000 - 9000 m²/kg, the particle size range of 0.2 - 1.0 micron, having an irregular shape.

Keywords: *microsilicon dioxide, brown-coal semi-coke, silicon carbide, thermodynamics, furnace charge heat treatment, enrichment.*

Производство карбида кремния – одно из важнейших в структуре современной металлургии – составляет около 800 тыс. т в год. Крупнейшие сферы использования карбида кремния – это металлургия (около 45 % мирового спроса), производства абразивов (до 30 %) и огнеупоров (до 25 %). Специфика термомеханических, электрофизических, физико-химических свойств карбида кремния предопределяет следующие направления его традиционного и перспективного применения: материалы на связках; керамика конструкционная и функциональная; композиционные материалы и покрытия; поверхностное и объемное модифицирование материалов.

Современное производство карбида кремния почти полностью основано на углеродотермическом способе Ачесона. По этому способу получение карбида кремния осуществляется периодическим блок-процессом в электропечах сопротивления мощностью 4,5 – 5,5 МВА при температуре 2500 – 2900 К. Полученный карбид кремния представляет собой кристаллы, сросшиеся в так называемые друзы (куски), которые после разборки электропечи подвергаются дроблению, обогащению и расसेву по фракциям. Товарной продукцией абразивных заводов является зерно карбида различной крупности: шлифзерно (размер 2500 – 160 мкм), шлифпорошки (размер 160 – 28 мкм), микропорошки (размер 63 – 10 мкм), тонкие микропорошки (размер 10 – 1 мкм). В настоящее время выпускают три вида карбида кремния: черный, зеленый и электротехнический.

В течение достаточно длительного времени потребности металлургии, огнеупорного и керамического производств в карбиде кремния удовлетворялись за счет шлифматериалов абразивного назначения, что неоправданно повышало стоимость огнеупоров и керамики, а в металлургии в отдельных случаях делало применение карбида кремния технологически и экономически нецелесообразным. Ситуация усугублялась постоянным ростом цен на электроэнергию и ужесточением требований национальных экологических законодательств. В связи с этим главные производители карбида кремния – компании «Saint – Gobian» (Франция), «Exolon – ESK» (США – ФРГ), «Carborundum Co» (США), «H. Starck Co» (ФРГ) – и др. в 80-е годы разработали и освоили технологические процессы производства так называемого безразмольного карбида кремния, получаемого, как правило, из высокодисперсных шихт печным синтезом в виде микропорошков с последующим их химическим обогащением. Исследования в этом направлении проводились и в нашей стране и завершились с положительными научно-прикладными результатами: снижением температуры синтеза с 2500 – 2900 до 1900 К, т.е. на 600 – 1000°, продолжительности синтеза с 26 – 29 до 1 часа, расхода электроэнергии в 2 – 4 раза; достижением содержания карбида кремния в продуктах синтеза до 90,0 % мас.; получением карбида кремния в виде микропорошков крупностью 1 – 5 мкм; возможностью использования для производства карбида кремния забалансового и техногенного сырья, например, низкокачественных песков, шунгитных пород, микрокремнезема, коксовых пылей и мелочи, полукоксов; возможностью реализации производства карбида кремния в непрерывном режиме, например, с использованием туннельных, трубчатых вращающихся, шахтных печей. В связи с этим было принято решение о внедрении разработок на ряде предприятий Минстанкопрома. Однако происшедшие в стране на рубеже 80 – 90-х годов социально-экономические изменения не позволили реализовать намеченные планы.

Следовательно, научное и технологическое обоснование и реализация производства отечественного безразмольного карбида кремния остается актуальной задачей, имеющей важное прикладное значение. В связи с этим целью настоящей работы явилось изучение процессов карбидизации техногенного микрокремнезема полукоксом из бурых углей Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна, технологические свойства которого исследовались авторами ранее и подробно описаны в работах [1, 2]. Технологическая и экономическая целесообразность применения полукоксов в качестве углеродных восстановителей подтверждена в работах [3 – 6].

Термодинамическое моделирование процессов карбидообразования в системах Si – O – C, Si – O – C – H

Термодинамическое моделирование проведено с целью прогнозирования оптимальных пара-

метров получения карбида кремния (соотношения компонентов, температуры и давления в системе), определения равновесных показателей процесса (степени превращения сырья в карбид, составов газообразных и конденсированных продуктов), оценки вклада в процессы карбидообразования отдельных реакций, обеспечивающих в исследуемых условиях эффективную переработку сырья. В связи с использованием в процессе в качестве восстановителя и карбидизатора буроугольного полукокса с содержанием летучих до 10 %, объектами исследования явились системы Si – O – C, Si – O – C – H.

Расчет равновесных составов систем Si – O – C и Si – O – C – H проводился «константным» методом. Расчеты выполнялись с использованием программы компьютерного моделирования высокотемпературных сложных химических равновесий «PLASMA» (ИХТТИМ СО РАН), имеющей встроенную базу данных продуктов взаимодействия для оксидо-, боридо-, карбидо- и нитридообразующих систем. При расчетах рассматривалась область температур 800 – 2000 К при различном давлении в системе: от 0,1 до 0,0001 МПа. Расчеты проводились с шагом в 100°. Исходными данными служили константы равновесия реакций образования соединений из элементов. При проведении расчетов учитывалась возможность образования в газовой фазе в системе Si – O – C Si, Si⁺, Si⁻, Si₂, Si₃, O, O₂, C, C⁺, C₂, C₃, C₄, C₅, SiO, SiC, SiC₂, Si₃C, CO, CO₂, в системе Si – O – C – H Si, Si⁺, Si⁻, Si₂, Si₃, O, O₂, C, C⁺, C₂, C₃, C₄, C₅, H, H⁺, H₂, CH₂, CH₃, CH₄, C₂H, C₃H, C₄H, C₂H₂, C₂H₄, SiO, SiC, SiC₂, Si₃C, CO, CO₂, в конденсированной фазе в обеих системах Si, SiO₂, C, SiC. Выбор в исследуемых системах соотношений исходных компонентов определялся стехиометрией реакции образования карбида кремния и составом шихтовых материалов. Плодотворность такого подхода при исследовании процессов карбидообразования подтверждена ранее в работах [7, 8].

Результаты расчетов равновесных составов систем Si – O – C и Si – O – C – H для общего давления 0,1 МПа приведены на рисунках 1 и 2, а для давления 0,01 и 0,0001 МПа – в таблицах 1 и 2.

Можно видеть, что в обеих системах процесс карбидообразования является доминирующим



При стехиометрическом составе шихты максимальное содержание в продуктах карбида кремния достигается при 1700 К, а при 10 %-ном недостатке углерода – при 1900 К. Введение в систему водорода фактически не влияет на процесс карбидообразования, что обусловлено крайне низким (менее 0,001 моль) содержанием в температурной области карбидообразования углеводородов и углеводородных радикалов. В системе Si – O – C равновесная степень превращения кремния в карбид не превышает 0,97 %, что соответствует содержанию монооксида кремния в газовой фазе 0,02 моль. Вследствие этого из шихты стехиометрического состава (SiO₂ + 3C) получить однофазный, не содержащий свободный углерод, карбид кремния невозможно (таблица 2).

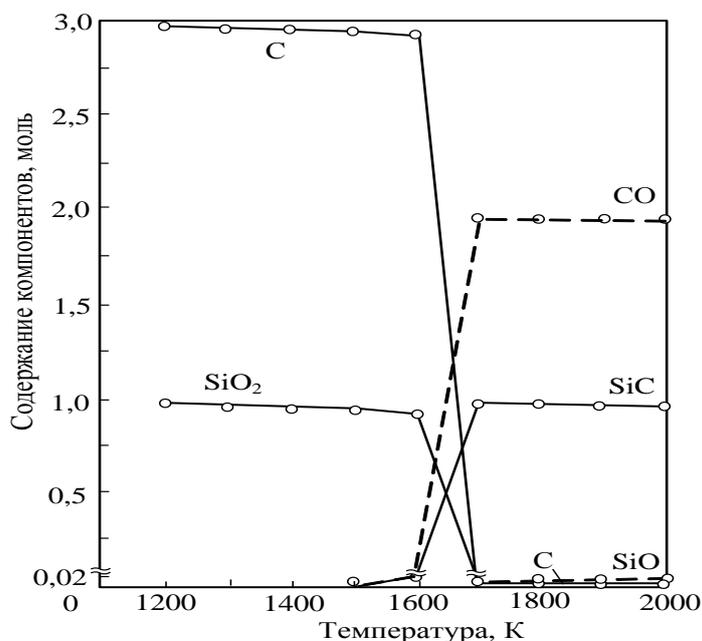


Рисунок 1 – Зависимость равновесного состава системы Si – O – C от температуры при соотношении Si:O:C = 1:2:3 и давлении P = 0,1 МПа (— конденсированные, - - - газообразные продукты)

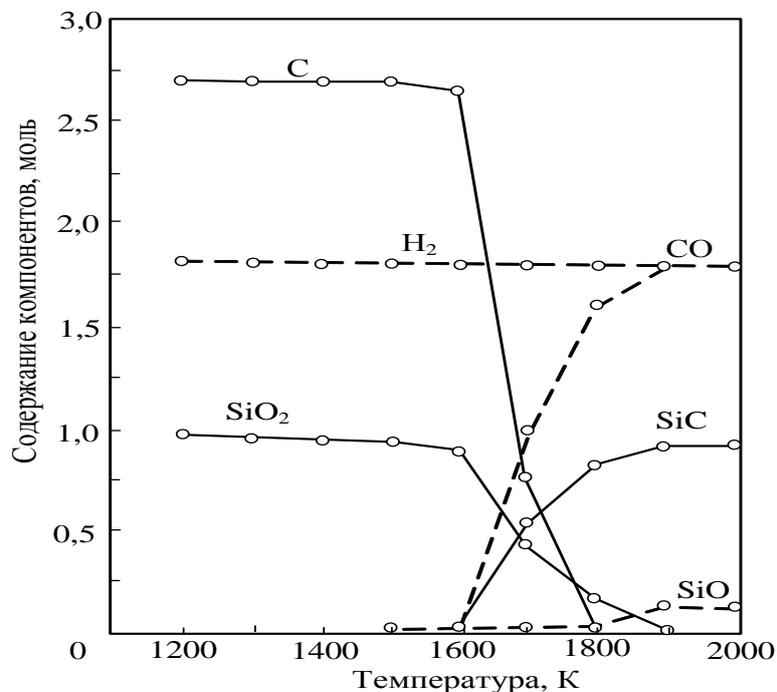


Рисунок 2 – Зависимость равновесных составов системы Si – O – C – H от температуры при соотношении Si:O:C:H = 1:2:2,7:3,6 и давлении P = 0,1 МПа (— конденсированные, - - - газообразные продукты)

Таблица 1 – Равновесные концентрации (в %) конденсированных продуктов взаимодействия в системе Si – O – C при соотношении компонентов Si:O:C = 1:2:3

T, K	P = 0,01 МПа			P = 0,0001 МПа		
	SiO ₂	C	SiC	SiO ₂	C	SiC
800	62,5	37,5	0	62,5	37,5	0
900	62,5	37,5	0	62,5	37,5	0,02
1000	62,5	37,5	0,01	62,2	37,3	0,52
1100	62,4	37,4	0,2	0	0,3	99,71
1200	61,0	36,7	2,3	0	0,4	99,60
1300	0	0,2	99,8	0	0,6	99,40
1400	0	0,2	99,8	0	1,0	99,0
1500	0	0,3	99,7	0	1,3	98,7
1600	0	0,4	99,6	0	2,0	98,0
1700	0	0,6	99,4	0	2,8	97,2
1800	0	0,9	99,1	0	3,7	96,3

Таблица 2 – Равновесные концентрации (в %) конденсированных продуктов взаимодействия в системе Si – O – C – H при соотношении компонентов Si:O:C:H = 1:2:2,7:3,6

T, K	P = 0,01 МПа			P = 0,0001 МПа		
	SiO ₂	C	SiC	SiO ₂	C	SiC
900	64,94	35,06	0	64,94	35,06	0
1000	64,94	35,06	0	64,94	35,06	0,001
1100	64,94	35,06	0,002	64,84	35,00	0,16
1200	64,74	36,04	0,04	62,54	33,86	3,60
1300	64,54	35,94	0,30	12,47	0	87,53
1400	62,84	34,53	2,63	8,95	0	91,05
1500	51,27	26,61	22,12	0	0	100,00
1600	11,35	0	88,65	0	0	100,00
1700	0	0	100,00	0	0	100,00
1800	0	0	100,00	0	0	100,00
1900	0	0	100,00	0	0	100,00

Этого можно избежать при использовании шихты с некоторым (~ 10 %) недостатком углерода - восстановителя (таблица 2). В этом случае в системе появляется область сосуществования карбида кремния и избыточного кремнезема. При этом температурная область сосуществования этих фаз тем шире, чем выше давление в системе. Выше этих температур карбид кремния сам является восстановителем для кремнезема, т.е. становится возможным следующее взаимодействие



В результате этой реакции карбид кремния очищается от избытка кремнезема. Особенно эффективным может быть проведение её в вакууме.

Методика исследования карбидизации микрокремнезема

Исследование карбидизации микрокремнезема проводилось дискретным методом, включающим термическую обработку брикетированной шихты при заданных температурах и длительности и закалку продуктов карбидизации с последующим их химическим анализом.

При проведении исследований использовались микрокремнезем, образующийся при производстве кремния (МК-Кр) и высококремнистого ферросилиция (МК-ФС), содержащий диоксида кремния 93,92 и 93,00 % мас. соответственно, с удельной поверхностью 25000 м²/кг, а также полукокс из бурого угля (БПК) Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна, содержащий, %: углерода – 81,9; летучих – 9,5; золы – 8,6, с удельной поверхностью 264000 м²/кг. Во всех случаях использовались шихты стехиометрического для получения карбида состава.

Исследование температурно-временных условий карбидизации брикетированных моношихт микрокремнезем МК-Кр, МК-ФС-БПК проводилось при температурах 1883, 1923, 1973 К при длительности термической обработки 5, 10, 15, 20, 25, 30 мин.

Термическая обработка шихт проводилась в электропечи сопротивления с цилиндрическим графитовым нагревателем с внутренним диаметром 0,075 м (печи Таммана). Контроль температуры в рабочем пространстве печи проводился с помощью вольфрам-рениевой термопары ВР 5/20. Цилиндрические брикеты массой около 2,5·10⁻³ кг и наружным диаметром 0,015 м помещались в графитовые тигли. Три тигля одновременно устанавливались в рабочее пространство нагретой электропечи, нагревались в ней в течение 3 – 4 мин до заданной температуры, а затем выдерживались в ней в течение заданного периода времени – от 5 до 90 мин. По истечении заданного времени графитовые тигли извлекались из электропечи, устанавливались в корундовые стаканы, которые плотно закрывались пробками и помещались на 10 мин в холодную воду для быстрого охлаждения продуктов карбидизации. Это позволяло предотвратить окисление продуктов карбидизации кислородом и влагой атмосферы. После охлаждения продукты карбидизации количественно, т.е. без потерь, извлекались из тиглей, взвешивались, помещались в платиновые емкости, заливались раствором смеси азотной кислоты концентрацией 7,5 – 12,5М и фтористоводородной концентрацией 2,0 – 3М, взятых в объемном отношении 1: (3 ÷ 5), и кипятились в течение 2,5 – 3,0 часов. Обработка карбида кремния смесью азотной и фтористоводородной кислот обеспечивает удаление примесей алюминия, магния, кальция, железа, марганца, никеля, хрома, меди, натрия, калия, кремния и их оксидов и рекомендуется для порошков карбида кремния крупностью от 5 до 200 мкм. В присутствии азотной кислоты металлические примеси и их оксиды образуют растворимые нитратные комплексы, в то время как при обработке одной фтористоводородной кислотой могут образовываться нерастворимые фториды. После остывания нерастворимый остаток, представляющий собой карбид кремния с примесью свободного углерода, отфильтровывался на бумажном фильтре, промывался на фильтре дистиллированной водой и ацетоном, высушивался до постоянной массы и взвешивался. После этого нерастворенный остаток подвергался окислительному обжигу для рафинирования от свободного углерода при температуре 1073 – 1123 К в течение 1,5 – 2,0 час. По убыли массы рассчитывались содержания в продуктах карбидизации свободного углерода и карбида кремния. По среднему для трех тиглей содержанию карбида кремния рассчитывали его выход как отношение массы практически полученного карбида к теоретически возможной.

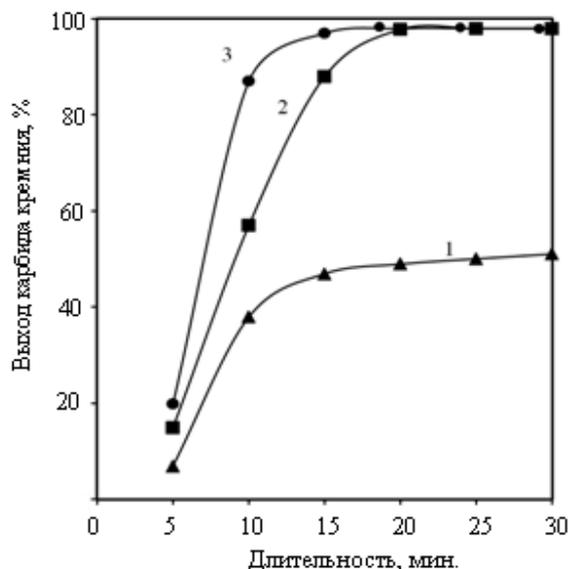
Экспериментальные исследования карбидизации шихт микрокремнезем – буроугольный полукокс и обсуждение результатов

Результаты исследований представлены на рисунках 3 и 4.

В обоих случаях процесс карбидообразования начинается с первых минут и уже к 5-ой минуте выход карбида при температурах карбидизации 1873, 1923, 1973 К составляет 5,23 – 7,21, 17,06 – 22,30, 20,20 – 23,51 %. Процесс карбидизации завершается при температуре 1973 К к 15 минуте, 1923 К – к 20 минуте. Содержание карбида в продуктах термической обработки шихт составляет 92,50 для МК-ФС и 94,90 % мас. для МК-Кр. Такие температурно-временные условия карбидообразования подтверждаются результатами исследования фазового состава продуктов термической обработки.

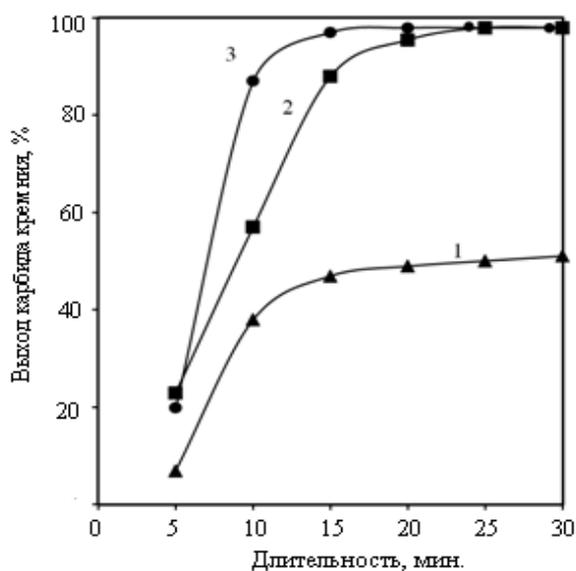
Так, установлено, что в обоих случаях к 10 минуте преобладающей фазой является карбид кремния кубической структуры (β -SiC), частично перестраивающийся при температуре 1923 – 1973 К и длительности термической обработки 50 – 90 мин в гексагональную (α -SiC_{II}). При карбидизации шихты микрокремнезем МК-ФС-БПК ему сопутствует α -железо. Во всех исследованных образцах также присутствует стекловидная фаза, образованная, по-видимому, силикатами кальция, магния и железа.

В результате химического обогащения содержание SiC в карбиде превышает 90 %, т.е. уровень, регламентированный для абразивных микропорошков зернистостью 1 – 2 мкм [9]. Эффективность обогащения от примесей оксидов и железа достаточно высока и составляет 87 – 95 %. Для карбида кремния характерно повышенное содержание кремнезема – более 7 %, что позволяет рассматривать его как перспективный материал для производства карбидокремниевых огнеупоров на кремнеземной связке, содержащих обычно, %: SiC – 84 – 89, SiO₂ – 6 – 12 [10].



(1 – 1873 К (Δ) = (7,21 ÷ 53,13) ± (0,20 ÷ 1,13); 2 – 1923 К (□) = (17,06 ÷ 96,82) ± (0,55 ÷ 1,35);
3 – 1973 К (○) = (20,20 ÷ 97,01) ± (0,61 ÷ 1,45))

Рисунок 3 – Зависимость выхода карбида кремния от температуры и длительности термообработки для шихты микрокремнезем МК-ФС-БПК



(1 – 1873 К : (Δ) = (5,23 ÷ 46,26) ± (0,19 ÷ 1,11); 2 – 1923 К : (□) = (22,30 ÷ 96,78) ± (0,59 ÷ 1,33);
3 – 1973 К : (○) = (23,51 ÷ 97,62) ± (0,67 ÷ 1,38))

Рисунок 4 – Зависимость выхода карбида кремния от температуры и длительности термообработки для шихты микрокремнезем МК-Кр-БПК

Оптимальные условия получения и обогащения карбида кремния и диапазон изменения его основных характеристик для серии из пяти параллельных опытов приведены в таблице 3. Можно видеть, что исследованные технологические варианты обеспечивают получение карбида кремния с воспроизводимыми фазовым, химическим и гранулометрическим составами и могут рассматриваться в качестве технологической основы для проектирования промышленного производства безразмольного карбида кремния из брикетированной высокодисперсной шихты «микрокремнезем – буроугольный полукокс».

Таблица 3 – Оптимальные условия получения и обогащения карбида кремния и его характеристики

Условия получения и обогащения карбида кремния и его основные характеристики	SiC (МК–ФС+БПК)	SiC (МК–Кр + БПК)
Состав шихты, %: микрокремнезем (МК) буроугольный полукокс (БПК)	58,80 42,20	58,04 41,96
Удельная поверхность компонентов шихты, м ² /кг микрокремнезем буроугольный полукокс	20000 – 22000 255000 – 265000	
Температура карбидизации шихты, К	1923 - 1973	
Длительность карбидизации шихты, мин	25 - 20	
Химическое обогащение продуктов карбидизации концентрация раствора соляной кислоты, % соотношение Т:Ж температура, К длительность, час	35 1:2 383 3	
Фазовый состав	β - SiC	
Химический состав, %: SiC Al ₂ O ₃ CaO MgO Fe SiO ₂ С своб. Si своб.	90,42 - 90,86 0,10 - 0,25 0,32 - 0,53 0,12 - 0,18 0,08 - 0,12 7,32 - 7,94 0,41 - 0,54 0,13 - 0,17	90,94 - 91,18 0,10 - 0,15 0,37 - 0,49 0,03 - 0,10 0,05 - 0,11 6,97 - 7,13 0,63 - 0,81 0,23 - 0,27
Выход карбида кремния, %	96,84 - 97,12	97,31 - 97,63
Крупность и морфология частиц карбида кремния: удельная поверхность, м ² /кг размерный диапазон, мкм форма	8000 - 9000 0,2 - 1,0 неправильная	

Выводы.

Проведены термодинамические и экспериментальные исследования процессов восстановительной переработки техногенного микрокремнезема на карбид кремния с применением буроугольного полукокса.

Установлено, что в обеих выбранных для термодинамического анализа системах Si – O – C и Si – O – C – H процесс карбидообразования является доминирующим. При стехиометрическом составе шихты максимальное содержание в продуктах восстановления карбида кремния достигается при 1700 К, а при 10 %-ном недостатке углерода – 1900 К. Второй состав шихты является технологически более предпочтительным, поскольку обеспечивает получение карбида, не содержащего примесей.

Проведена при температурах 1883, 1923, 1973 К и длительности 5 – 30 мин карбидизация брикетированных моношихт микрокремнезем (МК-ФС и МК-Кр) – буроугольный полукокс. Определены оптимальные температурно-временные условия карбидизации: температура 1923 – 1973 К при длительности 20 – 15 минут.

Установлена целесообразность и определены оптимальные условия и показатели химического обогащения продуктов карбидизации: воздействие соляной кислотой концентрации не менее 35 % при температуре 353 К, отношении Т:Ж = 1:2, длительности 3 часа, содержание карбида в продуктах обогащения свыше 90 %, удаление примесей оксидов и железа на 87 – 95 %.

Исследованы фазовый, химический, гранулометрический составы и морфология частиц карбида кремния обоих технологических вариантов получения. Выявлено, что при карбидизации образуется карбид кубической структуры (β -SiC), частично перестраивающийся при температуре 1923 – 1973 К и длительности термической обработки 50 – 90 мин в гексагональную (α -SiC_{II}). Содержание карбида после обогащения составляет 90,42 – 90,86% при использовании микрокремнезема МК-ФС и 90,94 – 91,18 % при использовании микрокремнезема МК-Кр. В обоих случаях карбид кремния получен в виде микропорошка с удельной поверхностью 8000 – 9000 м²/кг, размерным диапазоном частиц 0,2 – 1,0 мкм, имеющих неправильную форму.

Библиографический список

1. Аникин, А.Е. Буроугольный полукокс Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна : производство, свойства, применение / А.Е. Аникин, Г.В. Галевский // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2014. – № 3. – С. 52 – 59.
2. Аникин, А.Е. Производство, свойства и применение буроугольного полукокса Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна / А.Е. Аникин, Г.В. Галевский // Труды XVIII Всероссийской научно-практической конференции «Металлургия: технологии, управление, инновации, качество» : Новокузнецк. – 2014. – С. 115 – 120.
3. Рудыка, В.И. Сталь, уголь, кокс – 2014 и перспектива (Аналитический обзор материалов саммита «Европейский кокс 2014») / В.И. Рудыка, В.П. Малина // Кокс и химия.– 2014.– № 7.– С. 15 – 25.
4. Романов, С.М. Перспективы развития добычи, переработки и использования бурых углей в России / С.М. Романов // Уголь. – 2009. – № 1. – С. 15 – 17.
5. Страхов, В.М. Научные и производственные аспекты получения специальных видов кокса для электротермических производств / В.М. Страхов // Кокс и химия. – 2008. – № 9. – С. 44 – 49.
6. Страхов, В.М. Проблемы с углеродными материалами для рудной и химической электротермии и пути их решения / В.М. Страхов // Кокс и химия. – 2010. – № 8. – С. 29 – 33.
7. Ноздрин, И.В. Синтез и эволюция дисперсности боридов и карбидов ванадия и хрома в условиях плазменного потока / И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, Л.С. Ширяева, М.А. Терентьева // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2011. – № 10. – С. 12 – 17.
8. Ширяева, Л.С. Исследование плазменного синтеза нанокарбида хрома / Л.С. Ширяева, И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии : сб. науч. трудов // СибГИУ. Новокузнецк. – 2012. – № 29. – С. 94 – 101.
9. Гаршин, А.П. Абразивы и материалы конструкционного назначения на основе карбида кремния / А.П. Гаршин, В.М. Шумячер, О.И. Пушкарев.– Волгоград : изд-во ВолгГАСУ, 2008.– 189 с.
10. Сорлье, М. Катоды алюминиевого электролизера / М. Сорлье, Х.А. Ойя ; науч. редактор П.В. Поляков. – Красноярск : Версо, 2013. – 720 с.

УДК 669.014

ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНИЯ НА РАСТВОРИМОСТЬ КИСЛОРОДА В РАСПЛАВАХ Ni-Co И Ni-Co-Cr

Александров А.А., Дашевский В.Я.

*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН,
Москва, Россия, a.a.aleksandrov@gmail.com*

Аннотация: Проведен термодинамический анализ растворов кислорода в расплавах систем Ni-Co и Ni-Co-Cr, содержащих алюминий. Рассчитаны зависимости растворимости кислорода в изученных расплавах от содержания кобальта и алюминия при 1873 К. Определены содержания алюминия, при которых происходит смена механизма реакции раскисления расплавов Ni-15%Co-10%Cr, Ni-20%Co-15%Cr и Ni-40%Co-10%Cr. Определены содержания алюминия в точках минимума на кривых растворимости кислорода.

Ключевые слова: система Ni-Co, система Ni-Co-Cr, расплавы, кислород, алюминий, термодинамический анализ, параметры взаимодействия.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	4
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАВКИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОСТАВНЫХ СОПЕЛ В КИСЛОРОДНЫХ ФУРМАХ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОНВЕРТЕРОВ.....	4
Солоненко В.В., Протопопов Е.В., Фейлер С.В., Темлянцев М.В. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО, ИНЖИНИРИНГ	8
Чжан Кэ НОВОКУЗНЕЦКИЙ АЛЮМИНИЕВЫЙ ЗАВОД НАКАНУНЕ 75-ЛЕТИЯ	11
Жирнаков В.С., Большаков Д.Г., Пинаев А.А., Казанцев М.Е. «КУЗНЕЦКИЕ ФЕРРОСПЛАВЫ» - 75 ЛЕТ ОТВЕЧАЯ НА ВЫЗОВЫ - В НОГУ СО ВРЕМЕНЕМ.....	18
Коренная К.А. ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВУЗА КАК РЕСУРС РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ И СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ РЕГИОНА (ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТНОГО ОБУЧЕНИЯ В СИБГИУ)	21
Протопопов Е.В., Феоктистов А.В., Галевский Г.В., Гордеева О.В., Васильева М.Б. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ.....	27
Спирин Н.А., Павлов А.В., Полинов А.А., Онорин О.П., Лавров В.В. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МИРОВОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ.....	34
Галевский Г.В., Руднева В.В., Александров В.С. РАСЧЕТ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ Al-Zr-Fe-Si.....	39
Достаева А.М., Смагулов Д.У., Немчинова Н.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОЛИЗА И КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ.....	44
Крюковский В.А., Сиразутдинов Г.А., Минцис М.Я., Поляков П.В. РАСЧЁТ ПРОЦЕССА ОБЖИГА РУДОУГОЛЬНЫХ ОКАТЫШЕЙ НА КОНВЕЙЕРНОЙ МАШИНЕ	49
Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г., Спирин Н.А., Лавров В.В. ТЕРМОДИНАМИКА РАСТВОРОВ КИСЛОРОДА В РАСПЛАВАХ СИСТЕМЫ Fe-Co, СОДЕРЖАЩИХ УГЛЕРОД	55
Дашевский В.Я., Александров А.А., Леонтьев Л.И. ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ОЛОВА, РАСТВОРЕННОГО В ЖИДКОМ НИКЕЛЕ, ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЭКЗОГЕННЫМИ ТУГОПЛАВКИМИ НАНОФАЗАМИ ZrO ₂	60
Анучкин С.Н. ПРИМЕНЕНИЕ БОРА В ПРОЦЕССАХ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	65
Кель И.Н., Жучков В.И. МОДЕРНИЗАЦИЯ КАТОДНОГО УЗЛА АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ С АНОДОМ СОДЕРБЕРГА ПРИ ВНЕДРЕНИИ АПГ	70
Минцис М.Я., Галевский Г.В. ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННОГО МИКРОКРЕМНЕЗЕМА С ПРИМЕНЕНИЕМ БУГОУГОЛЬНОГО ПОЛУКОКСА.....	73
Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г. ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНИЯ НА РАСТВОРИМОСТЬ КИСЛОРОДА В РАСПЛАВАХ Ni-Co и Ni-Co-Cr.....	80
Александров А.А., Дашевский В.Я. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	85
Крушенко Г.Г., Назаров В.П., Платонов О.А., Решетникова С.Н. ВЫПЛАВКА ЧЕРНОВОЙ СУРЬМЫ В УСЛОВИЯХ МАЛОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	90
Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСЧЁТА ПРОЦЕССА ОБЖИГА МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ.....	93
Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г., Спирин Н.А., Лавров В.В. О РАСЧЕТЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТОПРОВОДОВ ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ.....	98
Левшин Г.Е.	

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ РАСПЛАВОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛАКА.....	104
Журавлев А.А. ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛИБДЕНОВЫХ РУД	107
Полях О.А., Журавлев А.Д. ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАВКИ НА СТЕПЕНЬ УДАЛЕНИЯ ФОСФОРА.....	111
Настюшкина А.В., Шевченко Е.А., Шевченко А.А. К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СТАЛИ КОНВЕРТЕРНЫМ ВАНАДИЕВЫМ ШЛАКОМ	114
Рыбенко И.А., Голодова М.А., Нохрина О.И., Рожихина И.Д. ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ИККИЖЕЛОН» (РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН).....	118
Рахманов О.Б., Аксенов А.В., Немчинова Н.В., Солихов М.М., Черношвец Е.А. ВЕДЕНИЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА.....	123
Ёлкин К.С., Ёлкин Д.К., Карлина А.И. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ ОБНОВЛЕНИЯ ЦЕННОСТЕЙ МОЛОДЕЖИ	127
Власов А.А., Бажин В.Ю., Копцев А.Е. ПРЯМОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗА: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ТЕНДЕНЦИИ.....	130
Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Ходосов И.Е.	
СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА.....	135
ИССЛЕДОВАНИЕ УГАРА РЕССОРНО-ПРУЖИННОЙ СТАЛИ МАРКИ 40С2 ПРИ НАГРЕВЕ ПОД ПРОКАТКУ И ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ, ХИМИЧЕСКОГО И ФАЗОВОГО СОСТАВА ЕЕ ОКАЛИНЫ	135
Темлянец М.В., Коноз К.С., Кузнецова О.В., Деев В.Б., Живаго Э.Я. ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ 100-М ДИФФЕРЕНЦИРОВАННО ЗАКАЛЕННЫХ РЕЛЬСОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ	140
Юрьев А.А., Громов В.Е., Морозов К.В., Иванов Ю.Ф., Коновалов С.В., Семин А.П. РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АВТОЛИСТА ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА В УСЛОВИЯХ СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ 2500.....	144
Кондрашов С.А., Голубчик Э.М., Мартынова Т.Ю. МИКРОСТРУКТУРА И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ ХАРДОКС 450, МОДИФИЦИРОВАННОЙ НАПЛАВКОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ Fe-C-Cr-Nb-W И ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКОЙ	151
Громов В.Е., Кормышев В.Е., Глезер А.М., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф., Семин А.П. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ ПОСЛЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ	155
Нго Као Кыонг, С.А. Зайдес	155
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ДЕФОРМИРОВАННОЙ ПРОВОЛОКИ	159
Сычков А.Б., Столяров А.Ю., Камалова Г.Я. Ефимова Ю.Ю., Егорова Л.Ю., Гулин А.Е. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИМ ТЕХНОЛОГИЯМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	165
Деев В.Б., Приходько О.Г., Пономарева К.В., Куценко А.И., Сметанюк С.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ СПОСОБОМ “КОНФОРМ”	169
Фастыковский А.Р., Селиванова Е.В., Федоров А.А. ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ПОРИСТЫХ СТРУКТУР	172
Куницина Н.Г., Ташметова М.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ ТОНКИХ ШИРОКИХ СТАЛЬНЫХ ПОЛОС	176
Кожевникова И.А., Кожевников А.В. АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	180
Фастыковский А.Р.	

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС И АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДЕФЕКТНОСТИ ОТЛИВОК.....	184
Князев С.В., Скопич Д.В., Фатьянова Е.А., Усольцев А.А., Чепрасов А.И. ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В РАБОТЕ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	190
Фастыковский А.Р. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ МАРКИ 30ХГСА НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ ОБОРУДОВАНИИ	194
Иванов А.А., Осколкова Т.Н. ПЛАЗМЕННАЯ ЗАКАЛКА ЗАЭВТЕКТОИДНЫХ СТАЛЕЙ.....	199
Сафонов Е.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ.....	205
Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И., Куценко А.А., Пономарева К.В., Соколов Б.М., Ознобихина Н.В. АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ВОЛОЧЕНИЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ	208
Полякова М.А., Гулин А.Е. ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВОЙ ПРОДУКЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ УНИВЕРСАЛЬНОГО РЕЛЬСОБАЛОЧНОГО СТАНА	213
Уманский А.А., Головатенко А.В., Дорофеев В.В. АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ МЕЖКЛЕТЬЕВОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА В ЛПЦ-1 АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ».....	219
Ковальчук Т.В., Макаров Я.В., Лицин К.В. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАЛИВКИ НА СТРУКТУРУ ОТЛИВОК ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ.....	222
Аринова С.К., Исагулов А.З., Квон Св.С., Куликов В.Ю., Щербакова Е.П., Достаева А.М.	
СЕКЦИЯ 3: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ, ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ.....	228
ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ ТАНТАЛА (АГП) С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.....	228
Кайназарова А.Э., Кокаева Г.А., Ревуцкий А.В. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАРБИДА ЦИРКОНИЯ	232
Алексеева Т.И., Галевский Г.В., Руднева В.В., Черепанов А.Н., Стафецкий Л., Галевский С.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СПЛАВА БАББИТА Б83, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПРУТКОВ.....	235
Калашников И.Е., Болотова Л.К., Кобелева Л.И., Быков П.А., Колмаков А.Г., Михеев Р.С. СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ, СФОРМИРОВАННЫХ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ ГЕТЕРОФАЗНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	239
Рашковец М.В., Никулина А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПОСОБА ПОДГОТОВКИ ШИХТЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОШКОВ КАРБИДА ТИТАНА	245
Крутский Ю.Л., Ложкина Е.А. О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДИБОРИДА ТИТАНА В УСЛОВИЯХ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА.....	248
Галевский Г.В., Руднева В.В., Ефимова К.А. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	254
Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Патрушев А.О. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ В ГАЛЬВАНИКЕ, КЕРАМИКЕ, МОДИФИЦИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ.....	257
Руднева В.В., Галевский Г.В., Галевский С.Г., Черновский Г.Н. МНОГОФАКТОРНЫЙ РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ СВАРКИ РЕЛЬСОВ НА МАШИНЕ К1000	264
Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Патрушев А.О., Усольцев А.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ.....	267
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Князев С.В., Чинин Н.А.	

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ СВАРКЕ С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ ФИЗИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ. Ч.1. ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ПРИНЦИПЫ	271
Апасов А.М.	
МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ СВАРКЕ С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ ФИЗИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ. Ч.2. СИСТЕМА АКТИВНОГО ВОЗДЙСТВИЯ НА ЗАРОЖДАЮЩИЕСЯ ДЕФЕКТЫ.....	278
Апасов А.М.	
РАЗРАБОТКА НОВЫХ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОВШЕВОГО ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА И БАРИЙ - СТРОНЦИЕВОГО МОДИФИКАТОРА	288
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Михно А.Р., Уманский А.А.	
ПРИМЕНЕНИЕ КАРБИДА ЦИРКОНИЯ: ОЦЕНКА, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОМИНИРУЮЩИХ ТЕНДЕНЦИЙ И ПЕРСПЕКТИВ	293
Алексеева Т.И., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАРИЙ-СТРОНЦИЕВОГО КАРБОНАТИТА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ НА ОСНОВЕ ШЛАКА ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКОМАРГАНЦА.....	296
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Бурнаков М.А., Михно А.Р., Федотов Е.Е.	
ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ И СОСТАВА ПРОДУКТОВ ПЛАЗМООБРАБОТКИ МИКРОПОРОШКА КАРБИДА КРЕМНИЯ.....	299
Руднева В.В., Галевский Г.В., Черновский Г.Н.	
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co.....	305
Гусев А.И., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Попова М.В., Корнев Е.С.	
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО СИНТЕЗА КАРБИДА ЦИРКОНИЯ	311
Алексеева Т.И., Галевский Г.В., Руднева В.В.	
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОБАЛЬТА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ МЕТАЛЛА НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V	316
Осетковский И.В., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Попова М.В., Корнев Е.С.	
ИЗГОТОВЛЕНИЕ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБИДА БОРА ГОРЯЧИМ ПРЕССОВАНИЕМ.....	321
Крутский Ю.Л., Непочатов Ю.К., Пель А.Н. Черкасова Н.Ю.	
О ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ WO ₃ ПРИ ДУГОВОМ РАЗРЯДЕ.....	324
Бояринцев С.Е., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Наумчик А.Д., Усольцев А.А.	
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФЛЮСОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ НАПЛАВКЕ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ	327
Уманский А.А. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Соколов П.Д., Думова Л.В.	
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СВАРКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	332
Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Патрушев А.О., Усольцев А.А.	
ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА НА ОСНОВЕ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ СИЛИКОМАРГАНЦА	336
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Федотов Е.Е., Непомнящих А.С.	
СЕКЦИЯ 4: ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И АГРЕГАТАХ. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ.....	
340	
РОЛЬ ТЕПЛОФИЗИКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В МЕТАЛЛУРГИИ.....	
340	
Дружинин Г.М., Зайнуллин Л.А., Казяев М.Д., Лисиенко В.Г., Спириин Н.А., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г.	
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ДИАГНОСТИКЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫХ АГРЕГАТОВ НА УЧАСТКЕ МНЛЗ – НАГРЕВАТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО	348
Бирюков А.Б., Иванова А.А.	
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	352
Матюхин В.И., Ярошенко Ю.Г., Матюхин О.В., Журавлев С.Я	
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АГЛОМЕРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ О МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ	358
Петрышев А.Ю., Колясников А.Ю., Лопатин А.С., Клейн В.И., Берсенов И.С.	
ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ.....	362
Рощупкина Е.Ю., Кожухова В.И., Кожухов А.А., Бондарчук А.А.	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	364
Михайличенко Т.А., Сюсюкин А.Ю., Гальчун А.Г.	

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., Темлянцев М.В., Темлянцев 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
Полтойainen 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