

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Российская академия естественных наук

*90-летию Сибирского государственного
индустриального университета посвящается*

**ВЕСТНИК
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

Сборник научных трудов

Издается с 1994 г. ежегодно

Выпуск 42

Москва
Новокузнецк
2019

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

В 387

В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Вып. 42 / Редкол.: Е.В. Протопопов (главн. ред.), М.В. Темлянцев (зам. главн. ред.), Г.В. Галевский (зам. главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2019 – 191 с., ил.

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Научные издания»

Ил. 66, табл. 22, библиогр. назв. 170.

Редакционная коллегия: Аренс В.Ж., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН, г. Москва; Райков Ю.Н., д.т.н., д.ч. РАЕН, председатель горно-металлургической секции РАЕН, АО «Институт Цветметобработка», г. Москва; Протопопов Е.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (главный редактор), СибГИУ, г. Новокузнецк; Темлянцев М.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Галевский Г.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Буторина И.В., д.т.н., проф., СПбГПУ, г. Санкт-Петербург; Волокитин Г.Г., д.т.н., проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск; Медведев А.С., д.т.н., проф., д.ч. МАН ВШ, НИТУ «МИСиС», г. Москва; Немчинова Н.В., д.т.н., проф., НИ ИрГТУ, г. Иркутск; Руднева В.В., д.т.н., проф. (отв. секретарь), СибГИУ, г. Новокузнецк; Спирин Н.А., д.т.н., проф., д.ч. АИН, УрФУ, г. Екатеринбург; Черепанов А.Н., д.ф.-м.н., проф., член РНК ТММ, ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск; Юрьев А.Б., д.т.н., проф., СибГИУ, г. Новокузнецк.

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ И РУКОВОДИТЕЛЯХ АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

Белов Н.А.	д-р техн. наук, проф., НИТУ «МИСиС», г. Москва
Волокитин Г.Г.	д-р техн. наук, проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск
Галевский Г.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Деев В.Б.	д-р техн. наук, проф., НИТУ «МИСиС», г. Москва
Никитин А.Г.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Ноздрин И.В.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Оршанская Е.Г.	д-р пед. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Перетяцько В.Н.	д-р техн. наук, проф., д.ч. АИН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Руднева В.В.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Темлянцев М.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Фастыковский А.Р.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Шур Е.А.	д-р техн. наук, проф., ВНИИЖТ, Москва

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ.....	7
<i>А.А. Уманский, Я.В. Денисов</i> Исследование влияния параметров производства слитков конвертерной стали на качество их внутренней структуры.....	8
<i>А.А. Уманский, А.В. Головатенко, А.С. Симачев, О.А. Решетнев</i> Анализ влияния параметров производства электростали на качественные показатели рельсов.....	16
<i>А.А. Уманский, А.В. Головатенко, А.С. Симачев</i> Исследования состава и распределения неметаллических включений по сечению рельсовых профилей	22
<i>В.Б. Деев, А.И. Куценко, О.Г. Приходько, Е.С. Прусов, А.А. Соколев</i> Влияние внешних воздействий на процессы кристаллизации сплавов и затвердевания отливок.....	28
<i>А.Г. Никитин, К.С. Медведева, П.Б. Герике</i> Экспериментальное исследование процесса разрушения кусков ферросплава в одновалковой дробилке с упором на валке	37
<i>А.Г. Никитин, А.В. Абрамов, В.В. Горяшин</i> Исследования работы щековой дробилки с устройствами выборки зазоров в шарнирах	40
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	43
<i>Т.И. Алексеева, Г.В. Галевский, В.В. Руднева, С.Г. Галевский</i> Освоение технологии производства нанокристаллического карбида циркония.....	44
ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ.....	49
<i>С.С. Мишуров, В.Б. Деев, Н.А. Белов, А.А. Соколев</i> Разработка высокопрочного литейного сплава на основе системы легирования Al-Zn-Mg-Fe-Ni	50
<i>С.С. Мишуров, В.Б. Деев, С.М. Дубинский, А.А. Соколев</i> Исследование литейных свойств, структуры и свойств высокопрочных сплавов системы Al-Zn-Mg-Ni-Fe	54
<i>В.В. Дорошенко, В.Б. Деев, Н.А. Белов</i> Исследование жидкотекучести сплавов на основе алюминиево-кальциевой эвтектики.....	63
<i>В.В. Дорошенко, В.Б. Деев, Н.А. Белов</i> Исследование возможности использования шихты с повышенным содержанием железа при получении сплавов на основе алюминиево-кальциевой эвтектики	66

<i>С.С. Мишууров, В.Б. Деев, С.М. Дубинский, А.А. Соколев</i> Разработка методов удаления деформированного слоя с поверхности пористых изделий из безникелевого титанового сплава биомедицинского назначения	69
<i>В.Н. Цвигун, Е.А. Шур, Р.С. Койнов</i> Микродеформации и разрушения вблизи вершины трещины при монотонном нагружении.....	76
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	86
<i>О. Шлик, А. Шлик, А. Шлик</i> Акустическая компьютерная система Accusteel контроля и управления технологическим процессом электродугового и конвертерного переделов стали - технология XXI века	87
<i>А.М. Анасов</i> Техногенные катастрофы и их предупреждение	107
<i>С.В. Кривошеев, О.И. Гордиевский, И.В. Ноздрин</i> Использование отвальных шламов химических предприятий в качестве вторичного металлургического сырья.....	119
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	126
<i>С.Г. Коротков, М.В. Темлянцев, В.В. Стерлигов</i> Кафедре теплоэнергетики и экологии Сибирского государственного индустриального университета 85 лет. Дела. События. Люди	127
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i> Кафедра металлургии цветных металлов и химической технологии СибГИУ - 50 лет в образовании и науке	142
<i>А.Р. Фастыковский, В.Н. Перетяцько</i> Этапы становления кафедры «Обработка металлов давлением и металловедения. ЕВРАЗ ЗСМК».....	159
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	171
<i>Е.Г. Оршанская</i> Особенности академического билингвизма в условиях обучения в вузе	172
<i>С.В. Шемберг</i> Обучение техническому переводу: сложности перевода антропонимов.....	178
ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ И БИОГРАФИИ.....	182
<i>Г.Г. Волокитин</i> Рецензия на монографию «Диборид титана. Нанотехнология, свойства, применение» (Авторы Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – 209 с.).....	183
<i>Г.Г. Волокитин</i> Рецензия на учебное пособие «Оборудование и технология производства сверхтвердых материалов» (Авторы Г.В. Галевский, В.В. Руднева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – 211 с.).....	186
К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ	189

Т.И. Алексеева¹, Г.В. Галевский¹, В.В. Руднева¹, С.Г. Галевский²

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия, kafcmet@sibsiu.ru

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КАРБИДА ЦИРКОНИЯ

Разработан на основе интерпретации результатов теоретических и экспериментальных исследований непрерывный технологический процесс получения карбида циркония в плазмометаллургическом реакторе.

Based on the interpretation of the results of theoretical and experimental studies, a continuous technological process for the production of zirconium carbide in a plasma-metallurgical reactor was developed.

Введение

Одной из важнейших задач современного материаловедения является получение материалов для работы в экстремальных условиях – при высоких температурах и напряжениях, под воздействием агрессивных сред и т.п. В решении этих задач существенная роль принадлежит использованию соединений тугоплавких металлов с бором, углеродом, азотом, кремнием – боридов, карбидов, нитридов и силицидов, которые, наряду с высокой твердостью и тугоплавкостью, обладают жаростойкостью и жаропрочностью, специфическими физическими и химическими свойствами. Среди карбидов тугоплавких металлов высокими эксплуатационными свойствами обладает карбид циркония, что делает его потенциально пригодным для решения многих задач современного материаловедения. Быстротечный синтез в условиях турбулентного химически активного плазменного потока (т.н. плазмосинтез) в непрерывном режиме обеспечивает получение карбида циркония в нанодисперсном состоянии.

Проведены экспериментальные исследования процессов карбидообразования, протекающих в азотно-водородном высокотемпературном потоке при плазменной переработке, содержащих диоксид циркония – природный газ (метан):

1. На основании полученных результатов выбран в качестве сырья для получения карбида циркония порошок диоксида циркония марки ЦрО ГОСТ 21907-76, природный газ (метан), технический азот ГОСТ 9293-84. Установлено, что продуктом карбидообразования является карбид циркония ZrC.

2. Получены для исследуемого технологического варианта уравнения, описывающие зависимости содержания в продуктах карбида циркония, свободного углерода (в %) от основных технологических факторов:

$$[\text{ZrC}] = -109,72 + 0,0371 T_0 + 0,0034 T_3 - 0,0687 \{\text{CH}_4\},$$

$$[\text{ZrO}_2] = 174,44 - 0,02995 T_0 - 0,00236 T_3,$$

$$[\text{C}_{\text{своб}}] = -101,33 + 0,015 T_0 + 0,0079 T_3 + 1,2487 \{\text{CH}_4\} - 0,00019 T_0 \{\text{CH}_4\} - 0,00008 T_3 \{\text{CH}_4\},$$

$$[\text{N}] = -7,092 + 0,0013 T_0 + 0,00064 T_3,$$

(в уравнениях T_0 – начальная температура плазменного потока (5000 – 5400 К); T_3 – температура закалки (2000 – 2800 К); $\{\text{CH}_4\}$ – количество восстановителя (100 – 130 % от стехиометрически необходимого для получения ZrC).

3. Определены особенности и предложен вероятный механизм образования карбида циркония по схеме «пар – кристалл», предположительно при взаимодействии паров циркония и циана; составлена обобщенная гипотетическая схема карбидообразования, содержащая 2 зоны: высокотемпературную зону (6000 – 3500 К) формирования реакционной смеси, в которой происходят процессы испарения порошка циркония, и более низкотемпературную (3500 – 2000 К), в которой происходит конденсация паров циркония, значительное снижение концентрации углеводородов и образование карбида циркония.

4. Проведена комплексная физико-химическая аттестация карбида циркония. Установлено:

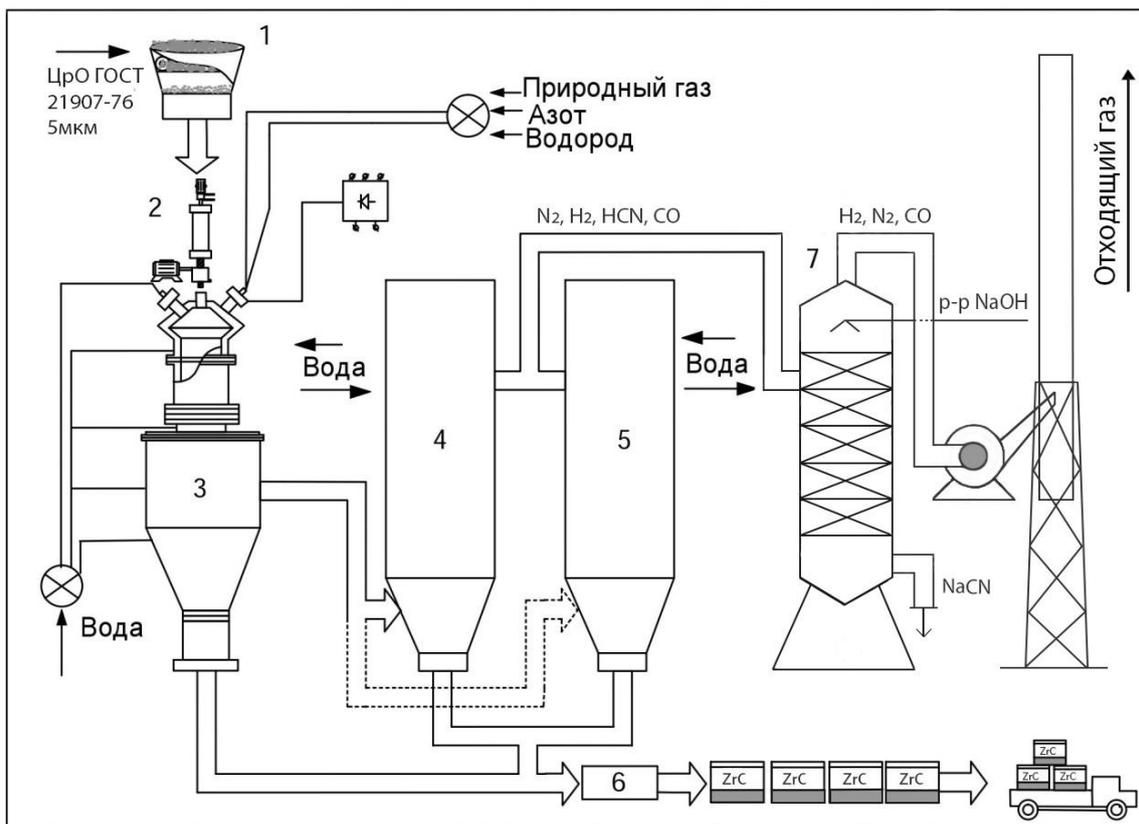
- содержание карбида циркония в полученных продуктах, не контактировавших с воздухом, составляет 94,2 – 93,61 %, сопутствующих примесей, %: диоксида циркония 4,56 – 5,27 %, углерода свободного 1,32 – 1,12 %, азота 1,87 – 2,12 %;

- карбид циркония получен в нанокристаллическом состоянии, представлен ограниченными частицами кубической формы размерного диапазона от 10 до 40 нм.

На основе интерпретации результатов теоретических и экспериментальных исследований разработан непрерывный технологический процесс получения карбида циркония в плазмометаллургическом реакторе.

Для реализации плазмосинтеза карбида циркония предлагается аппаратно-технологическая схема, представленная на рисунке 1 [1-3], включающая следующие операции и стадии: 1) входной контроль сырья и технологических газов; 2) подготовка порошка ZrO_2 : хранение, дозирование; загрузка в порошок дозатор; 3) плазмообработка; 4) охлаждение и частичное осаждение в закалочной-осадительной камере отходящего от реактора газового потока до рабочей температуры рукавных металлочаневых фильтров (600-800 К), отделение от него карбида циркония в фильтрах; 5) аттестация нанокристаллического ZrC по химическому составу и дисперсности, упаковка в запаянные двойные полиэтиленовые пакеты и отправка на склад готовой продукции.

Основные показатели качества и технико-экономические показатели получения карбида циркония для условий производства заказных партий представлены в таблице. Производственная себестоимость и отпускная цена рассчитывались в соответствии с рекомендациями [4]. Требуемый объем инвестиций для организации производства карбида циркония в составе 3-х плазмометаллургических реакторов общей мощности 450 кВт составляет 123,7 млн. руб. При этом прогнозируется достижение годовой производительности 54 т/год при отпускной цене 35142 руб./кг (576\$/кг). Себестоимость карбида циркония составляет 20539 руб./кг и имеет следующую структуру, %: сырье, материалы, электроэнергия 86; заработная плата и отчисления на социальные нужды 3; содержание и эксплуатация оборудования 4; расходы общецеховые, общехозяйственные, коммерческие 7. Срок окупаемости капитальных вложений составляет четыре месяца.



1 – протирка порошкообразного сырья; 2 – загрузка порошка ZrO_2 в дозатор; 3 – плазмообработка; 4-5– охлаждение отходящего пылегазового потока и отделение целевого продукта; 6 – сбор, контроль качества и упаковка; 7 – абсорбционный вариант обезвреживания отходящих газов

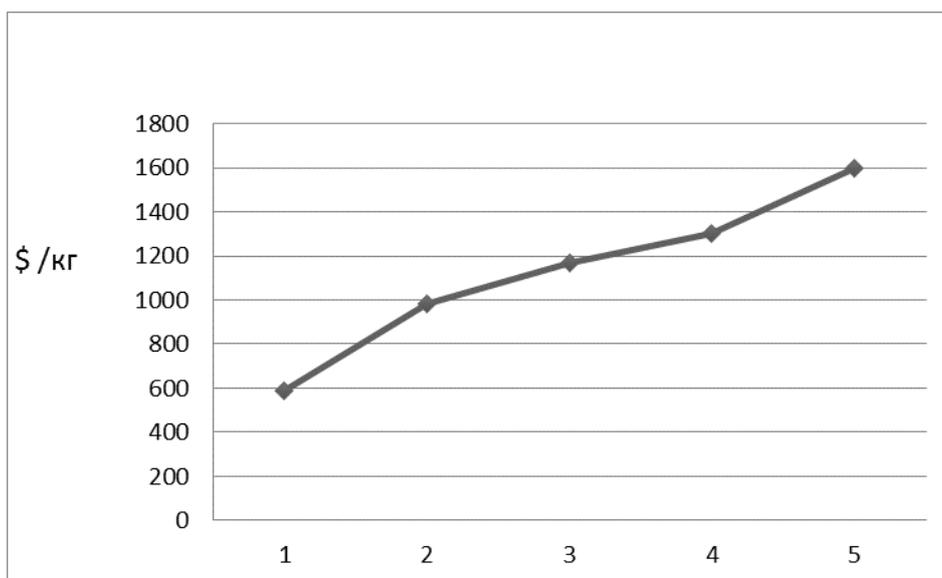
Рисунок 1 – Аппаратурно-технологическая схема получения карбида циркония

Таблица – Основные показатели качества и технико-экономические показатели получения карбида циркония

Показатели	Значение
Производственная площадь, м ²	300
Установленная мощность, кВт	450
Количество реакторов, шт	3
Коэффициент использования оборудования, доли ед.	0,7
График работы, количество смен	2 смены x 12 час.
Инвестиции в основные и оборотные фонды, млн. руб.	123,7
Удельный расход газа теплоносителя (азота), т/т	5,73
Удельный расход природного газа (метана), т/т	0,15
Удельный расход цирконийсодержащего сырья, т/т	0,99
Удельный расход электроэнергии, тыс. кВт·ч/т	42,81
Содержание основной фазы (ZrC), %	92
Годовая потребность в сырье, т/год	
- диоксид циркония ЦрО ГОСТ 21907-76	26,3
- природный газ (метан)	4,9
Годовая производительность, т/год	54,5
Плановая себестоимость, руб/кг	20539
Цена (на 01.05.2018), руб/кг	35142
Срок окупаемости капитальных вложений, лет	0,3

Сопоставление цены с ценовыми предложениями для нанокристаллического карбида циркония зарубежных компаний, представленное на рисунке 2, свидетельствуют о конкурентоспособности разработанного технологического процесса.

Разработан на основе интерпретации результатов теоретических и экспериментальных исследований непрерывный технологический процесс получения карбида циркония в плазмометаллургическом реакторе, включающий подготовку сырья, плазмогенерацию, плазмообработку цирконий-углеродсодержащего сырья, образование ZrC, его принудительное охлаждение и выделение из потока отходящих от реактора технологических газов. Технологический процесс обеспечивает в условиях работы с коэффициентом использования оборудования 0,7 производительность 18,16 т/год на один реактор при отпускной цене 35 142 руб./кг.



- 1 – Предлагаемая технология; 2 – «American Elements» (Лос-Анджелес);
 3 – «PlasmaChem GmbH» (Берлин); 4 – «NEOMAT Co» (Саласпилс);
 5 – «Nanostructured & Amorphous Materials, Inc.» (Хьюстон)

Рисунок 2 – Мировой уровень цен на нанокристаллический карбид циркония

Заключение

Сформулированы на основе сформированных представлений об особенностях физико-химических свойств карбида циркония в нанокристаллическом состоянии технические прогнозы и предложения по применению его в составе функциональных защитных покрытий. В условиях ООО «Полимет» установлена целесообразность применения карбида циркония в составе коррозионностойких защитных покрытий на основе никеля взамен используемых наноалмазов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубчак Р.В. Совершенствование производства алюминия за рубежом / Р.В. Дубчак // Цв. металлургия – 1994 - №10 – С. 28-33.
2. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Мировое и отечественное производство: оценка, тенденции, прогнозы. / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис – М.: Флинта: Наука, 2004 – 280 с.
3. Технология наноматериалов : практикум / Сиб. гос. индустр. ун-т, сост. ; Г.В. Галевский, В.В. Руднева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. – 29 с., ил.
4. Керимов В.Э. Учет затрат, калькулирование и бюджетирование в отдельных отраслях производственной сферы / В.Э. Керимов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство-торговая корпорация «Дашков и К», 2014. – 384 с.