

**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**

8. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1980. – 496 с.  
9. Blott S. J. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. London.: Royal Holloway University of London, 2001. P. 1237-1248.

УДК 669.046:536.45

## О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДИБОРИДА ТИТАНА В УСЛОВИЯХ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА

Галевский Г.В., Руднева В.В., Ефимова К.А.

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

**Аннотация:** Изучены температурная зависимость состава образующихся газообразных и твердых продуктов, состав термодесорбированных с поверхности диборида титана газообразных соединений, морфология наночастиц. Анализ результатов позволяет предложить вероятный механизм образования диборида титана по схеме «пар – расплав – кристалл». Составлена обобщенная гипотетическая схема боридообразования, содержащая высокотемпературную (5400 – 3500 К) зону формирования реакционной смеси и более низкотемпературную (3500 – 2000 К) зону образования диборида титана.

**Ключевые слова:** титан-борсодержащее сырье, плазмообработка, диборид титана, боридообразование, механизм.

## ABOUT THE MECHANISM OF FORMATION OF TITANIUM DIBORIDE IN CONDITIONS OF PLASMA FLOW

Galevsky G.V., Rudneva V.V., Efimova K.A.

*Siberian State Industrial University  
Novokuznetsk, Russia, kafcmet@sibsiu.ru*

**Abstract:** The temperature dependence of the composition of gaseous and solid products formed, the composition of gaseous compounds thermodesorbed from the surface of titanium diboride, and the morphology of nanoparticles are studied. Analysis of the results suggests a possible mechanism for the formation of titanium diboride in the "vapor-melt-crystal" scheme. A generalized hypothetical scheme of boride formation containing a high-temperature (5400-3500 K) reaction mixture formation zone and a low-temperature (3500-2000 K) titanium diboride formation zone was compiled.

**Keywords:** titanium-boron-containing raw materials, plasma treatment, titanium diboride, boride formation, mechanism

### *Введение*

Современная металлургия обеспечивает мировую экономическую систему разнообразной металлопродукцией как массового, так и специального назначения. По данным World Steel Association, в структуре потребления металлопродукции 94 % приходится на сплавы железа, цветных металлов – 5 %, 1% составляет разнообразная по номенклатуре группа металлосодержащих материалов с особым комплексом свойств. В этой группе важное место занимают бориды металлов подгрупп титана, ванадия и хрома, материалы и сплавы на их основе, которые благодаря уникальному сочетанию практически значимых свойств применяются в машино-, авиа- и ракетостроении для решения прикладных инженерно-технических и производственных задач, требующих высокотемпературных, сверхтвердых, жаропрочных, жаростойких, износоустойчивых конструкционных, огнеупорных, наплавочных материалов и защитных покрытий, способных работать в экстремальных условиях.

В эту группу входит диборид титана  $TiB_2$ , исследованный и введенный в обращение научной школой известного российского ученого-материаловеда Самсонова Г.В. более 50 лет назад и востребованный до сих пор в технологии различных материалов: металлокерамических инструментальных и конструкционных, огнеупорных и абразивных, напыляемых и наплавляемых, для модифицирования и смачиваемых металлами покрытий [1, 2]. При этом прикладной интерес к дибориду титана постоянно растет: в течение последних 10-ти лет в изданиях, индексируемых в базах данных «Scopus» и

«Web of Science», размещено 115 публикаций, содержащих технологическую информацию о его производстве и применении, отражающих тенденцию перехода от применения диборида титана крупнозернистого к микро- и нанокристаллическому, что обусловлено стремлением ученых и технологов-практиков к достижению качественно нового уровня эксплуатационных свойств материалов и покрытий на его основе.

Основу современного производства диборида титана составляют карботермический, магнетермический и газофазный способы. Карбо- и магнетермический способы включают восстановление оксидов титана и бора углеродом или магнием и рафинирование продукта и реализуются в различных технологических вариантах. Газофазный способ основан на боридообразовании в условиях плазменного потока, реализуется в непрерывном режиме и обеспечивает производство нанокристаллического диборида титана. Выявлено 10 отечественных и 10 зарубежных фирм, реально позиционирующих себя в качестве производителей и поставщиков диборида титана. Российские производители предлагают к реализации диборид титана магнетермического способа получения. Стратегически важный нанокристаллический сегмент рынка полностью закрывается зарубежными поставщиками, среди которых такие компании как «American Elements», «Nanostructured & Amorphous Materials, Inc.», «PlasmaChem GmbH», «NEOMAT Co». Это обуславливает необходимость развития российской нанотехнологии диборида титана.

В связи с этим исследование и технологическая реализация процессов боридообразования при плазмометаллургической переработке титан-борсодержащего сырья является важной научно-практической задачей, имеющей большое значение для развития отечественной металлургии титана и его многофункциональных соединений сплавов, а также эффективного решения инновационных задач прикладного материаловедения.

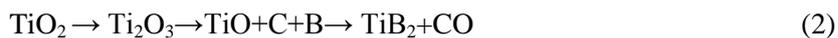
#### *Современные представления о механизме образования*

Анализ технологических результатов, приведенных в работах [1-6], свидетельствует о том, что механизм боридообразования в различных способах получения разный и определяется в первую очередь составом и состоянием шихты, кинетическими факторами реализуемых процессов – крупностью порошков реагентов, их чистотой, температурой, общим давлением в реакционном объеме, изотермичностью реактора, выбором газовой среды и др. Исследование и описание особенностей этих процессов осложняется возможностью образования в системе Ti-B следующих четырех боридов, а так же высокобористого твердого раствора



В основе образования  $\text{TiB}_2$ , реализуемого при спекании и горячем прессовании при температурах ниже температуры плавления исходных веществ, лежит твердофазное взаимодействие. Лимитирующей стадией, определяющей параметры процесса, является диффузия бора в металл через слой образующегося продукта, в составе которого могут быть бориды  $\text{TiB}$ ,  $\text{Ti}_3\text{B}_4$ . При этом реальные скорости диффузионных процессов определяются крупностью частиц исходных порошков титана и бора, степенью однородности смеси, плотностью прессования, наличием и толщиной оксидных пленок, присутствием адсорбированных газов, средой, в которой осуществляется процесс. Для ускорения диффузионных процессов спекание трансформируется в сплавление, а горячее прессование проводят при температуре, превышающей температуру плавления титана в смеси титан-бор. Для полной гомогенизации диборида титана и получения из него очень плотных изделий зачастую дополнительно проводят измельчение спеченных заготовок и повторное прессование.

При углеродоборотермическом способе образования  $\text{TiB}_2$  реакция восстановления  $\text{TiO}_2$  углеродом в присутствии бора протекает в несколько стадий, соответствующих образованию промежуточных оксидов



Процесс может быть проведен в среде восстановительного газа при температуре 2173 – 2273 К. Лучшие результаты достигаются при проведении процесса в вакууме. За счет непрерывного удаления монооксида углерода и смещения равновесия реакции в сторону образования  $\text{TiB}_2$  температура восстановления снижается до 1723 – 1973 К, уменьшается содержание углерода в  $\text{TiB}_2$ , исключается его окисление и азотирование. Механизм процессов в этом случае определяется термодинамической устойчивостью оксидов и упругостью паров оксидов и субоксидов.

При образовании  $\text{TiB}_2$  осаждением из газовой фазы, основанном на взаимодействии газообразных или легколетучих соединений титана и бора в присутствии водорода, последовательно и параллельно реализуется целая совокупность физических и химических процессов. Механизм боридообразования включает переход твердых и жидких исходных веществ в парообразное состояние, пиролиз или восстановление химических соединений, содержащих титан, бор или оба этих компонента

одновременно, до ионного или атомарного их состояния, газофазную и гетерофазную диффузию компонентов в реакционной зоне, непосредственное химическое взаимодействие между ними, гетерогенное зародышеобразование  $TiB_2$  и рост его кристаллов, отвод из газовой фазы побочных продуктов. Один из вариантов газофазного получения  $TiB_2$  может быть описан следующим уравнением



*Цель, гипотезы, методология*

Целью настоящей работы является исследование процессов боридообразования при обработке титан-борсодержащего сырья в условиях плазменного потока, описание вероятного механизма их протекания и определение возможности технологического управления содержанием сопутствующих дибориду титана примесей, в том числе свободного бора.

Для экспериментального исследования процессов боридообразования использовался трехструйный плазмометаллургический реактор, включающий также системы электро-, газо-, водоснабжения и вентиляции, контрольно-измерительных приборов и автоматики, дозирования шихтовых материалов и улавливания продуктов плазмообработки. Теплотехнические, ресурсные и технологические характеристики реактора приведены в таблице 1, а методы их экспериментального определения и расчета описаны в работах [7-9].

Таблица 1 – Основные характеристики реактора

Характеристики	Значения
Мощность, кВт	150
Тип реактора	трехструйный прямоточный вертикальный
Тип плазмотрона, мощность, кВт	ЭДП-104А, 50
Плазмообразующий газ	азот
Масса нагреваемого газа, кг/ч	32,5
Внутренний диаметр, м	0,054
Объем реактора, м <sup>3</sup>	0,002
Футовка канала реактора	диоксид циркония
Температура плазменного потока, К	5400 (L*=0) – 2600 (L=20)
Температура футеровки, К	1650 (L=0) – 500 (L=20)
Удельная электрическая мощность, МВт/м <sup>3</sup>	2140
Ресурс работы, ч - анода; - катода	3000-3200; 100-110
Загрязнение диборида титана продуктами эрозии, % - анода; - катода	Cu – 0,0001; W – 0,000002
L* - относительная длина реактора	

Для генерации плазменного потока используются три электродуговых подогревателя газа (плазмотрона) ЭДП-104АМ постоянного тока мощностью до 50 кВт каждый, установленные в камере смешения под углом 30° к оси реактора. Для подачи в реактор высокодисперсного сырья и газообразного углеводорода используется водоохлаждаемая фурма. Для снижения радиального градиента температуры в пристеночной зоне канал реактора футеруется изнутри высокотемпературным теплоизоляционным материалом – цилиндрическими вставками из диоксида циркония с внутренним диаметром 0,054 м.

В качестве титан-борсодержащих компонентов шихт использовались порошки титана марки ПТН-8 (вариант 1), диоксида титана марки Р-1 (вариант 2), бора марки Б-99. Порошки имеют размерный диапазон и характеризуются следующим распределением по фракциям: титан 0,5 – 4 мкм и + 0,5 – 2 мкм - 48,2 %, +2 – 4 мкм - 51,8 %, диоксид 0,2 – 1,0 мкм и + 0,2 – 0,5 мкм - 48,7 %, + 0,5 – 1,0 мкм - 51,3 %, бор 0,05 – 0,25 мкм и + 0,05 – 0,125 мкм – 53,2 %, +0,125 – 0,25 мкм - 46,8%. В качестве плазмообразующего и транспортирующего газа использовался технический азот (ГОСТ 9293-84, изм.), восстановителя – природный газ с содержанием метана до 93,6 % об., технологической добавки – водород (ГОСТ 3022-80, изм.).

При получении  $TiB_2$  в условиях плазменного потока возможности изучения процесса боридообразования еще более ограничены, что обусловлено следующими причинами: 1) чрезвычайно высокие температуры: среднемассовая температура составляет 2800÷5400 К; 2) высокие скорости движения турбулентной реакционной химически активной смеси – (40÷60 м/с); 3) кратковременность про-

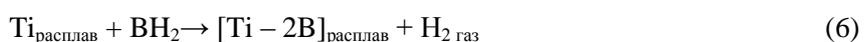
цесса, оцениваемая на уровне 15 мс; 4) крайне ограниченный объем реакционной зоны, составляющий  $0,0001 \text{ м}^3$ ; 5) практическая недоступность реакционной зоны для зондовой диагностики ввиду значительного возмущающего воздействия водоохлаждаемого зонда, технически исполнимого с наружным диаметром не менее  $0,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ; 6) сложный состав газовой фазы, подлежащий определению только после закалки и, возможно, при этом изменяющийся; 7) непреодолимые пока трудности определения содержания в газовой фазе нестабильных бороводородов. В то же время изучение механизма боридообразования наряду с научной имеет важное прикладное значение, поскольку позволяет установить возможность управления содержанием примесей, в том числе содержанием свободного бора.

Результаты термодинамического моделирования процессов боридообразования, описанные в работах [10-12], позволяют выдвинуть две научные гипотезы образования  $\text{TiB}_2$  в условиях плазмообработки шихты:

- при взаимодействии в газовой фазе по схеме «пар-кристалл»



- при взаимодействии титансодержащего металлического аэрозоля с газообразными бороводородами по схеме «пар-расплав-кристалл»



Для подтверждения гипотетических представлений, накопления и анализа необходимой научной информации были проведены следующие исследования:

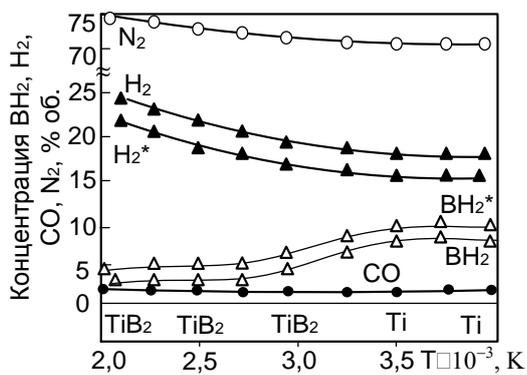
1) Изучена температурная зависимость состава газообразных и твердых продуктов плазмообработки шихты. Для этого процесс проводили в реакторе различной длины – от 6 до 24 калибров, что позволило изменять температуру закалки продуктов от 4000 до 2000 К и осуществлять её при истечении газового потока из реактора в осадительную камеру со скоростью  $10^4$ - $10^5$  градусов/с. Нанопродукты, осажденные на водоохлаждаемой поверхности осадительной камеры, анализировались для определения фазового и химического составов (рисунок 3.17). При каждой температуре закалки с помощью зонда также отбирались пробы газо-порошковой смеси. Для этих целей использовался стальной интенсивно охлаждаемый зонд (расход воды 0,050 кг/с), выполненный в виде трубки с внутренним диаметром 0,003 м и длиной 0,5 м, последовательно соединенной с фильтром, стеклянной емкостью с поглотителем (этиловым спиртом), пипеткой, расходомером и вакуумным насосом КВН-8, создающим разрежение до 20 кПа. Зонд устанавливался на удаление 1 калибр от входа газового потока в осадительную камеру ортогонально потоку таким образом, чтобы его газозаборное отверстие совпадало с осью реактора. При зондировании скорость закалки газопорошковой смеси составляла порядка  $5 \cdot 10^4$  градусов/с. Фильтр выполнялся из двух соприкасающихся оснований конусов, разделенных фильтрующей перегородкой из стальной сетки саржевого плетения марки С-120 и обеспечивал выделение из пробы порошков, предохраняя их от контакта с воздушной атмосферой. Емкость с поглотителем позволяла улавливать борсодержащие соединения. Проба обеспыленного газового потока отбиралась в пипетку. Состав газовой фазы определялся хроматографически (см. рисунок 1). Кривые  $\text{H}_2^*$  и  $\text{ВН}_2^*$  соответствуют 1,5-кратному избытку бора.

2) Изучен с помощью масс-спектрометрического анализа состав продуктов термодесорбции образцов, отобранных при зондировании (таблица 2)

3) Изучена с помощью растровой электронной микроскопии морфология наночастиц  $\text{TiB}_2$  (рисунок 2).

#### *Обсуждение результатов*

Анализ полученных результатов подтверждает присутствие в азотно-водородном потоке газообразных борсодержащих соединений. В масс-спектрах продуктов вакуумной термодесорбции присутствуют компоненты с молекулярными массами 12,13, предположительно соответствующие  $\text{ВН}$  и  $\text{ВН}_2$ . Сопоставление температурной зависимости концентраций  $\text{ВН}$  и  $\text{ВН}_2^*$ , рассчитанных по определенному экспериментально содержанию в газовой фазе бора, и изменения фазового состава уловленных порошкообразных продуктов подтверждает безусловное участие газообразных соединений бора в боридообразовании. В то же время изучение формы и размера частиц  $\text{TiB}_2$ , полученного в виде нанопорошка с шаровидными частицами, однозначно указывает на формирование их по механизму «пар-расплав-кристалл».



$\bar{a} \pm \Delta a$	Температура, К			
	2000	3000	3500	4000
H <sub>2</sub>	23,12±0,94	19,31±0,82	18,72±0,71	18,11±0,73
BH <sub>2</sub>	0,82±0,06	3,62±0,10	7,00±0,39	7,31±0,42
H <sub>2</sub> *	21,05±	17,62±0,53	16,05±0,50	18,25±0,44
BH <sub>2</sub> *	3,37±0,10	6,54±0,28	9,12±0,49	10,21±0,63
N <sub>2</sub>	74,35±1,23	74,00±1,36	73,65±1,21	73,51±1,44
CO	0,98±0,04	1,00±0,05	1,14±0,04	1,11±0,05

Рисунок 1 – Температурная зависимость состава газообразных и фазового состава твердых продуктов взаимодействия титана с бором в потоке азотной плазмы ( $\bar{a} \pm \Delta a$  – средние арифметические значения и доверительные интервалы концентраций)

Таблица 2 – Состав и количества продуктов вакуумной термодесорбции образцов TiB<sub>2</sub>, неконтактировавших с атмосферой

Характеристика	TiB <sub>2</sub> (1)	TiB <sub>2</sub> (2)
Химический состав, %		
TiB <sub>2</sub>	96,26	93,27
B <sub>свободный</sub>	1,05	0,45
Ti <sub>свободный</sub>	1,13	-
C	-	1,22
O	0,44	-
N	1,12	1,24
TiO <sub>2</sub>	-	3,82
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	45000	37000
Размер* частиц, нм	37	45
Молекулярные массы продуктов десорбции	2,12 – 13, 26 - 28, 32- 36	2,12-12, 14- 16, 26-28, 32-36
Предполагаемый состав продуктов десорбции	H <sub>2</sub> , BH, BH <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> , BH, BH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> , CH <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub>
Количество десорбированных газообразных продуктов	1,24	1,36
* – рассчитывался по величине удельной поверхности		

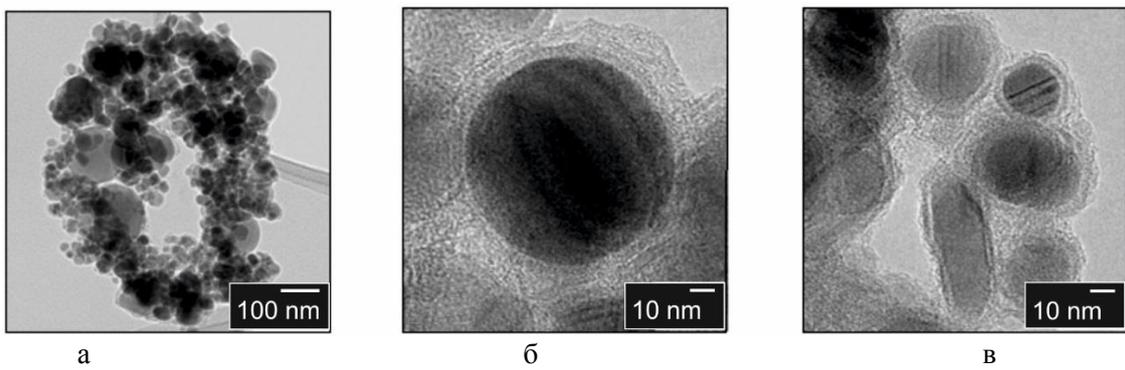


Рисунок 2 – Микрофотографии нанокристаллического диборида титана TiB<sub>2</sub> (1) (а – частицы и агрегаты; б – морфологическая картина агрегата; в – отдельные частицы)

Полученные результаты и их обсуждение делают возможным описание процесса боридообразования в виде следующей схемы, включающей две основные температурно-пространственные зоны и представленной на рисунке 3.

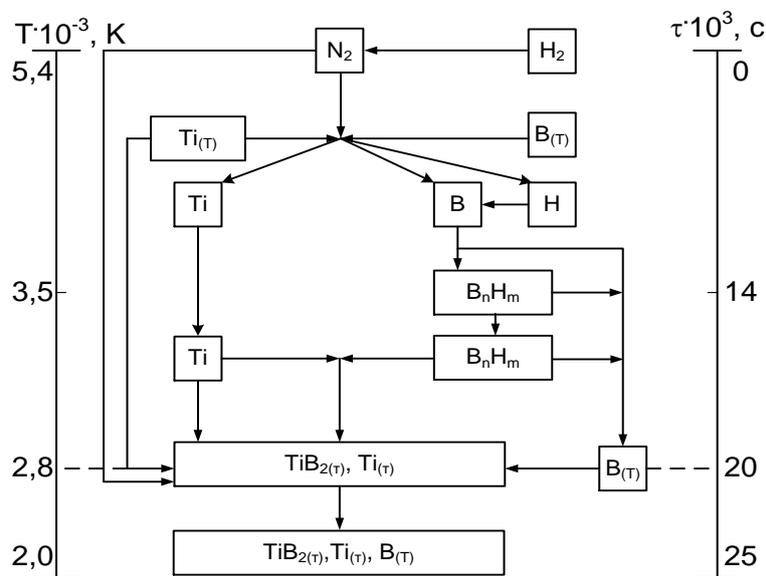


Рисунок 3 – Предполагаемая схема взаимодействия титана с бором в потоке азотно-водородной плазмы

Зона 1 соответствует температурному интервалу 5400-3500 К. В ней протекают процессы тепло- и массообмена и формирование реакционной смеси заданного состава: активное перемешивание азотно-водородного плазменного потока и порошкообразной титан-борсодержащей шихты, нагрев, плавление и испарение титана и бора, «газификация» бора в бороводороды.

Зона 2 соответствует температурному интервалу 3500-2000 К. Характерная особенность зоны – существенное снижение концентрации в газовом потоке бороводорода  $BH_2$ , соответствующее появлению в продуктах  $TiB_2$ . Это позволяет предположить, что образование  $TiB_2$  возможно при кристаллизации расплава титан – бор – продукта борирования бороводородами металлического аэрозоля, формирующегося в потоке при объемной конденсации паров титана. Характер изменения концентрации  $BH_2$  с температурой при 1,5 кратном избытке бора в шихте подтверждает устойчивость его в пределах температурной зоны и свидетельствуют о реальной возможности ограничения содержания свободного бора в дибориде титана. Сформировавшиеся в рассматриваемой зоне боридные наночастицы активно адсорбируют технологические газы и газообразные продукты боридообразования.

#### Заключение

Процесс боридообразования с получением  $TiB_2$  в условиях плазмообработки шихты характеризуется особенностями, существенно отличающими его от традиционных технологических вариантов. Образование  $TiB_2$  возможно при кристаллизации расплава титан-бор-продукта борирования бороводородами металлического аэрозоля, формирующегося в потоке при объемной конденсации паров титана. Наряду с обсуждаемым механизмом возможны и иные, не выявленные пока доступными средствами диагностики реакционные схемы, но характерные для высокотемпературных неидеальных химико-металлургических реакторов.

#### Библиографический список

1. Панов В.С. Тугоплавкие металлы IV – VI групп и их соединения. Структура, свойства, методы получения : учеб. пособие / В.С. Панов. – М. : МИСиС, 2006. – 63 с.
2. Ефимова К.А. Физико-химические свойства диборида титана: анализ, актуализация, оценка практической значимости в современных условиях / К.А. Ефимова, Г.В. Галевский, В.В. Руднева // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии. – СибГИУ. – Москва-Новокузнецк. – 2016. – В. 37. – С. 90 – 102.
3. Ефимова К.А. Современное состояние производства диборида титана: оценка, определение доминирующих тенденций и перспектив / К.А. Ефимова, Г.В. Галевский, В.В. Руднева // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2017. – № 2. – С. 144-158.
4. Ефимова К.А. Разработка технологии плазменного синтеза нанопорошка диборида титана – компонента функциональных композиционных покрытий / Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Т.И. Алексеева // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии. – СибГИУ. – Москва-Новокузнецк, 2015. – В. 35. – С. 112 – 119.
5. Крутский Ю.Л. Изучение процесса синтеза диборида титана с использованием нановолок-

нистого углерода / Ю. Л. Крутский, Е. В. Антонова, А. Г. Баннов, И. С. Фролова // Актуальные проблемы в машиностроении: мат. I Междунар. науч.-практ. конф., – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. – С. 453-458.

6. Ноздрин И.В. Борид хрома – нанотехнология, свойства, применение: монография / И.В. Ноздрин, В.В. Руднева, Г.В. Галевский. – Саарбрюкен (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014 – 233 с.

7. Ефимова К.А. Реактор для обработки и производства тугоплавких материалов: теплотехнические, ресурсные и технологические характеристики / К.А. Ефимова, Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Т.И. Алексеева// Minsk International Heat and Mass Transfer Forum MIF-XV. –2016. - pp. 72-76.

8. Галевский Г. В. Применение плазменного нагрева в производстве высокотемпературных боридов и карбидов / Г. В. Галевский, В. В. Руднева, И. В. Ноздрин, С. Г. Галевский, К. А. Ефимова // Специальная металлургия: вчера, сегодня, завтра: мат. XIV Всеукр. науч.-практ. конф. – Киев, 2016. – С. 248 – 259.

9. Галевский Г.В. Разработка научных и технологических основ плазменного синтеза наноборида титана / Г.В. Галевский, К.А. Ефимова, В.В. Руднева // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Металлургия и материаловедение. – 2015. – №2(219) – С.141 – 150.

10. Галевский Г.В. Моделирование процессов боридо- и карбидообразования при переработке титаносодержащего сырья в плазменном реакторе / Г.В. Галевский, В.В. Руднева, А.К. Гарбузова, К.А. Ефимова // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Металлургия и материаловедение. – 2016. – №1(238). – С. 90-99.

11. Ефимова К.А. Термодинамическое моделирование плазмосинтеза диборида титана / К.А. Ефимова, Г.В. Галевский, В.В. Руднева// Научно-технические ведомости СПбГПУ. Металлургия и материаловедение. – 2016. – №4(254)– С. 233 – 244.

12. Ефимова К.А. Термодинамическое моделирование параметров плазменного синтеза диборида титана / К.А. Ефимова, Г.В. Галевский, Т.И. Алексеева // Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов : мат. V Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2015. – С. 18-20.

УДК 625.143.48

## СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

**Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Патрушев А.О.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, Россия*

**Аннотация:** Рассмотрен вопрос получения качественного неразъемного соединения при сварке в рельсовой стали. Приведены ряд решений данного вопроса и новые способы сварки. Предложен способ, позволяющий регулировать структуру металла сварного соединения без термообработки, с получением необходимых механических и эксплуатационных свойств сварных стыков рельсов.

**Ключевые слова:** бесстыковой путь, сварное соединение, электродуговая сварка, пульсирующее оплавление, непрерывное оплавление, изотермическая выдержка, структура.

## METHODS OF OBTAINING A QUALITY WELD CONNECTION OF RAILWAY RAILS

**Shevchenko R.A., Kozyrev N.A., Usoltsev A.A., Krykov R.E., Patrushev A.O.**

*Siberian state industrial university,  
Novokuznetsk, Russia*

**Abstract:** The issue of obtaining a high-quality one-piece joint for welding in rail steel is considered. A number of solutions to this issue and new methods of welding are given. A method is proposed that allows to regulate the metal structure of a welded joint without heat treatment, to obtain the necessary mechanical and operational properties of welded rail joints.

**Key words:** weldless joint, welded joint, electric welding, pulsating melting, continuous reflow, isothermal aging, structure.

# СОДЕРЖАНИЕ

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

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

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

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

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИ ПОДГОТОВЛЕННОЙ УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДОМЕННОГО КОКСА .....	369
<b>Прошунин Ю.Е., Школлер М.Б.</b> О РЕШЕНИИ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПО ТЕМПЕРАТУРНОМУ ПОЛЮ СТАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ, ИЗМЕРЕННОМУ В ТРЕХ ТОЧКАХ.....	373
<b>Соколов А.К.</b> СНИЖЕНИЕ УГАРА МЕТАЛЛА В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ С МЕХАНИЗИРОВАННЫМ ПОДОМ НА ОСНОВЕ ПОВЫШЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК .....	378
<b>Кузнецова О.В., Коноз К.С., Темлянцев М.В., Темлянцев Н.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУР И ТОЛЩИН ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЗОН ПРОХОДНЫХ ПЕЧЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ .....	381
<b>Соколов А.К.</b> СЕЛЕКТИВНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ОТХОДОВ .....	386
<b>Ахметвалиева З.М., Куленова Н.А., Такасаки Я., Мамяченков С.В., Анисимова О.С., Мудаширу Л.К, Фокина Е.Л.</b> МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ЛОМ – ВАЖНЫЙ ВТОРИЧНЫЙ РЕСУРС УЛУЧШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И СБЕРЕЖЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ РЕСУРСОВ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ .....	392
<b>Гордон Я.М., Спирин Н.А., Швыдкий В.С, Ярошенко Ю.Г.</b> РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА С ЦЕЛЮ РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ .....	396
<b>Свиридова Т.В., Боброва О.Б., Ильина О.Ю.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОКОКСА В КОКСОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	400
<b>Павлович Л.Б., Ермолова Н.Ю. Страхов В. М.</b> МИКРОКРЕМНЕЗЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОБОВАНИЯ И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРСПЕКТИВ .....	406
<b>Руднева В.В., Галевский Г.В., Галевский С.Г.</b> ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩЕЙ ОКАЛИНЫ ПРОКАТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ АО «СЕВЕРСТАЛЬ».....	413
<b>Бульжёв Е.М., Кокорин В.Н., Еменев П.В., Григорьев В.Ф.</b> ИЗМЕНЕНИЕ УСЛОВИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СЛОЯ КУСКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ВЕРТИКАЛЬНОМ БУНКЕРЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ДУТЬЯ.....	416
<b>Дудко В.А., Матюхин В.И., Матюхина А.В.</b> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧАХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ВИДЕ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ И ИНЖЕКТОРОВ .....	420
<b>Корнеев С.В., Трусова И.А.</b> БАЛАНС ФТОРА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ В ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАХ С АНОДОМ СОДЕРБЕРГА.....	425
<b>Галевский Г.В., Минцис М.Я.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ И КОНСТРУКЦИИ КОЛЬЦЕВОЙ ПЕЧИ ОАО «ЧТПЗ» С ЦЕЛЮ УЛУЧШЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕЕ РАБОТЫ .....	427
<b>Щукина Н.В., Черемискина Н.А., Лошкарев Н.Б., Лавров В.В.</b> РЕКОНСТРУКЦИЯ АСПИРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ В ЦЕХЕ ТОПЛИВОПОДАЧИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЭЦ г. НОВОКУЗНЕЦКА.....	432
<b>Соловьев А.К., Полынцев М.П.</b> К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПЫЛЕВЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ В МЕТАЛЛУРГИИ КРЕМНИЯ.....	437
<b>Немчинова Н.В., Тютрин А.А., Рыбина М.Н.</b> ИЗВЛЕЧЕНИЕ ФТОРА ИЗ УГОЛЬНОЙ ЧАСТИ ОТРАБОТАННОЙ ФУТЕРОВКИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ.....	441
<b>Немчинова Н.В., Тютрин А.А., Сомов В.В., Бараускас А.Э., Яковлева А.А.</b> ПРИМЕНЕНИЕ УЛОВЛЕННОЙ ПЫЛИ ОТ ОТКРЫТЫХ РУДОВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ .....	446
<b>Полтойнин А.И., Шупик А.Ю.</b> СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ РАБОТОЙ ШАХТНОЙ ПЕЧИ.....	450
<b>Фатхутдинов А.Р., Швыдкий В.С., Спирин Н.А.</b>	

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