

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Администрация Правительства Кузбасса**

**Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»**

**Сибирский государственный индустриальный университет**

**МЕТАЛЛУРГИЯ:  
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО  
*«Металлургия – 2022»***

***Труды***

***XXIII Международной научно-практической конференции***

***23– 25 ноября 2022 г.***

***Часть 1***

**Новокузнецк  
2022**

**Редакционная коллегия**

д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,  
д.т.н., профессор С.В. Коновалов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,  
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., доцент Д.А. Чинахов,  
к.т.н. Р.А. Шевченко, к.т.н., доцент О.А. Полях,  
к.т.н. Е.Н. Темлянцева, д.т.н., доцент В.В. Зимин

М 540 **Металлургия : технологии, инновации, качество : труды  
XXIII Международной научно-практической конференции.  
В 2 частях. Часть 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр.  
ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2022. – 390 с. : ил.**

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и практики металлургических процессов, технологий обработки материалов, автоматизации, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов металлургического производства.

Конференция проводится ежегодно.

**ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

АДМИНИСТРАЦИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА КУЗБАССА  
ФГБОУ ВО «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»  
АО «РУСАЛ-НОВОКУЗНЕЦК»  
АО «КУЗНЕЦКИЕ ФЕРРОСПЛАВЫ»  
АО «НЗРМК им. Н.Е. КРЮКОВА»  
ЛЯОНИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ, Г. АНЬШАНЬ, КНР  
ОАО «ЧЕРМЕТИНФОРМАЦИЯ»  
ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН  
ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ»  
ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК СИБГИУ»  
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ «КУЗБАСС»  
АО «КУЗБАССКИЙ ТЕХНОПАРК»

## КИНЕТИКА ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СМОЛОСВЯЗАННЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ФУТЕРОВОК СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

Якушевич Н.Ф.<sup>1</sup>, Запольская Е.М.<sup>1</sup>, Темлянцев М.В.<sup>1</sup>,  
Протопопов Е.В.<sup>1</sup>, Темлянцева Е.Н.<sup>1</sup>, Приходько М.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Сибирский государственный индустриальный университет,*

*г. Новокузнецк, uchebn\_otdel@sibsiu.ru*

<sup>2</sup>*АО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк, Россия*

**Аннотация.** Проведено исследование процессов окисления периклазо-углеродистых и алюмопериклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров массового промышленного применения марок AMC 78-8/7HG, RI-MC175LC (фирма RI); MayCarb 284-AX (фирма MAYERTON). Исследование проведено с применением термогравиметрического анализа на дериватографе LABSYS evo TG DTA DSC 1600 при нагреве до температуры 1100 °С со скоростью 15 °С/мин. Установлено, что максимальная скорость окисления углерода во всех случаях достигается при температуре 700 – 750 °С. Следовательно, в целях реализации мало-обезуглероживающего первого разогрева ковша после ремонта для огнеупоров исследуемых марок рекомендуются температурные режимы, включающие низкотемпературные (до 500 °С) выдержки футеровки.

**Ключевые слова:** ковшевые огнеупоры, обезуглероживание.

## KINETICS OF DECARBURIZATION OF CARBON-CONTAINING RESIN-BONDED REFRACTORIES FOR STEEL LADLE LININGS

Yakushevich N.F.<sup>1</sup>, Zapolskaya E.M.<sup>1</sup>, Temlyantsev M.V.<sup>1</sup>,  
Protopopov E.V.<sup>1</sup>, Temlyantseva E.N.<sup>1</sup>, Prikhodko M.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Siberian State Industrial University,*

*Novokuznetsk, uchebn\_otdel@sibsiu.ru*

<sup>2</sup>*EVRAZ ZSMK JSC, Novokuznetsk, Russia*

**Abstract.** In this paper, the processes of decarburization of periclase-carbon and aluminum-periclase-carbon ladle refractories were investigated. The authors made thermogravimetric analysis of periclase-carbon and aluminum-periclase-carbon non-ignited resin-bonded refractories of AMC 78-8/7HG, RI-MC175LC (RI); MayCarb 284-AX (MAYERTON) grades used in the execution of working layers of steel ladle linings. Thermogravimetric analysis of refractory samples was carried out on a LABSYS evo TG DTA DSC 1600 derivatograph when heated to a temperature of 1100 °C at a speed of 15 °C/min. The results of thermogravimetric analysis are presented in the form of derivatograms. It was established that the maximum rate of carbon oxidation in all cases is reached at a temperature of 700 – 750 °C. Therefore, in order to implement a low-carbonizing

*first heating of the ladle after repair, temperature modes are recommended for refractories of the studied brands, including low-temperature (up to 500 °C) lining exposure.*

**Keywords:** *steel ladle carbon-containing refractories, decarburization of lining.*

По данным международной ассоциации стали (World Steel Association, WSA) мировое производство стали в 2021 г. составило 1,95 млрд. т. Мощностями по ее производству располагают более 60 стран мира, при этом ежегодно наблюдается тенденция их увеличения. Производство стали характеризуется высокой ресурсо- и энергоемкостью, при этом одним из наиболее важных ресурсов, используемых в сталеплавильном производстве являются огнеупорные материалы. Характерно, что затраты на огнеупоры, применяемые в футеровке сталеразливочных ковшей, по оценке различных сталеплавильных компаний и предприятий производящих огнеупоры, составляют от 30 до 60 % от затрат всего сталеплавильного комплекса на огнеупоры основного состава.

Фактически вся сталь, выплавляемая в кислородных конвертерах, электродуговых и мартеновских сталеплавильных печах выпускается в сталеразливочные ковши, относящиеся к основному виду металлургического оборудования. Ранее сталеразливочные ковши применялись в качестве технологических емкостей, используемых для транспортировки и разлива расплава металла. В настоящее время, в условиях ужесточения требований к качеству и расширению марочного сортамента стали, металлургические ковши трансформировались в реакторы для внепечной обработки стали, микролегирования, рафинирования и вакуумирования расплава. Увеличение температур, продолжительности и степени агрессивности воздействия расплава металла и шлака привело к применению в футеровке рабочего слоя сталеразливочных ковшей высокоустойчивых безобжиговых углеродсодержащих (периклазоуглеродистых и алюмопериклазоуглеродистых) смолосвязанных огнеупоров. Одним из основных недостатков таких огнеупоров является окисление (обезуглероживание) углерода [1-4], входящего в их состав, при контакте с окислительными газами на стадиях разогрева футеровки и при транспортировании и внепечной обработке расплава. Выгорание в поверхностных слоях графита и углеродного каркаса огнеупора приводит к повышению пористости последнего, смачиванию расплавом и интенсивному износу футеровки. Наиболее интенсивно окислительные процессы протекают при первом разогреве новой футеровки, при этом глубина обезуглероженного слоя огнеупора может достигать 8 – 10 мм. Несовершенство существующих технологий разогрева футеровок сталеразливочных ковшей приводит к снижению их стойкости (еще до ввода в эксплуатацию) фактически на 5 – 10 %, повышает риск загрязнения расплава стали неметаллическими включениями футеровочного происхождения, снижению качества и повышению себестоимости производимой стали. В связи с этим разработка малообезуглероживающих ресурсосберегающих технологий разогрева углеродсодержащих футеровок сталеразливочных ковшей является актуальной научно-практической задачей, имеющей отраслевое значение.

В настоящей работе проведен термогравиметрический анализ периклазоуглеродистых и алюмопериклазоуглеродистых безобжиговых смолосвязанных огнеупоров, используемых при выполнении рабочих слоев футеровок сталеразливочных ковшей, марок: AMC 78-8/7HG, RI-MC175LC (фирма RI); MayCarb 284-AX (фирма MAYERTON) [5]. Химический состав представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав углеродсодержащих ковшевых огнеупоров

Химический элемент	Содержание, % (по массе), химического элемента в огнеупоре марки и область применения		
	AMC 78-8/7HG Стены	RI-MC175LC Шлаковый пояс	MayCarb 284-AX Шлаковый пояс
MgO	11,9	79,0	77,1
SiO <sub>2</sub>	5,0	2,0	3,1
CaO	0,6	1,7	1,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2	1,5	0,7
C <sub>общ</sub>	9,7	15,0	15,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72,1	4,0	2,6

Для определения наличия в составе огнеупоров антиоксидантов с применением рентгеновского дифрактометра XRD-6000 проведен рентгенофазовый анализ, который показал присутствие в образцах антиоксидантов алюминия, карбида кремния.

Введение в состав огнеупора антиоксидантов является одним из наиболее распространенных и широко используемых способов предотвращения окисления углерода в углеродсодержащих огнеупорах и футеровках на стадии разогрева [6-12]. Типичными антиоксидантами являются порошки металлов Si, Al, Mg, их соединения SiC, B<sub>4</sub>C, Al<sub>4</sub>SiC<sub>4</sub>, Al<sub>8</sub>B<sub>4</sub>C<sub>7</sub>, борсодержащие добавки (диборид титана, диборид магния, нитрид бора) и др., их эффект основан на связывании кислорода и предотвращения окисления им углерода огнеупора [6]. Антиоксиданты как правило эффективно действуют в определенном температурном интервале, так при температурах 400 – 800 °С диборид титана снижает окисляемость углерода, начиная с 500 – 700 и до 1000 °С металлический алюминий. При температуре, превышающей 1200 °С кремний снижает интенсивность обезуглероживания, при температуре свыше 800 °С начинается окисление карбида кремния, при этом величина антиокислительного действия добавки кремния и карбида кремния фактически одинаковы [7- 11].

Термогравиметрический анализ образцов огнеупоров выполняли в Центре коллективного пользования «Материаловедение» Сибирского государственного индустриального университета на дериватографе LABSYS evo TG DTA DSC 1600 при нагреве до 1100 °С со скоростью 15 °С/мин.

Результаты термогравиметрического анализа представлены на дериватограммах (рисунок а – нагрев в атмосфере кислорода, рисунок б – нагрев в атмосфере воздуха) [5]. Во всех случаях на дериватограммах проявляются три экзотермических эффекта А, В, С.

При нагреве в интервале температур 150 – 600 °С наблюдается доста-

точно мощный экзотермический эффект *A*, сопровождающийся увеличением массы анализируемого вещества на 2–3 %, который связан с окислением антиоксиданта (металлического порошкообразного алюминия), присутствующего в составе огнеупоров.

Второй, наиболее мощный экзотермический эффект *B* вызван реакцией окисления углерода скоксованного связующего материала и графита. В процессе нагревания исследуемых образцов в атмосфере кислорода происходит окисление углерода и частично летучих (часть летучих сгорает после их выделения в газовую фазу вне объема исследуемых образцов).

В интервале температур 400 – (900 ÷ 1000) °С для области *B'* – *B''''* – *B''* (АМС 78-8/7HG) или *B'* – *B* – *B'''* (RI-МС175LC и MayCarb 284-АХ) точки *B''* и *B'''* находятся на скорректированной за счет уменьшения массы образца ноль-кривой.

Потеря массы от реакций окисления связующего и выделения летучих для образцов 1 и 2 (АМС 78-8/7HG) составляет 4 – 6 %, для образцов 3 – 6 (RI-МС175LC и MayCarb) фактически в три раза больше и составляет 13 – 17 %.

Тепловой эффект от реакций окисления для образцов огнеупоров марки АМС 78-8/7HG составляет по площади *B' – B'''' – B''* порядка 876 тепловых единиц, для образца 3 (MayCarb 284-АХ) – 1300 тепловых единиц, для образцов 4 – 6 – примерно 1700 единиц. Максимальное значение  $\Delta H$  и, соответственно, максимальная скорость окисления во всех случаях наблюдается при температуре 700 °С.

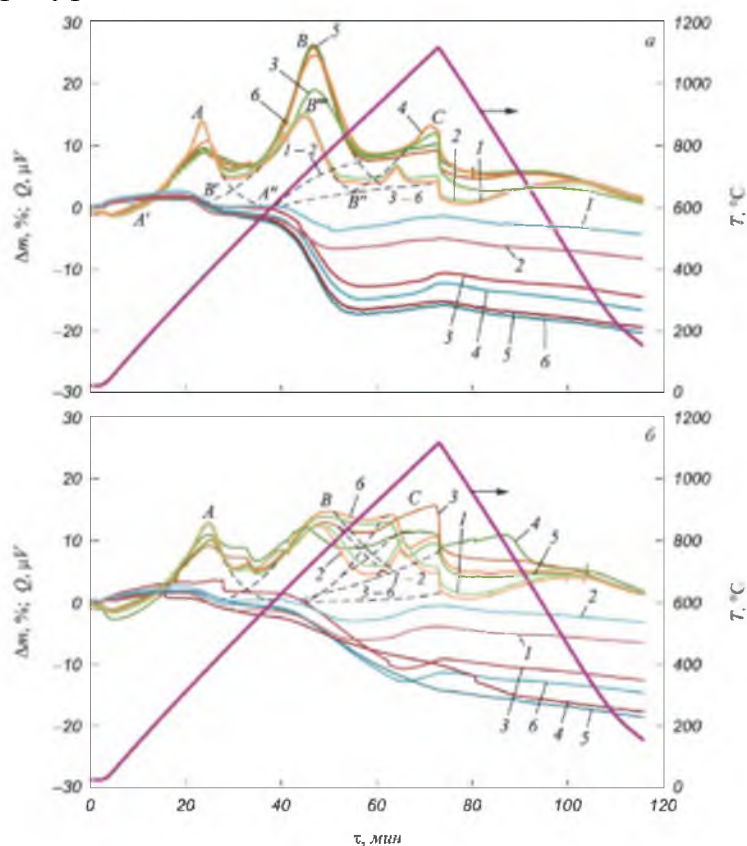


Рисунок 1 – Нагрев углеродсодержащих ковшевых огнеупоров в атмосфере кислорода (а) и на воздухе (б): 1 и 2 – огнеупор марки АМС 78-8/7HG; 3 и 6 – огнеупор марки MayCarb 284-АХ; 4 и 5 – огнеупор марки RI-МС175LC [5]

Третий явный экзотермический эффект  $C$ , наблюдаемый при незначительном увеличении массы исследуемых материалов (1 – 2 %) в интервале температур 900 – 1000 °С, относится к реакции окисления антиоксиданта (карбида кремния).

Общая потеря массы исследуемых образцов составляет от 2 – 5 % (АМС 78-8/7HG) до 11 – 20 % (RI-МС175LC; MayCarb 284-АХ).

При нагревании образцов в атмосфере воздуха качественная картина термогравиметрического анализа аналогична. Также просматриваются три экзотермических эффекта: от окисления алюминия ( $A$ ), углерода ( $B$ ) и карбида кремния ( $C$ ). Поскольку парциальное давление кислорода в газовой фазе значительно ниже, реакции окисления протекают медленнее и заканчиваются при более высоких температурах.

В интервале температур 450 – 600 °С на экзотермический эффект реакции окисления алюминия  $A$  и сопряженный с ним эффект окисления углерода  $B$  практически на всех кривых  $\Delta H = f(t)$  накладывается незначительный по величине  $\Delta H$  эффект частичного окисления летучих  $D$  ( $D'$ ), которое протекает практически без изменения массы материала  $\Delta m$  (составляет примерно  $\pm 1$  %, при нагревании в атмосфере кислорода этот эффект в очень малой степени проявился лишь на огнеупоре марки MayCarb 284-АХ образце 1). Окисление углерода во всех случаях начинается при температуре 450 – 500 °С, заканчивается при 980 – 1000 °С для образцов 1 и 2 (АМС 78-8/7HG) и при 960 – 980 °С для образцов 3 – 6 (RI-МС175LC; MayCarb 284-АХ), максимальная скорость окисления углерода во всех случаях достигается при температуре 700 – 750 °С.

Окисление карбида кремния (экзотермический эффект  $C$ ) начинается при 950 – 1050 °С для огнеупора марки АМС 78-8/7HG и 800 – 950 °С для образцов 3 – 6 огнеупоров марки RI-МС175LC и MayCarb 284-АХ (при нагревании в атмосфере кислорода соответственно при 900 °С (1, 2) и 800 – 850 °С). Процесс протекает с незначительным увеличением массы образца (1 – 2 %) и практически завершается при 1100 °С при нагревании в атмосфере кислорода, при нагревании на воздухе корректно судить о завершении процесса можно лишь для образцов 1 и 2 (АМС 78-8/7HG).

**Вывод:** В результате проведенного термогравиметрического анализа образцов углеродсодержащих огнеупоров марок АМС 78-8/7HG, RI-МС175LC, MayCarb 284-АХ установлено, что алюмопериклазоуглеродистые огнеупоры АМС 78-8/7HG, применяемые для футеровки стен сталеразливочных ковшей, содержащие 9,7 % С, по сравнению с периклазоуглеродистыми RI-МС175LC и MayCarb 284-АХ, применяемыми для футеровки шлакового пояса и содержащими 15,0 и 15,5 % С соответственно, характеризуются более высокой стойкостью к обезуглероживанию при нагреве до температур 1100 °С. Общая потеря массы исследуемых образцов составляет от 2 – 5 % (АМС 78-8/7HG) до 11 – 20 % (RI-МС175LC, MayCarb 284-АХ). Окисление углерода, содержащегося в огнеупорах, начинается при температуре 450 – 500 °С, заканчивается при 980 – 1000 °С (МС 78-8/7HG) и при 960 – 980 °С (RI-МС175LC и MayCarb 284-АХ). Максимальная скорость окисле-

ния углерода (обезуглероживания огнеупора) во всех случаях достигается при температуре 700 – 750 °С. В целях реализации малообезуглероживающего первого разогрева ковша после ремонта для огнеупоров исследуемых марок рекомендуются температурные режимы, включающие низкотемпературные (до 500 °С) выдержки футеровки.

#### Библиографический список

1. Темлянцев М.В., Матвеев М.В. Обезуглероживание периклазоуглеродистых огнеупоров при тепловой обработке футеровок сталеразливочных ковшей // *Металлург*. 2010. № 8. С. 60–62.

2. Темлянцев М.В., Матвеев М.В. Исследование обезуглероживания периклазоуглеродистых огнеупоров при разогреве футеровок сталеразливочных ковшей перед приемом расплава // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2010. Т. 53. № 10. С. 38–40.

3. Темлянцев М.В., Матвеев М.В., Темлянцева Е.Н. Исследование влияния различных факторов на обезуглероживание периклазоуглеродистых ковшовых огнеупоров // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2011. Т. 54. № 10. С. 32–36.

4. Протопопов Е.В., Темлянцев М.В., Запольская Е.М., Максакова К.Е., Дегтярь В.А. Исследование высокотемпературного обезуглероживания алюмопериклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2014. Т. 57. № 12. С. 24–28.

5. Якушевич Н.Ф., Запольская Е.М., Темлянцев М.В., Протопопов Е.В., Темлянцева Е.Н., Приходько М.С. / Исследование процессов обезуглероживания периклазоуглеродистых и алюмопериклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2022. Т. 65. № 8. С. 555–562.

6. Рунгос В. Положительное влияние нанодобавок на термомеханические свойства огнеупоров  $Al_2O_3 - C$  и  $MgO - C$  / В. Рунгос, С.Г. Анезерис, Х. Берек, Э. Скиера, С. Томсер // *Новые огнеупоры*. 2013. №9. С. 24 – 36.

7. Кашеев И.Д. Свойства периклазоуглеродистых огнеупоров с добавками металлических порошков / И.Д. Кашеев, В.И. Сизов, О.А. Панин // *Огнеупоры*. - 1989. - № 8. - С. 7 - 9.

8. Очагова И.Г. Повышение стойкости к окислению высокоуглеродистых бетонов с применением смеси антиоксидантов / И.Г. Очагова // *Новости черной металлургии за рубежом*. - 2011. - №1. - С. 88 - 91.

9. Симонов К.В. Влияние антиокислительных добавок на свойства периклазоуглеродистых огнеупоров на нетоксичной связке / К.В. Симонов, В.Н. Коптелов, Г.В. Будрина [и др.] // *Огнеупоры*. - 1989. - № 10. - С. 32 - 34.

10. Да Сильвейра В. Коллоидная обработка антиоксидантов для манипулирования микроструктурой в  $MgO-C$ -кирпиче / В. Да Сильвейра, Г. Фальк, Р. Клазен // *Огнеупоры и техническая керамика*. - 2010. - №10. - С. 32 - 41.

11. Кочубеев Ю.Н. Разработка оптимального состава шихты для периклазоуглеродистой футеровки сталеразливочных ковшей ЭСПЦ / Ю.Н. Кочубеев, Босякова Н.А., Неклюдова Ю.В. // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. – 2007. - №3. – С. 43 – 45.



# СОДЕРЖАНИЕ

КУЗНЕЦКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЕ ЛИТЕЙЩИКОВ 90 ЛЕТ <i>Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И.</i> .....	4
<b>СЕКЦИЯ 1: ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</b> .....	13
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОЙ РАБОТЫ ГОЛОВКИ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ ПРОДУВКИ В БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОНВЕРТЕРАХ <i>Протопопов Е.В., Уманский А.А., Морозов И.С., Чернышева Н.А.</i> .....	13
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ ИЗ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА <i>Уманский А.А., Байдин В.В., Симачев А.С., Думова Л.В.</i> .....	21
АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ КАЧЕСТВА СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ШАРОВЫХ СТАЛЕЙ С ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ <i>Уманский А.А., Протопопов Е.В., Морозов И.С., Симачев А.С., Думова Л.В.</i> .....	29
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАМА КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ <i>Сафонов С.О., Лопатина А.О.</i> .....	34
ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИСТЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ ИЗ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ <i>Шевко В.М., Утеева Р.А., Лавров Б.А., Полатова К.М., Каратаева Г.Е.</i> .....	38
ПЕРЕРАБОТКА БОГАТЫХ ПЫЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОМАРГАНЦА С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ <i>Шевко В.М., Айткулов Д.К., Синельников И.П., Удалов Ю.П., Бадикова А.Д.</i> .....	45
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ПЯТИКОМПОНЕНТНОГО ЭКВИАТОМНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Co-Cr-Fe-Mn-Ni <i>Панченко И.А., Дробышев В.К., Бессонов Д.А., Кольчурина М.А., Коновалов С.В.</i> .....	55
ВЫПЛАВКА ЧУГУНА ДЛЯ СМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИЗЛОЖНИЦ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ СРЕДНЕЙ И МАЛОЙ ЕМКОСТИ <i>Лубяной Д.Д., Кузнецов И.С., Кухаренко А.В., Князев С.В., Лубяной Д.А.</i> .....	62
ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Бурова Ю.Е., Вязникова Е.А., Дмитриев А.Н., Витькина Г.Ю., Алекторов Р.В.</i> .....	70
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК $K_2O$ , $Na_2O$ , $MgO$ , $Al_2O_3$ НА СВОЙСТВА ШЛАКА ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ <i>Гизатулин Р.А., Дунышин Н.С., Валугев Д.В., Худоёров С.С., Заиркулов Э.Ё.</i> .....	79
КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЛЕГИРОВАННЫХ ЧУГУНОВ В АТМОСФЕРЕ АНОДНЫХ ГАЗОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ЭКОСОДЕРБЕРГ <i>Пинаев Е.А., Темлянцева М.В., Большаков Д.Г., Темлянцева Е.Н., Куценко А.И.</i> .....	87
КИНЕТИКА ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СМОЛОСВЯЗАННЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ФУТЕРОВОК СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ <i>Якушевич Н.Ф., Запольская Е.М., Темлянцева М.В., Протопопов Е.В., Темлянцева Е.Н., Приходько М.С.</i> .....	92
ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА <i>Павлов В.В., Романенко Ю.Е., Годик Л.А., Фейлер С.В., Фейлер Д.Т.</i> .....	98

РЕЦИКЛИНГ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ <i>Годик Л.А., Фейлер С.В., Фейлер Д.Т., Романенко Ю.Е.</i> .....	104
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО РАСПЛАВА В УСЛОВИЯХ LD-КОНВЕРТИРОВАНИЯ В ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОНВЕРТЕРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА <i>Бондар В.И., Мельник С.Г.</i> .....	109
ФУТЕРОВКА СТАЛРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОГНЕУПОРНЫМ МАТЕРИАЛАМ И УСЛОВИЯМ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ <i>Плохих П.А., Алексеева В.А., Возжол Н.А., Плохих П.А.</i> .....	118
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОКИСЛЕННОСТЬ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА <i>Сущенко А.В.</i> .....	127
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЕЙНОГО ФЛЮСА НА ОСНОВЕ СМЕСИ КРЕМНЕФТОРИДА И ФТОРИДА НАТРИЯ <i>Аслопов А.А., Ахмадишов И.Ш., Наимов Н.А., Рузиев Дж.Р., Сафиев Х.</i> .....	137
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТИТАНОТЕРМИИ <i>Усольцев А.А., Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Михно А.Р., Князев С.В.</i> .....	142
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ОТЛИВОК В СПЛАВЕ 1570 <i>Зорин И.А., Дриц А.М., Арышенский Е.В., Коновалов С.В.</i> .....	149
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ И ЭРБИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ ЛИТЕЙНОЙ ЗАГОТОВКИ В ВЫСОКОМАГНИЕВОМ АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫМ СКАНДИЕМ <i>Арышенский В.Ю., Арышенский Е.В., Рагазин А.А., Бахтегареев И.Д., Коновалов С.В.<sup>1,2</sup></i> .....	156
О ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА МЕТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ <i>Якушевич Н.Ф., Строкина И.В., Полях О.А., Ноздрин И.В., Безрукова Е.С., Ноздрин Е.В.</i> .....	162
ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ВАННЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ <i>Якушевич Н.Ф., Полях О.А., Ноздрин И.В., Аникин А.Е., Ядыкина М.А., Комрони М.</i> .....	168
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБРАЗОВАНИЯ ФЕРРОШПИНЕЛЕЙ <i>Строкина И.В., Полях О.А., Ноздрин И.В., Сьюльдина С.А., Комрони М.</i> .....	175
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА КРЕМНИЯ В ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ <i>Полях О.А., Ноздрин И.В., Строкина И.В., Якушевич, Н.Ф., Хорощенко А.А., Комрони М.</i> .....	180
ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНОЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО ПРОДУКТА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ <i>Бурдонов А.Е., Новиков Ю.В., Шонходоев З.Ч., Хвостанцева Д.С., Максименко О.А.</i> .....	187
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОКСИДНОГО ВОЛЬФРАМОВОГО СЫРЬЯ В СТРУЙНОМ ПЛАЗМЕННОМ РЕАКТОРЕ <i>Ноздрин И.В., Полях О.А., Лепихов В.С., Аникин А.Е., Комрони М.</i> .....	196
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКЕ <i>Сафонов С.О., Лопатина А.О.</i> .....	205

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕПЦИИ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ НА НАСЛЕДСТВЕННУЮ СТРУКТУРУ В СТАЛИ 09Г2С <i>Солоницын А.Р.</i> .....	211
ПЕРЕРАБОТКА БЕМИТ-КАОЛИНИТОВЫХ БОКСИТОВ БИСУЛЬФАТОМ АММОНИЯ: ОСАЖДЕНИЕ ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ ИЗ РАСТВОРА АЛЮМОАММОНИЙНЫХ КВАСЦОВ <i>Валеев Д.В.</i> .....	215
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ $CoCrFeMnNi$ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ Fe И Mn <i>Панченко И.А., Гостевская А.Н., Коновалов С.В., Безродная Е.А., Бессонов Д.А.</i> .....	220
МЕТОДИКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ <i>Рыбенко И.А., Конголи Ф.</i> .....	225
<b>СЕКЦИЯ 2: ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА</b> .....	231
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАХВАТА ПОЛОСЫ ПРИ АСИММЕТРИЧНОЙ ЛИСТОВОЙ ПРОКАТКЕ <i>Кожевников А.В., Смирнов А.С., Платонов Ю.В., Кожевникова И.А.</i> .....	231
ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК10КС ПОСЛЕ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ <i>Осколкова Т.Н., Фастыковский А.Р.</i> .....	236
ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРУКТУРЫ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ СЖАТИЕМ <i>Аксёнова К.В., Громов В.Е., Кибко Н.В., Ващук Е.С.</i> .....	242
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, СТРУКТУРУ И КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ В СРЕДЕ СЕРОВОДОРОДА ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ 20 <i>Валюгин М.А., Мурсенков Е.С.</i> .....	248
АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКИ <i>Платонов Ю.В.</i> .....	255
СПОСОБ РАСЧЕТА СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ «МЯГКОГО» ОБЖАТИЯ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ УСАДКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ОСЕВОЙ РЫХЛОСТИ <i>Кабаков З.К., Габеляя Д.И., Чуев А.А.</i> .....	261
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДРЕССИРОВКИ ШИРОКИХ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРАВЛЕННЫХ ПОЛОС <i>Антонов П.В., Парфенов Н.С., Болобанова Н.Л., Тимофеева М.А.</i> .....	267
ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ТАКТОВОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО РЕЛЬСОБАЛОЧНОГО СТАНА <i>Головатенко А.В., Фастыковский А.Р., Мусатова А.И.</i> .....	272
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРОКАТКОЙ <i>Фастыковский А.Р., Осколкова Т.Н., Вахроломеев В.А., Глухов М.И., Прудников А.Н.</i> .....	278
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ И ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ДЛИННОМЕРНЫХ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННО ЗАКАЛЕННЫХ РЕЛЬСОВ ПОСЛЕ ЭКСТРЕМАЛЬНО ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ <i>Кузнецов Р.В., Юрьев А.А., Шлярова Ю.А., Громов В.Е., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф.</i> .....	284
СИНТЕЗ КОМПЛЕКСНОЙ НОРМАТИВНОЙ МОДЕЛИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАРТИИ ПРОКАТНОЙ ПРОДУКЦИИ <i>Мусатова А.И., Кулаков С.М., Фастыковский А.Р.</i> .....	289

ВЛИЯНИЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КОМПОЗИТА Ti/TiB, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ <i>Озеров М.С., Поволяева Е.А., Громашова Д.В., Волокитина Е.И.</i> .....	298
ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПРЕССОВОК ИЗ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА <i>Прудников А.Н., Прудников В.А., Рексиус В.С.</i> .....	303
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА В КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЕ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Жибинова И.А.</i> .....	310
ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Прудников А.Н., Жибинова И.А.</i> .....	315
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ МАРКИ К76Ф НА УДАРНУЮ СТОЙКОСТЬ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ <i>Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В., Сафонов С.О.</i> .....	323
ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА С ДОБАВКАМИ ДИОКСИДА ТИТАНА <i>Хамид. Махан М., Коновалов С.В., Куценко А.А., Цветков А.В., Панченко И.А.</i> .....	327
ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ <i>Васильев А.А., Колбасников Н.Г.</i> .....	332
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОКАТКИ РЕЛЬСЫ В НЕПРЕРЫВНОЙ ГРУППЕ КЛЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ QFORM <i>Белопищкая Е.С., Соловьев В.Н.</i> .....	341
УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРУКТУРОЙ ТРУБНЫХ МАРОК СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ <i>Колбасников Н.Г., Жуков Н.В.</i> .....	348
ПРИЧИНЫ И МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ТИПА «МОРЩИНА» ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СОРТОВОЙ СТАЛИ <i>Колбасников Н.Г., Адигамов Р.Р., Шишов И.А., Зайцев А.М.</i> .....	356
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СПЛАВЫ СЕРИИ AL-MG-SI С ИЗБЫТКОМ КРЕМНИЯ И НЕБОЛЬШИМИ ДОБАВКАМИ СКАНДИЯ И ЦИРКОНИЯ <i>Арышенский Е.В., Лапшов М.А., Солопаев М.В., Коновалов С.В.</i> .....	367
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ РЕЛЬСОВ <i>Сарычев В.Д., Филяков А.Д., Чумаков И.И., Коновалов С.В.</i> .....	374
ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА СТРУКТУРУ И ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ СПЛАВОВ AL – 40%Si <i>Афанасьев В. К., Попова М.В., Малюх М.А.</i> .....	379

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:  
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**  
*«Металлургия – 2022»*

Труды XXIII Международной научно-практической конференции

Часть 1

Под общей редакцией А.Б. Юрьева

Технический редактор	Г.А. Морина
Компьютерная верстка	Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 16.11.2022 г.  
Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 22,8 Уч.-изд. л. 25,2 Тираж 300 экз. Заказ № 295

Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42  
Издательский центр СибГИУ