

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Администрация Правительства Кузбасса**

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

**Сибирский государственный индустриальный университет**

*Посвящается 100-летию  
со дня рождения ректора СМИ,  
доктора технических наук,  
профессора Н.В. Толстогузова*

**МЕТАЛЛУРГИЯ:  
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО  
«Металлургия – 2021»**

***Труды  
XXII Международной научно-практической конференции***

*10 – 11 ноября 2021 г.*

***Часть 1***

**Новокузнецк  
2021**

УДК 669(06)+658.012.056(06)  
М 540

Редакционная коллегия  
д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,  
д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,  
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, к.т.н. Е.Н. Темлянцева,  
д.т.н., доцент В.В. Зимин, д.т.н., профессор А.Г. Никитин,  
к.э.н., доцент Ю.С. Климашина

М 540      Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XXII Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1 / под ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2021. – 326 с. : ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и наукоёмким технологиям металлургических процессов, обработки металлических материалов: литейное производство, обработка давлением, термическая обработка.

#### **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»  
Журнал «MATEC Web of Conferences »  
Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»  
АО «Кузбасский технопарк»  
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук  
Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2021

Хорошо видно, что по ходу окисления углерода содержание марганца практически не меняется. Только по достижении содержания углерода 0,1% начинается резкое окисление марганца. Концентрация марганца при углероде менее 0,1% становится ниже, чем расчетные значения. Она доходит до 0,05%. Это можно объяснить тем, что при этой концентрации углерода происходит смена лимитирующей стадии процесса окисления. Скорость процесса начинает лимитироваться скоростью массопереноса углерода в металле. Избыточный кислород начинает энергично взаимодействовать с другими элементами, такими как марганец и железо.

*Выводы:*

Анализ показал, что основными направлениями оптимизации технологии окислительного процесса в вопросе экономии марганцевых ферросплавов являются:

- повышение содержания марганца в металле за счет использования металлошихты с повышенным содержанием марганца;
- прямое легирование марганцем из оксидных марганцевых материалов;
- контроль содержания углерода по ходу окислительного периода и соответственно остановка процесса на максимально допустимых его концентрациях на конечных этапах продувки металла кислородом.

#### Библиографический список

1. Д.Я. Поволоцкий, В.Е.Рощин, Н.В. Мальков. Электрометаллургия стали и ферросплавов. – М.: «Металлургия». 1995. - 592с.
2. В.А. Григорян, Л.Н. Белянчиков, Ф.Я. Стомахин. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. - М.: «Металлургия». 1987. - 271с.

УДК 669.184.14

### **РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МНОГОСОПЛОВЫХ КИСЛОРОДНЫХ ФУРМ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЛЯ 350-ТОННЫХ КОНВЕРТЕРОВ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»**

**Протопопов Е.В., Щипанов С.С., Чернышева Н.А., Сафонов С.О.**

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

*Аннотация. Предложены технические решения по упрощению конструкции и технологии изготовления сварной многосопловой головки фурмы с центральным подводом охлаждающей воды.*

*Ключевые слова: дутьевые устройства, фурма, сопло.*

### **DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF THE DESIGN OF MULTI-LAYER OXYGEN TUYERES WITH CENTRAL COOLING FOR 350-TON CONVERTERS OF JSC EVRAZ ZSMK**

**Protopopov E.V., Shipanov S.S., Chernysheva N.A.**

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

*Abstract. Technical solutions are proposed to simplify the design and manufacturing technology of a welded multi-layer tuyere head with a central cooling water supply.*

*Keywords: blowing devices, tuyere, nozzle.*

Кислородно-конвертерный цех № 2 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» является единственным цехом отрасли, где в большегрузных конвертерах для продувки ванны используются 4-х сопловые кис-

лородные фурмы. Применение такой конструкции фурмы и накопленный технологический опыт производства, низкоуглеродистого металла позволяет обеспечить работу агрегатов в условиях «передува» с получением удовлетворительных технико-экономических показателей.

Характерной особенностью работы конвертерных цехов ЗСМК является переработка чугунов с пониженным содержанием марганца, что создает известные сложности в организации дутьевого и шлакового режима плавки [1–3].

Ранее полученная информация [4, 5] и практика передела низкомарганцовистых чугунов в 350-т конвертерах ЗСМК свидетельствует в пользу дополнительного рассредоточения дутья и использования кислородных фурм с 6 – 11 соплами расположенных в сварных головках фурмы. Однако такие фурмы, обычно с однорядным расположением сопел, отличаются низкой стойкостью головок из-за неудовлетворительной системы периферийного охлаждения (образование застойных зон в межсопловом пространстве) и большого числа сварных швов, в том числе на торце головки, подвергающейся воздействию высоких температур реакционной зоны и выбрасываемых из нее брызг металла и шлака.

С учетом опыта эксплуатации многосопловых фурм в ЗСМК и необходимостью повышения стойкости сварных головок фурм были предложены следующие технические решения.

Упрощение конструкции и технологии изготовления сварной многосопловой головки фурмы, повышение эффективности охлаждения последней, можно достичь при центральном подводе охлаждающей воды к межсопловому пространству и блочном варианте расположения сопел в головке фурмы. Расчет параметров сопел 5-, 6- и 12-канальных фурм вели с использованием известных методик [4 – 6] с учетом изменения расхода кислорода в пределах 600 – 1200 м<sup>3</sup>/мин при отводе конвертерных газов в режиме без или с частичным дожиганием. Размещение сопел в блоке и самих сопловых блоков в головке фурмы производили с условием обеспечения в ходе продувки раздельного существования первичных реакционных зон в объеме расплава, образуемых при внедрении в ванну рассредоточенных кислородных струй. Размеры первичных реакционных зон при выбранных режимах дутья определяли по данным высокотемпературного моделирования с использованием полученных зависимостей.

В процессе исследования были спроектированы и выполнены рабочие чертежи дутьевых устройств (рисунки 1–6) с обеспечением компенсации термических напряжений в фурме путем установки сальниковых или металлошланговых соединений. Использование новых фурм потребует модернизации системы установки и крепления дутьевого устройства в продувочном стенде. В качестве базовой конструкции при переводе кислородных фурм на центральное охлаждение спроектирована 5-сопловая головка фурмы (рисунок 1) на расход кислорода 600 – 900 м<sup>3</sup>/мин с соплами Лаваля критическим диаметром ( $d_{кр}$ ) 41 мм, расположенными равномерно по окружности под углом 17° к вертикальной оси фурмы.

В разработанных вариантах конструкции 6- и 12-сопловых головок фурмы (рисунки 2–6) между верхней и нижней чашами равномерно по окружности под углом 15° к вертикальной оси фурмы посредством сварки закрепляются сопловые блоки (рисунки 3, 5, 6), в каждом из которых выполняется два или предпочтительно три сопла различного профиля.

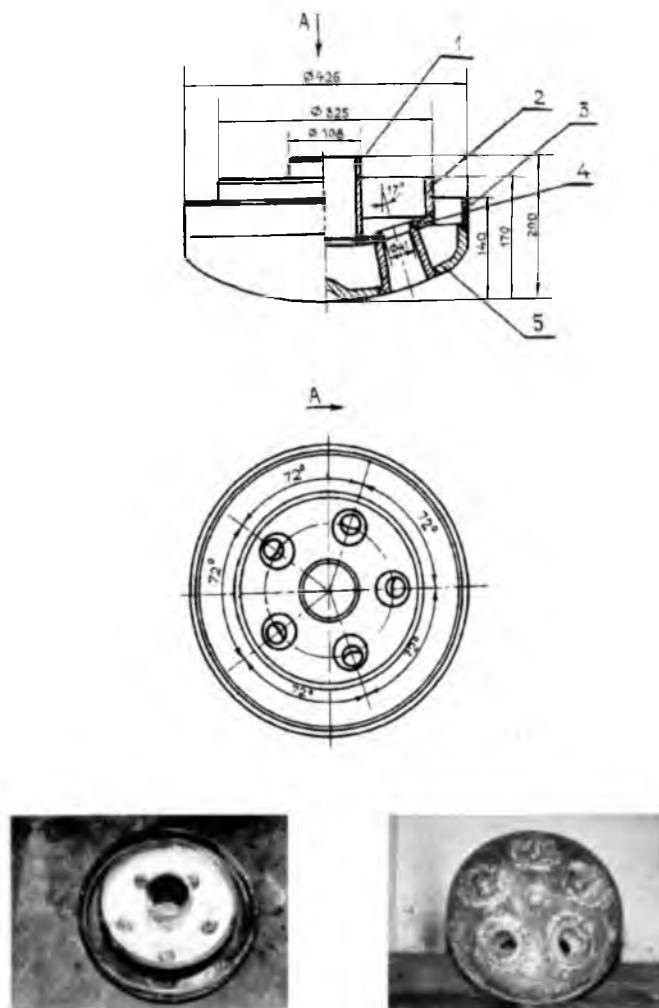
Модификация 6-сопловой трехблочной фурмы (рисунок 2) обеспечивает продувку с оптимальным расходом кислорода 900 – 1200 м<sup>3</sup>/мин, при возможности расширения диапазона регулирования расхода до 600 – 1200 м<sup>3</sup>/мин за счет изменения общей длины сопла без снижения эффективности продувки и стойкости головки фурмы, что в максимальной степени соответствует условиям работы ККЦ № 2. При этом в каждом из сопловых блоков (рисунок 3) размещается по два сопла Лаваля с критическим диаметром ( $d_{кр}$ ) равным 38 мм и выходным диаметром ( $d_{вых}$ ) – 43 мм, при расположении сопла в плане между собой под углом ( $\gamma$ ) 9° к оси блока. В межсопловом пространстве блока для дополнительного охлаждения выполнены проточки – сверления диаметром 12 мм (рисунок 3).

Отличие модификации 12-сопловой головки фурмы (рисунок 4) заключается в двухрядном расположении сопел на торцевой части головки с размещением во внутреннем ряду четырех сопел Лаваля ( $d_{кр} = 46$  мм,  $d_{вых} = 60$  мм) и внешнем – восьми цилиндрических сопел

диаметром 20 мм. Диаметр комбинированных радиальных проточек для циркуляции охлаждающей воды в межсопловом пространстве блоков составляет 10-20 мм (рисунки 5, 6). В данном случае сопло Лавалья, обеспечивает организацию «жесткой» продувки и окисление примесей металла, а два цилиндрических сопла в блоке – дожигание в «свищевом» отходящем из реакционной зоны потоке газов. При этом в соответствии с полученными рекомендациями 30 % от общего расхода кислорода на продувку ( $I_{\text{общ}} = 1200 \text{ м}^3/\text{мин}$ ) для дожигания отходящих газов подается через цилиндрические сопла и 70 % расход через сопла Лавалья для общей продувки соответственно.

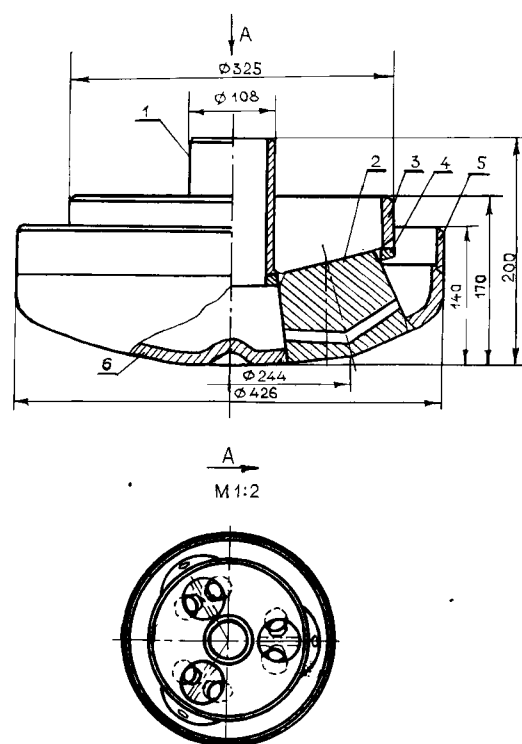
Оптимальный расчетный расход воды на охлаждение разработанных конструкций фурм составляет  $350 - 380 \text{ м}^3/\text{ч}$ , при этом разность температур ( $\Delta t$ ) воды на входе и выходе из фурмы будет колебаться в пределах  $25 - 30 \text{ }^\circ\text{C}$  в зависимости от периода продувки, а скорость движения охлаждающей воды в межсопловом пространстве головки –  $5 - 7 \text{ м/с}$ .

Выполненная в цехе реконструкция подвода технологических газов к продувочной фурме позволит при использовании разработанных конструкций кислородных фурм (рисунки 1, 2, 4) обеспечить повышение эффективности продувки с дожиганием отходящих газов, в том числе при замещении технологических газов в различные периоды операции, повышении стойкости дутьевых устройств и возможности реализации горячих ремонтов футеровки конвертеров при нанесении шлакового гарнисажа.



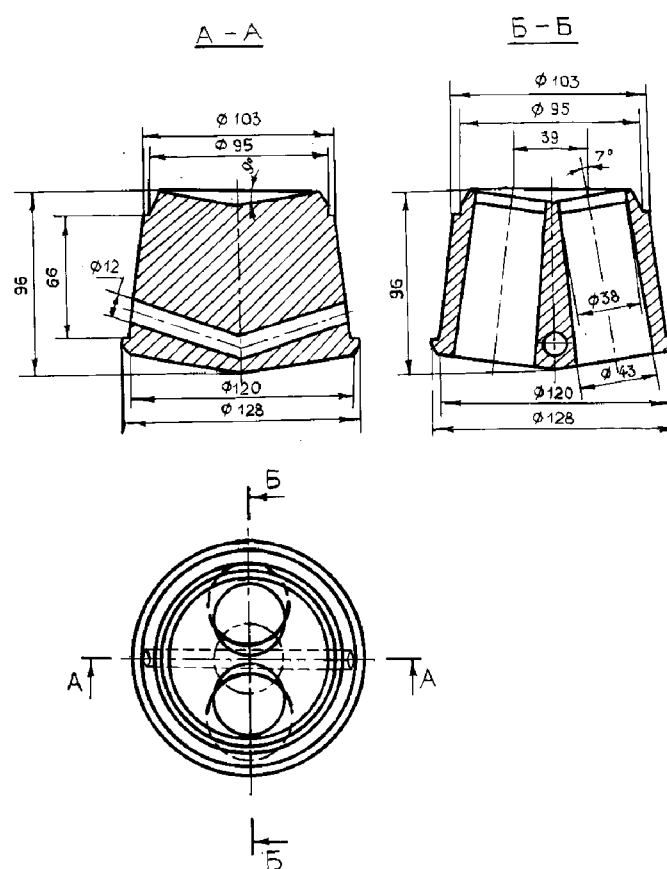
1 – труба для подвода охлаждающей воды; 2 – разделительная труба;  
3 – внешняя труба; 4 – обойма; 5 – сопло; 6 – чаша

Рисунок 1 – Конструкция пятисопловой фурмы с центральным подводом воды (а)  
и внешний вид наконечника (б)



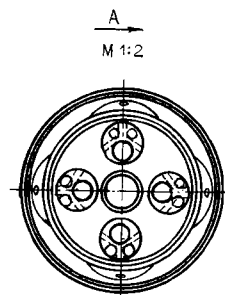
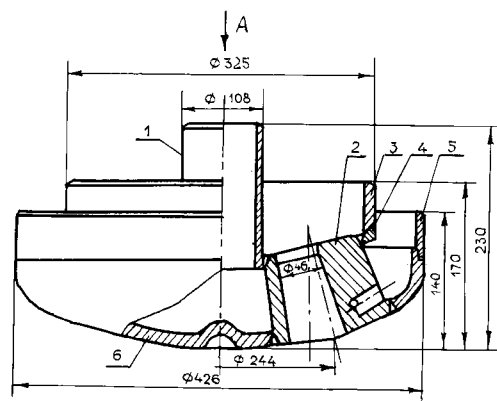
1 – труба для подвода охлаждающей воды; 2 – сопловой блок;  
3 – разделительная труба; 4 – обойма; 5 – внешняя труба; 6 – чаша

Рисунок 2 - Конструкция шестисопловой головки кислородной фурмы с блочным расположением сопел



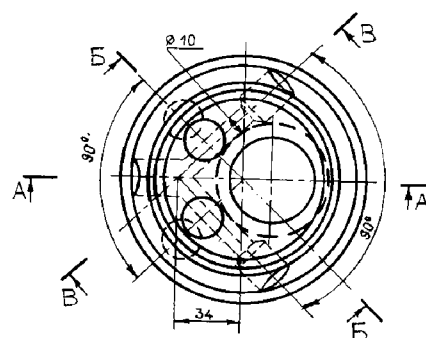
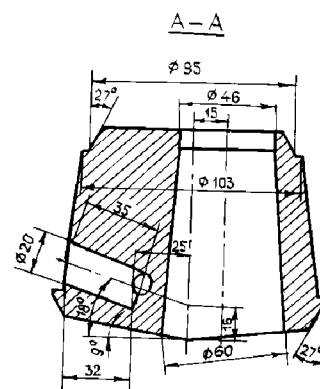
1 – сопло Лавалья; 2 – проточки для охлаждающей воды; 3 – сопловой

Рисунок 3 - Сопловой блок шестисопловой фурмы. Компоновка разрезов и сечений



1 – труба для подвода охлаждающей воды; 2 – сопловой блок;  
3 – разделительная труба; 4 – обойма; 5 – внешняя труба; 6 – чаша

Рисцнок 4 - Конструкция двенадцатисопловой головки кислородной фурмы с блочным расположением сопел



1 – сопло Лавалья; 2 – цилиндрические сопла; 3 – комбинированные  
проточки для охлаждающей воды

Рисунок 5 - Сопловой блок двенадцатисопловой фурмы. Компоновка разрезов и сечений

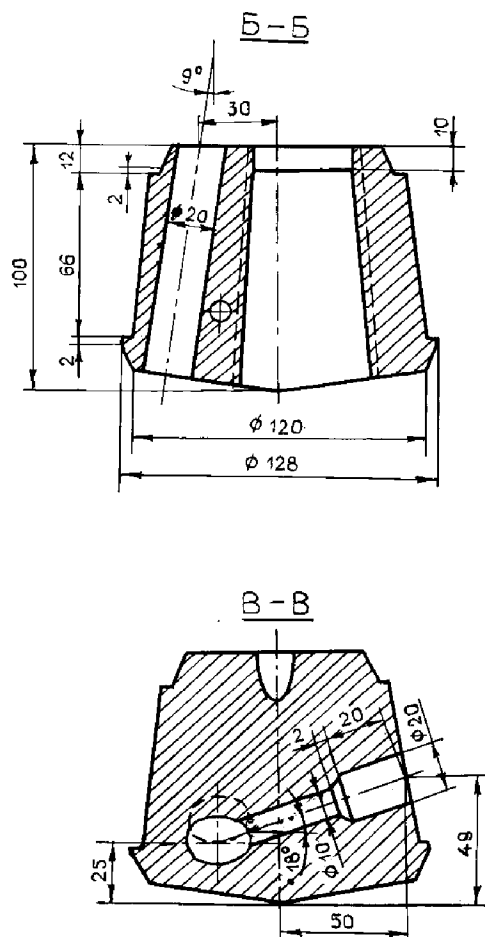


Рисунок 6 - Сопловой блок двенадцатисопловой фурмы

#### Библиографический список

1. Глазов, А. Н. Передел чугунов с пониженным содержанием марганца кислородно-конвертерным процессом / А. Н. Глазов, Л. А. Смирнов, Б. Н. Катенин. – Черная металлургия. Бюл. НТИ, 1977 – С.8 – 21.
2. Югов, П. И. Шлакообразование при низких концентрациях марганца в конвертер-ной ванне / П. И. Югов Сталеплавильное производство : Тематич. отраслев. сборник МЧМ СССР. – М. : Металлургия, 1974. – № 2. – С. 33 – 39.
3. Зарвин, Е. Я. О некоторых особенностях дутьевого режима выплавки стали в 350-т конвертерах / Е. Я. Зарвин, А. Г. Чернятевич, Ю. Н. Борисов. – Изв. вузов. Черная металлур-гия, 1976. – № 12. – С.47 – 52.
4. Баптизманский, В. И. Конвертерные процессы производства стали / В. И. Баптизман-ский, М. Я. Меджибожский, В. Б. Охотский. – Киев – Донецк : Вища школа, 1984. – 344 с.
5. Баптизманский, В. И. Расчет кислородно-конвертерных фурм / В. И. Баптизман-ский, Г. А. Щедрин. – Сталь, 1973. – № 1. – С. 20 – 23.
6. Явойский, В. И. Теория продувки сталеплавильной ванны / В. И. Явойский, Г. А. Дорофеев, И. Л. Повх. – Москва : Металлургия, 1974. – 495 с.



# СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПАМЯТИ НИКОЛАЯ ВАСИЛЬЕВИЧА ТОЛСТОГУЗОВА<br><i>Рожихина И.Д.</i> .....                                                                                                                                          | 4  |
| <b>СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ<br/>И НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</b> .....                                                                                             | 9  |
| ЛЕГИРОВАНИЕ И МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ<br>РАСПЛАВОВ ПРИРОДНЫМИ И ТЕХНОГЕННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ<br><i>Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Прошунин И.Е., Голодова М.А., Дмитриенко В.И.</i> .....                 | 9  |
| ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОГО КОНЦЕНТРАТА ПРИ ОБОГАЩЕНИИ<br>ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ РУД КУЗБАССА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИИ В МЕТАЛЛУРГИИ<br><i>Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Голодова М.А., Ходосов И.Е.</i> .....                    | 18 |
| АНАЛИЗ ШЛАКОВОГО РЕЖИМА ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ<br>МОДЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ<br><i>Павлов А.В., Спирин Н.А., Бегинюк В.А., Косаченко И.Е.</i> .....                                 | 26 |
| СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОКУСКОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ .....                                                                                                                                                     | 32 |
| <i>Берсенева И.С., Брагин В.В., Солодухин А.А., Поколенко А.Ю.,<br/>Бардавелидзе Г.Г., Спирин Н.А.</i> .....                                                                                                   | 32 |
| ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ НИОБИЙСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ<br>В ЖИДКОЙ СТАЛИ<br><i>Жучков В.И., Заякин О.В., Кель И.Н.</i> .....                                                                                     | 37 |
| АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ПРОДУВКЕ<br>НЕЙТРАЛЬНЫМ ГАЗОМ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СТАЛИ<br><i>Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Запольская Е.М., Полях О.А.</i> .....                     | 42 |
| ПОЛУЧЕНИЕ КРЕМНИЯ И ФЕРРОСИЛИЦИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКОЙ<br>И ОБРАЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ<br><i>Ёлкин К.С., Рожихина И.Д., Ёлкин Д.К.</i> .....                                                   | 46 |
| ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ<br><i>Громов В.Е., Шлярова Ю.А., Коновалов С.В., Воробьев С.В., Семин А.П.</i> .....                                                                          | 50 |
| ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ<br>НА АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ<br><i>Гизатулин Р.А., Лепихов В.С., Шароватых Д.Ю.</i> .....                                                                         | 54 |
| ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ<br>ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В МЕТАЛЛУРГИИ ЦИНКА<br><i>Козлов П.А.</i> .....                                                                              | 57 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ<br>СПЛАВОВ ИЗ БЕДНЫХ КАРБОНАТНЫХ И ОКСИДНЫХ РУД В АГРЕГАТЕ СЭР<br><i>Рыбенко И.А., Цымбал В.П., Kongoli F.</i> .....                          | 66 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВСПЕНИВАНИЯ 350-ТОННОЙ КОНВЕРТЕРНОЙ<br>ВАННЫ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ НИЗКОМАРГАНЦОВИСТЫХ ЧУГУНОВ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»<br><i>Протопопов Е.В., Полях О.А., Чернышева Н.А., Козьминых Р.А.</i> ..... | 73 |
| КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАФИНИРОВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ПРОДУВКЕ<br>НЕЙТРАЛЬНЫМ ГАЗОМ В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ<br><i>Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Запольская Е.М., Полях О.А.</i> .....                              | 78 |
| ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА КАЧЕСТВА<br>И ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА НА «ЕВРАЗ ЗСМК»<br><i>Леонтьев А.С., Рыбенко И.А.</i> .....                                                                | 82 |

|                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ИЗВЕСТНЯКА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ<br><i>Уманский А.А., Козырев Н.А., Жутков С.В., Николаев В.К., Гизатулин Р.А.</i> .....                       | 87  |
| ПОВЕДЕНИЕ МАРГАНЦА В ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ<br>СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ<br><i>Гизатулин Р.А., Дмитриенко В.И., Дмитриенко А.В., Носов Ю.Н., Ноздрин И.В.</i> .....                                                                             | 92  |
| РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МНОГОСОПЛОВЫХ<br>КИСЛОРОДНЫХ ФУРМ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЛЯ 350-ТОННЫХ<br>КОНВЕРТЕРОВ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»<br><i>Протопопов Е.В., Щипанов С.С., Чернышева Н.А., Сафонов С.О.</i> .....                     | 95  |
| РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ<br>ДУТЬЕВЫХ УСТРОЙСТВ И КОНСТРУКЦИИ ДВУХъяРУСНОЙ КИСЛОРОДНОЙ<br>ФУРМЫ ДЛЯ 350-ТОННЫХ КОНВЕРТЕРОВ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»<br><i>Протопопов Е.В., Щипанов С.С., Чернышева Н.А., Сафонов С.О.</i> .....    | 101 |
| РАСЧЕТ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ В КОЛОННОМ<br>СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ РЕАКТОРЕ<br><i>Сеченов П.А., Рыбенко И.А., Roos К.</i> .....                                                                                                         | 107 |
| ИЗУЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПЛАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ<br>СПЛАВОВ В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТОМ РАСПЛАВЕ<br><i>Заякин О.В., Ренёв Д.С., Жучков В.И.</i> .....                                                                                           | 112 |
| ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА, ВАНАДИЯ И ТИТАНА<br>ПРИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ ОБЖИГЕ ТИТАНОМАГНЕТИТА<br><i>Агамирова А.С.</i> .....                                                                                                                  | 116 |
| ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ДОЖИГАНИЯ ОТХОДЯЩИХ<br>ГАЗОВ В ПОЛОСТИ 160-ТОННОГО КОНВЕРТЕРА АО «ЕВРАЗ ЗСМК»<br><i>Протопопов Е.В., Солоненко В.В., Темлянецев М.В., Якушевич Н.Ф., Полях О.А.</i> .....                                   | 121 |
| МЕЖФАЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕРИЯ МЕЖДУ ШЛАКОМ СИСТЕМЫ<br>CAO-SIO <sub>2</sub> -CE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -15%AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -8%MGO И НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫМ МЕТАЛЛОМ<br><i>Бабенко А.А., Смирнов Л.А., Уполовникова А.Г.</i> ..... | 126 |
| РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ<br>СМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ<br><i>Лубяной Д.А., Юрьев А.Б., Кузнецов И.С., Маркидонов А.В., Лубяной Д.Д.</i> .....                                                             | 131 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ<br>ЧУГУНА В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ С ПРЯМЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ МАРГАНЦЕМ<br><i>Лубяной Д.Д., Юрьев А.Б., Маркидонов А.В., Кузнецов И.С., Лубяной Д.А.</i> .....                                       | 136 |
| РАЗРАБОТКА В PASCALABC.NET ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА СОСТАВА ШИХТЫ<br>ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАКОВ КРЕМНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА<br><i>Хоанг В.В., Немчинова Н.В., Тютрин А.А., Плакуций А.В.</i> .....                                                            | 141 |
| <b>СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ<br/>ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО,<br/>ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА</b> .....                                                          | 147 |
| ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА,<br>ОБЛУЧЕННОГО ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ<br><i>Абатурова А.А., Загуляев Д.В., Иванов Ю.Ф., Леонов А.А., Аксенова К.В.</i> .....                                                           | 147 |
| О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ ИНВАРОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ AL-Si-Cu<br><i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Малюх М.А.</i> .....                                                                                                                       | 154 |
| ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ<br>МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ<br><i>Князев С. В., Куценко А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Соколов Б.М., Ознобихина Н.В.</i> .....                                                   | 159 |

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЕМ  
ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

|                                                                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Князев С.В., Козырев Н.А., Усольцев А.А.</i> .....                                                                                                                                               | 163 |
| КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЧУГУНОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ<br>ГАЗОСБОРНОГО КОЛОКОЛА                                                                                                               |     |
| <i>Усольцев А.А., Князев С.В., Куценко А.И., Козырев Н.А., Дмитриенко В.И.</i> .....                                                                                                                | 167 |
| ОЦЕНКА ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ЧУГУНОВ ВЧ50 И ЧХ3                                                                                                                                                          |     |
| <i>Дмитриенко В.И., Князев С. В., Козырев Н.А., Куценко А.И., Усольцев А.А.</i> .....                                                                                                               | 177 |
| ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ<br>ХН65ВМТЮ (ЭИ896) МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ                                                               |     |
| <i>Комаров Д.В., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф., Чэнь Д., Панченко И.А.</i> .....                                                                                                                      | 184 |
| ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ И ДЕФЕКТНОЙ СУБСТРУКТУРЫ<br>НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНО ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЛЬСОВ                                                                    |     |
| <i>Кузнецов Р.В., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Шлярова Ю.А., Кормышев В.Е.,<br/>Перегудов О.А., Семин А.П.</i> .....                                                                                   | 189 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛООВОГО<br>РАСШИРЕНИЯ СИЛУМИНОВ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КРЕМНИЯ И МЕДИ                                                                                   |     |
| <i>Попова М.В., Жибинова И.А., Прудников А.Н.</i> .....                                                                                                                                             | 194 |
| ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛОГРАФИИ ВЫСОКОЧИСТОГО ЖЕЛЕЗА 008ЖР                                                                                                                                                |     |
| <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Долгова С.В.</i> .....                                                                                                                                              | 201 |
| МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ДОМЕННОГО ЧУГУНА ПОСЛЕ<br>ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ                                                                                                                      |     |
| <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Долгова С.В., Сагалакова М.М., Черныш А.П.,<br/>Жибинова И.А., Малиух М.А.</i> .....                                                                                | 208 |
| ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВОГО<br>СПЛАВА А0 С НИЗКОЙ СТЕПЕНЬЮ ПРОРАБОТКИ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ                                                                                           |     |
| <i>Яшин В.В., Арышенский Е.В., Коновалов С.В., Арышенский В.Ю., Латушкин И.А.</i> .....                                                                                                             | 212 |
| ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ И ВЫКАТЫВАЕМОСТИ ДЕФЕКТОВ<br>НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПРОКАТКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ В УСЛОВИЯХ<br>СОВРЕМЕННОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО РЕЛЬСОБАЛОЧНОГО СТАНА                |     |
| <i>Уманский А.А., Юрьев А.Б.</i> .....                                                                                                                                                              | 216 |
| МЕХАНИЗМЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕКСТУРЫ<br>И СВОЙСТВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ<br>ПРИ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ПРОЦЕССАХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ                                   |     |
| <i>Арышенский Е.В., Коновалов С.В.</i> .....                                                                                                                                                        | 225 |
| ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ЛИТЬЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВА<br>AL-MG-SI С ИЗБЫТКОМ SI ЛЕГИРОВАННОГО МАЛЫМИ ZR, SC ДОБАВКАМИ                                                                                     |     |
| <i>Лапинов М.А., Арышенский Е.В., Коновалов С.В., Арышенский В.Ю.</i> .....                                                                                                                         | 232 |
| ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ, МИКРОТВЕРДОСТЬ<br>И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 9СRМОВ-N ИЗГОТОВЛЕННОЙ<br>МЕТОДОМ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА                           |     |
| <i>Осинцев К.А., Шляров В.В., Чэнь С., Коновалов С.В., Загуляев Д.В., Чаплыгин К.К.</i> .....                                                                                                       | 240 |
| ПРОКАТКА ДЛИННОМЕРНОЙ РЕЛЬСЫ С УСКОРЕНИЕМ                                                                                                                                                           |     |
| <i>Соловьев В.Н., Белолипецкая Е.С.</i> .....                                                                                                                                                       | 248 |
| РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА РЕАКТИВНОЙ ДИФФУЗИИ ПО ТОЛЩИНЕ<br>ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ (ФАЗЫ) ПРИ ВЛИЯНИИ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО<br>НИКЕЛЯ НА ДИФФУЗИОННЫЕ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ<br>ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ |     |
| <i>Розенштейн Е.О., Бондарева О.С., Коновалов С.В.</i> .....                                                                                                                                        | 255 |

|                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ИНДУКЦИЕЙ 0,3 ТЛ НА ПЛАСТИЧЕСКИЕ<br>СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО СВИНЦА<br><i>Серебрякова А.А., Загуляев Д.В., Шляров В.В.</i> .....                                                                                            | 261 |
| ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЯ<br>ИЗ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА АК5М2<br><i>Прудников А.Н., Фастыковский А.Р., Прудников В.А.</i> .....                                                                                                   | 266 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ ЛИСТОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ<br>СПЛАВОВ 1424БТ, АМг5М, Д16, 5182 ПРИ СОЕДИНЕНИИ ХОЛОДНОЙ<br>ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ<br><i>Ахильгов Г.В., Носова Е.А.</i> .....                                                                  | 271 |
| ВЛИЯНИЕ МАРГАНЦА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ<br>СВОЙСТВ СЛИТКОВ ИЗ НАВОДОРОЖЕННЫХ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ<br><i>Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Попова М.В., Фастыковский А.Р.</i> .....                                                  | 276 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ СТРУКТУР В СЛОИСТОЙ<br>АЛЮМИНИЙ-ТИТАНОВОЙ ЗАГОТОВКЕ, ПОЛУЧЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ<br>ПРОКАТКИ И ОТЖИГА<br><i>Штырова А.А., Носова Е.А.</i> .....                                                                                  | 281 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗЕРВА СИЛ ТРЕНИЯ КАЛИБРОВ, ФОРМИРУЮЩИХ<br>СОЧЛЕНЕННЫЙ ПРОФИЛЬ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРОДОЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ<br><i>Фастыковский А.Р., Вахроломеев В.А.</i> .....                                                                                  | 286 |
| СИЛОВЫЕ УСЛОВИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ В РОЛИКОВЫХ ВОЛОКАХ<br><i>Фастыковский А.Р., Осолкова Т.Н., Юрьев А.Б., Прудников А.Н.</i> .....                                                                                                                           | 290 |
| УВЕЛИЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ЗАГОТОВОЧНЫХ<br>И СОРТОВЫХ СТАНОВ<br><i>Фастыковский А.Р., Леонтьев В.В., Губарев Е.И., Перминов Д.А., Зайков И.Г.</i> .....                                                                                       | 296 |
| ОСОБЕННОСТИ СИЛОВОГО БАЛАНСА УНИВЕРСАЛЬНЫХ КАЛИБРОВ<br>СОВРЕМЕННЫХ РЕЛЬСОБАЛОЧНЫХ СТАНОВ<br><i>Фастыковский А.Р., Добрянский А.В., Дорофеев В.В.</i> .....                                                                                               | 299 |
| ВОПРОСЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ<br><i>Князев С.В., Куценко А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Куценко А.А.</i> .....                                                                                                              | 304 |
| АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ<br>МЕЛЮЩИХ ШАРОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ<br>ИЗ ОТБРАКОВКИ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК<br><i>Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В.</i> .....                       | 309 |
| КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ<br>СПЛАВОВ И ОТЛИВОК ПОСЛЕ ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ<br>В ПРОЦЕССЕ ЛИТЬЯ<br><i>Приходько О.Г., Деев В.Б., Прусов Е.С., Куценко А.И., Пономарева К.В.,<br/>Сметанюк С.В., Сокорев А.А.</i> ..... | 316 |

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:  
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**  
*«Металлургия – 2021»*

Труды XXII 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 20.10.2021 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 23,4 Уч.-изд. л. 25,8 Тираж 300 экз. Заказ № 234

Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42  
Издательский центр СибГИУ