

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

лургия. – 2015. - № 10. – С. 90 – 94.

6. Рыбенко, И.А. Развитие теоретических основ и разработка ресурсосберегающих технологий прямого восстановления металлов с использованием метода и инструментальной системы моделирования и оптимизации [текст] : дис. докт. техн. наук : спец. 05.16.02 : защищена 24.12.18 : утв. 09.07.19 / И.А. Рыбенко. – Новокузнецк, 2018. – 327 с.

7. Рыбенко И.А. Инжиниринг-Металлургия / И.А. Рыбенко, А.А. Оленников // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017617445; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 04.07.2017.

8. Рыбенко, И. А. Решение задач оптимизации металлургических процессов с использованием инструментальной системы «Инжиниринг-Металлургия» / И. А. Рыбенко // Бюл. Черная металлургия. – 2018. - № 3. – С. 42 – 47.

УДК 669.184.135

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВСПЕНИВАНИЯ 350-ТОННОЙ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ НИЗКОМАНГАНЦОВИСТЫХ ЧУГУНОВ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Протопопов Е.В., Полях О.А., Чернышева Н.А., Козьминых Р.А.

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

Аннотация. Рассмотрены особенности вспенивания и выбросов шлако-металлической эмульсии из конвертеров в различные периоды продувки.

Ключевые слова: конвертерная ванна, шлако-металлическая эмульсия, выбросы, шлак, корольки.

INVESTIGATION OF THE FEATURES OF FOAMING A 350-TON CONVERTER BATH DURING PROCESSING LOW-MANGANESE CAST IRON OF JSC "EVRAZ ZSMK"

Protopopov E.V., Poljah O.A., Chernysheva N.A., Kozminykh R.A.

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

Abstract. The features of foaming and emissions of slag-metal emulsion from converters during various periods of purging are considered.

Keywords: converter bath, slag-metal emulsion, emissions, slag, kings.

По ходу практически каждой конвертерной плавки возникает ситуация, когда шлаковая фаза переходит в чрезмерно вспененное состояние, что в дальнейшем приводит к выбросам шлако-металлической эмульсии из агрегата и, соответственно, снижению производительности агрегатов и выхода жидкой стали. Интерес, проявляемый к вспениванию шлаков и эмульгированию металла в шлак, постоянно возрастает, поскольку кинетика этого процесса во многом определяется развитием участвующих в химических реакциях поверхностей раздела в конвертерной ванне. Распространена точка зрения, что идеальным вариантом предупреждения чрезмерного вспенивания и выбросов является оптимальная организация дутьевого режима плавки, под которым, как правило, понимается продувка при переменном положении фурмы и возможном варианте продувки при временном изменении расхода дувяемого в ванну кислорода.

В качестве основных причин выбросов называют повышенное содержание оксидов железа в шлаке и взрывной характер обезуглероживания, одновременное увеличение скоро-

сти окисления углерода и склонности шлака к вспениванию, плохое перемешивание ванны и т. д. Очевидно, связь между скоростью обезуглероживания и изменением уровня ванны условно существует, однако процесс обезуглероживания расплава не является непосредственной причиной выбросов. Это подтверждается фактом, что «горячие» плавки или плавки со «свернутым» шлаком, которые характеризуются высокой скоростью обезуглероживания, проходят без выбросов, т. е. при пониженном уровне шлако-металлической эмульсии.

В соответствии с современными представлениями [1–3] и полученными ранее авторами данными, основной причиной чрезмерного вспенивания является продолжающееся в шлаке обезуглероживание корольков металла, при этом выделяющиеся мелкие пузыри монооксида углерода стабилизируют эмульсию и пену. В то же время совершенно очевидно, что интенсивность выделения пузырей газа в шлако-металлической эмульсии определяется не только количеством и размером корольков и концентрацией в них углерода, но и физико-химическими свойствами шлака.

С целью изучения особенностей вспенивания и поиска эффективных способов предотвращения выбросов шлако-металлической эмульсии из конвертеров исследовали физико-химические характеристики, фракционный состав продувочных шлаков и «шлаков выбросов» при выплавке низкоуглеродистых марок стали в 350-т конвертерах АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Продувку расплава кислородом осуществляли четырехсопловой фурмой с интенсивностью 900...1200 м³/мин в соответствии с принятой в цехе технологической инструкцией.

Во время чрезмерного вспенивания шлака, т. е. при появлении выбросов или переливов через горловину конвертера специальным устройством отбирали пробы шлако-металлической эмульсии. После извлечения из них неусвоенной извести и металлических корольков и определения массовой доли последних, шлаки подвергали химическому анализу, определяли температуру их плавления $t_{п.ш.}$ и вязкость η . Выделенные корольки рассеивали по фракциям и подвергали химическому, металлографическому и рентгеноструктурному анализу. В качестве сравнительных анализировали плавки, проведенные по аналогичной технологии, в том числе с промежуточными повалками для отбора проб металла и шлака, на которых чрезмерное вспенивание не наблюдалось.

Изменение некоторых физико-химических характеристик шлаков, температуры металла и динамика обезуглероживания расплава в опытных и сравнительных плавках приведены на рисунке 1.

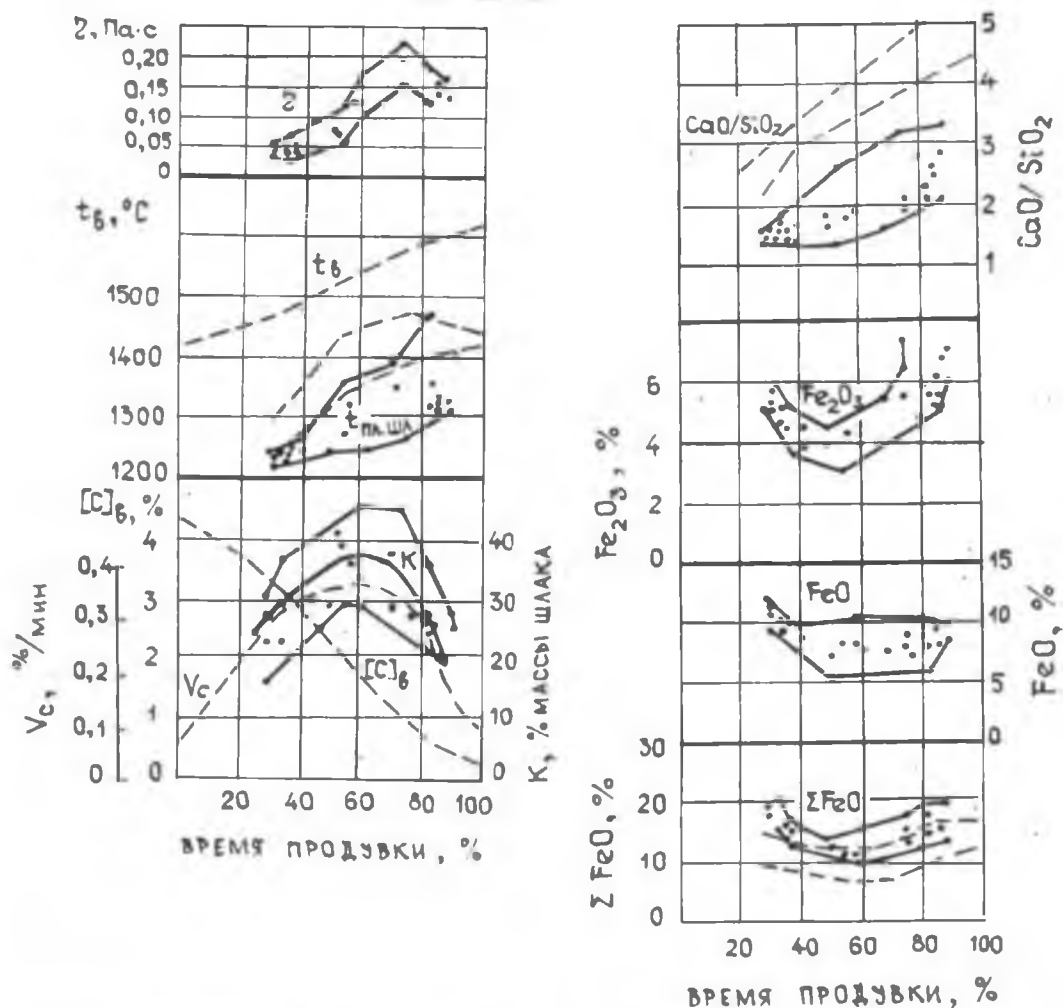
Установлено, что чрезмерное вспенивание шлака, сопровождающееся выбросами, наступало чаще всего в течение трех интервалов времени продувки: наиболее часто – непосредственно после наводки шлака и перевода фурмы в рабочее положение, т. е. в период, соответствующий 25...30 % времени продувки, значительно реже – в период интенсивного окисления углерода (50...60 % времени продувки) и на заключительном этапе операции (70...90 % времени продувки).

Таким образом, в целом изучался временной период операции, охватывающий фактическое изменение содержания углерода в ванне в пределах от 4,2 до 0,2 %.

Шлаки, отобранные в первый из указанных интервалов времени, вспенены очень мелкими пузырьками монооксида углерода (до долей миллиметра), разделенными между собой тонкими шлаковыми прослойками (рисунок 1). Температура плавления таких шлаков колеблется в пределах 1200...1260 °С, а вязкость при температурах, соответствующих моменту выбросов шлако-металлической эмульсии из конвертера, составляет обычно 0,025...0,070 Па·с. Даже при относительно низких значениях вязкости, наряду с плохо укрупняющимися и медленно всплывающими мелкими пузырьками монооксида углерода, вспениванию шлака способствует его повышенная окисленность, в особенности на плавках с «холодным» началом операции. Гетерогенность первичных шлаков выбросов, вероятно, решающего влияния на их вспенивание не оказывала, в то же время относительно низкая основность шлака опытных плавов и наличие в нем неусвоенной извести также способствовали процессу образования вспененной шлако-металлической эмульсии.

Шлаки, отобранные в первый из указанных интервалов времени, вспенены очень мел-

кими пузырьками монооксида углерода (до долей миллиметра), разделенными между собой тонкими шлаковыми прослойками (рисунок 1). Температура плавления таких шлаков колеблется в пределах 1200...1260 °С, а вязкость при температурах, соответствующих моменту выбросов шлако-металлической эмульсии из конвертера, составляет обычно 0,025...0,070 Па·с. Даже при относительно низких значениях вязкости, наряду с плохо укрупняющимися и медленно всплывающими мелкими пузырьками монооксида углерода, вспениванию шлака способствует его повышенная окисленность, в особенности на плавках с «холодным» началом операции. Гетерогенность первичных шлаков выбросов, вероятно, решающего влияния на их вспенивание не оказывала, в то же время относительно низкая основность шлака опытных плавков и наличие в нем неусвоенной извести также способствовали процессу образования вспененной шлако-металлической эмульсии.



Начало продувки (30%т) Середина продувки (50%т)

Рисунок 1 – Диаграммы изменений характеристик плавков в 350-тонном конвертере: сплошные линии и точки – плавки с выбросами, пунктирные линии – плавки сравнительные

На фотографиях представлены шлаки выбросов в различные периоды плавки.

Для указанных характерных интервалов образования чрезмерно вспененных шлаков общим является значительное превышение температуры ванны (t_v) над температурой плавления шлаков и относительно более высокая доля гематита в суммарном содержании оксидов железа в шлаках, достигающая к концу некоторых плавов до 60 %. В шлаках плавов, проведенных без выбросов, отношение $(Fe_2O_3) / (FeO)$ обычно не превышало 0,2...0,3.

В следующий из характерных периодов значительного вспенивания ванны, (50...60 % времени продувки), этому процессу наряду с отмеченными факторами способствует энергичное развитие реакции обезуглероживания. При этом шлаки выбросов в данный период продувки были вспенены относительно более крупными пузырями CO, а наличие в них кусочков неусвоенной извести свидетельствует о продолжающемся более замедленном шлакообразовании. Температура плавления шлака в данном случае составляет 1240...1360 °C и более, а вязкость достигает 0,15...0,18 Па·с.

К заключительному моменту операции (70...90 % времени продувки) температура плавления шлаков выбросов достигает 1310...1460 °C, а их вязкость колеблется в пределах 0,15...0,23 Па·с. Как правило, и в этом интервале времени продувки плавов, прошедших с выбросами, отмечалось наличие в шлаках неусвоенной извести, вспененность его крупными пузырями, большой интервал температур плавления шлаков, свидетельствующий об их неуваренности, высокая окисленность шлаков (на 5...8 % выше, чем в сравнительных плавках) и наибольшая доля гематита в оксидах железа.

Внешний вид шлаков свидетельствует о поверхностной пене в начале продувки (мелкие пузырьки, тонкие шлаковые прослойки с сильным расклинивающим эффектом) и об объемной пене (более крупные пузыри с толстыми шлаковыми прослойками) в последующие периоды плавки. На сравнительных плавках при более высокой основности шлаков, вязкость, как правило, была более низкой.



Рисунок 2 – Изменение в шлаках выбросов по ходу продувки массы королек фракции:
1 – 3,0 – 2,1 мм; 2 – 2,0 – 1,1 мм; 3 – 1,0 – 0,45 мм; 4 – менее 0,45 мм



Рисунок 3 – Корольки, разрушенные выделяющимся в процессе обезуглероживания монооксида углерода. Увеличение x 12

В то же время, независимо от вязкости, склонность шлака к вспениванию возрастала

при увеличении содержания SiO_2 и, соответственно, уменьшении основности шлаков.

Представляет интерес характер изменения в шлаках выбросов на опытных плавках общего содержания металлических корольков и их фракционного состава. Как видно (рисунок 2), кривая изменения относительной массы металлических корольков (K) в шлаках практически однозначно соответствует характеру изменения скорости обезуглероживания металла (v_c) и свидетельствует о том, что основным источником корольков является вынос их из реакционной зоны потоком отходящих газов. При этом, однозначно, интенсивность образования корольков прежде всего определяется скоростью обезуглероживания расплава.

Изменяется и фракционный состав корольков (рисунок 2). В начальный период продувки на массу мелких фракций корольков (менее 1,0 мм), задерживающихся в шлаке, приходится до 50 % от общей их массы, чему способствует высокая окисленность шлака и его незначительная вязкость. Обезуглероживание таких корольков, очевидно, и приводит к образованию мелких газовых пузырей в шлаках, при этом осаждение в слое эмульсии относительно крупных корольков (1...3 мм и более) в этот период продувки происходит сравнительно быстро. В период интенсивного обезуглероживания (~50...60 % времени продувки) из реакционной зоны выносятся наибольшее количество брызг металла в результате дробления в целом повышается доля мелких корольков (фракция менее 0,45 мм) и снижается количество крупных корольков (крупнее 2 мм). В заключительный период продувки, несмотря на продолжающийся рост основности и вязкости шлака, общее количество корольков в шлаке снижается в результате уменьшения их выноса из реакционной зоны, при этом значительно повышается доля в шлаке наиболее крупных корольков (1,0...2,0 мм и 2,0...3,0 мм), что отчасти может быть связано с развитием объемного обезуглероживания в металле и на поверхности футеровки агрегата с выносом пленок металла в шлак в зоне меньшего воздействия на расплав газовых струй. На заключительном этапе продувки в условиях незначительного ($[\text{C}] \leq 0,5...0,8 \%$) содержания углерода в ванне и каплях металла не создается дополнительных условий для энергичного дробления корольков вследствие продолжающегося обезуглероживания последних.

Подтверждением дробления капель металла выделяющимся монооксидом углерода могут служить и дефекты корольков, отобранных в различные периоды продувки (рисунок 3). При этом наибольшее количество корольков всех фракций с дефектами приходится также на период 50...60 % времени продувки, т.е. на период максимального обезуглероживания ванны и, соответственно, максимального газовыделения.

На наличие и распределение корольков по фракциям существенное влияние оказывает гетерогенность шлакового расплава, поскольку в данном случае облегчается выделение монооксида углерода при контакте корольков с твердыми частицами шлака. Именно поэтому на «горячо» идущих плавках с нормальным шлаковым режимом следует ожидать несколько отличного от приведенного на рис. 2 массового содержания корольков в шлаке.

Нахождение корольков металла в среде с высоким кислородным потенциалом и низким ферростатическим давлением обеспечивает более благоприятные условия рафинирования последних в сравнении с основной массой металла. Поэтому, очевидно, что химический анализ корольков показывает существенно меньшее содержание углерода в них, чем в объеме металлической ванны для всех трех групп шлаков выбросов. Наибольший перепад концентраций углерода между металлической ванной и корольками (до ~1,0 %) наблюдается для первой группы шлаков выбросов, соответствующих начальному периоду продувки, причем разница тем больше, чем меньше фракция корольков, что, очевидно, связано с большей удельной поверхностью последних.

Библиографический список

1. Лякишев Н.П. Сравнительная характеристика состояния кислородно-конвертерного производства стали в России и за рубежом / Н. П. Лякишев, А. Г. Шалимов. – Москва : Элиз, 2000. – 64 с.
2. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / С. В. Колпа-

ков, Р. В. Старое, В. В. Смоктий [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1991. – 464 с.

3. Афонин, С. 3. Современное состояние, перспективы и задачи стоящие перед металлургической промышленностью России / С. 3. Афонин. – Сталь, 1995. – № 7. – С. 1 – 4.

4. Баптизманский, В. И. Теория кислородно-конвертерного процесса / В. И. Баптизманский. – Москва : Металлургия, 1975. – 375 с.

5. Баптизманский В.И. Конвертерные процессы производства стали / В.И. Баптизманский, М. Я. Меджибожский, В. Б. Охотский. – Киев – Донецк : Вища школа, 1984. – 344 с.

6. Протопопов, Е. В. Исследование химических и температурных градиентов в конвертерной ванне с использованием высокотемпературного моделирования / Е. В. Протопопов, А.Г. Чернятевич, С.В. Юдин. – Изв. вузов. Черная металлургия, 1997. – № 10. – С. 20 – 24.

УДК 669.11:681.5

КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАФИНИРОВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ПРОДУВКЕ НЕЙТРАЛЬНЫМ ГАЗОМ В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ

Протопопов Е.В., Темлянцева М.В., Запольская Е.М., Полях О.А.

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

***Аннотация.** Представлена кинетическая модель рафинирования расплава нейтральным газом в сталеразливочном ковше. Полученные результаты расчетов хорошо согласуются с промышленными данными. Предложенная модель позволяет оперативно решать проблемы повышения эффективности обработки расплава в сталеразливочном ковше.*

***Ключевые слова:** сталеразливочный ковш, продувка, расплав, нейтральный газ, кинетическая модель.*

KINETIC MODEL OF MELT REFINING WHEN PURGING WITH NEUTRAL GAS IN A STEEL FILLING LADLE

Protopopov E.V., Temlyantseva M.V., Zapolskaya E.M., Polyakov O.A.

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

***Abstract.** A kinetic model of refining the melt with a neutral gas in a steel ladle is presented. The obtained calculation results are in good agreement with the industrial data. The proposed model allows us to quickly solve the problems of increasing the efficiency of melt processing in a steel ladle.*

***Keywords:** steel filling ladle, purge, melt, neutral gas, kinetic model.*

В соответствии с современными представлениями продувка нейтральным газом в ковше оказывает общее рафинирующее действие и повышает качества металла, обеспечивает возможность продолжения обезуглероживания и снижает коррозионный износ ковшевых огнеупоров.

Для рационального использования указанных преимуществ и оптимизации параметров процесса целесообразно создание и использование адаптивных математических моделей, позволяющих повысить эффективность обработки расплава.

Разработанная модель основана на фундаментальных положениях и законах термодинамики, кинетики и гидродинамики металлургических расплавов. В основу модели положена гипотеза торможения гетерогенных реакций рафинирования расплава диффузией компонентов в шлаковой фазе.

СОДЕРЖАНИЕ

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ИЗВЕСТНЯКА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ <i>Уманский А.А., Козырев Н.А., Жутков С.В., Николаев В.К., Гизатулин Р.А.</i>	87
ПОВЕДЕНИЕ МАРГАНЦА В ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СТАЛЕПЛАВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ <i>Гизатулин Р.А., Дмитриенко В.И., Дмитриенко А.В., Носов Ю.Н., Ноздрин И.В.</i>	92
РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МНОГОСОПЛОВЫХ КИСЛОРОДНЫХ ФУРМ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЛЯ 350-ТОННЫХ КОНВЕРТЕРОВ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Щипанов С.С., Чернышева Н.А., Сафонов С.О.</i>	95
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ ДУТЬЕВЫХ УСТРОЙСТВ И КОНСТРУКЦИИ ДВУХъяРУСНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ 350-ТОННЫХ КОНВЕРТЕРОВ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Щипанов С.С., Чернышева Н.А., Сафонов С.О.</i>	101
РАСЧЕТ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ В КОЛОННОМ СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ РЕАКТОРЕ <i>Сеченов П.А., Рыбенко И.А., Roos К.</i>	107
ИЗУЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПЛАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТОМ РАСПЛАВЕ <i>Заякин О.В., Ренёв Д.С., Жучков В.И.</i>	112
ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА, ВАНАДИЯ И ТИТАНА ПРИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ ОБЖИГЕ ТИТАНОМАГНЕТИТА <i>Агамирова А.С.</i>	116
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ДОЖИГАНИЯ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ В ПОЛОСТИ 160-ТОННОГО КОНВЕРТЕРА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Солоненко В.В., Темлянецов М.В., Якушевич Н.Ф., Полях О.А.</i>	121
МЕЖФАЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕРИЯ МЕЖДУ ШЛАКОМ СИСТЕМЫ CAO-SIO ₂ -CE ₂ O ₃ -15%AL ₂ O ₃ -8%MGO И НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫМ МЕТАЛЛОМ <i>Бабенко А.А., Смирнов Л.А., Уполовникова А.Г.</i>	126
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ СМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Лубяной Д.А., Юрьев А.Б., Кузнецов И.С., Маркидонов А.В., Лубяной Д.Д.</i>	131
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ ЧУГУНА В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ С ПРЯМЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ МАРГАНЦЕМ <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 ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАКОВ КРЕМНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Хоанг В.В., Немчинова Н.В., Тютрин А.А., Плакуций А.В.</i>	141
СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	147
ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА, ОБЛУЧЕННОГО ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ <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 <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Малюх М.А.</i>	154
ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ <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 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 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 НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНО ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЛЬСОВ	
<i>Кузнецов Р.В., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Шлярова Ю.А., Кормышев В.Е., Перегудов О.А., Семин А.П.</i>	189
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛООВОГО 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 ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Долгова С.В., Сагалакова М.М., Черныш А.П., Жибинова И.А., Малюх М.А.</i>	208
ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВОГО 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 НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПРОКАТКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО РЕЛЬСОБАЛОЧНОГО СТАНА	
<i>Уманский А.А., Юрьев А.Б.</i>	216
МЕХАНИЗМЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕКСТУРЫ И СВОЙСТВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ ПРИ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ПРОЦЕССАХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Арышенский Е.В., Коновалов С.В.</i>	225
ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ЛИТЬЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВА 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 И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 9СRМОВ-N ИЗГОТОВЛЕННОЙ 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 ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ (ФАЗЫ) ПРИ ВЛИЯНИИ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО НИКЕЛЯ НА ДИФФУЗИОННЫЕ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ 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 СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО СВИНЦА <i>Серебрякова А.А., Загуляев Д.В., Шляров В.В.</i>	261
ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЯ ИЗ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА АК5М2 <i>Прудников А.Н., Фастыковский А.Р., Прудников В.А.</i>	266
ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ ЛИСТОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 1424БТ, АМг5М, Д16, 5182 ПРИ СОЕДИНЕНИИ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ <i>Ахильгов Г.В., Носова Е.А.</i>	271
ВЛИЯНИЕ МАРГАНЦА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛИТКОВ ИЗ НАВОДОРОЖЕННЫХ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ <i>Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Попова М.В., Фастыковский А.Р.</i>	276
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ СТРУКТУР В СЛОИСТОЙ АЛЮМИНИЙ-ТИТАНОВОЙ ЗАГОТОВКЕ, ПОЛУЧЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОКАТКИ И ОТЖИГА <i>Штырова А.А., Носова Е.А.</i>	281
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗЕРВА СИЛ ТРЕНИЯ КАЛИБРОВ, ФОРМИРУЮЩИХ СОЧЛЕНЕННЫЙ ПРОФИЛЬ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРОДОЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ <i>Фастыковский А.Р., Вахроломеев В.А.</i>	286
СИЛОВЫЕ УСЛОВИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ В РОЛИКОВЫХ ВОЛОКАХ <i>Фастыковский А.Р., Осолкова Т.Н., Юрьев А.Б., Прудников А.Н.</i>	290
УВЕЛИЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ЗАГОТОВОЧНЫХ И СОРТОВЫХ СТАНОВ <i>Фастыковский А.Р., Леонтьев В.В., Губарев Е.И., Перминов Д.А., Зайков И.Г.</i>	296
ОСОБЕННОСТИ СИЛОВОГО БАЛАНСА УНИВЕРСАЛЬНЫХ КАЛИБРОВ СОВРЕМЕННЫХ РЕЛЬСОБАЛОЧНЫХ СТАНОВ <i>Фастыковский А.Р., Добрянский А.В., Дорофеев В.В.</i>	299
ВОПРОСЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <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 МЕЛЮЩИХ ШАРОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ИЗ ОТБРАКОВКИ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК <i>Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В.</i>	309
КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ОТЛИВОК ПОСЛЕ ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ПРОЦЕССЕ ЛИТЬЯ <i>Приходько О.Г., Деев В.Б., Прусов Е.С., Куценко А.И., Пономарева К.В., 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