

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 наукоемким 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 «МАТЕС 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

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ ДУТЬЕВЫХ
УСТРОЙСТВ И КОНСТРУКЦИИ ДВУХЪЯРУСНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ
ДЛЯ 350-ТОННЫХ КОНВЕРТЕРОВ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»**

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

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

Аннотация. Разработана и обоснована методика проектирования наконечников двухпоточных кислородных фурм применительно к способам верхней продувки и дожигания отходящих газов без снижения стойкости футеровки.

Ключевые слова: фурма, сопла Лавалья, наконечник, конвертер.

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR DESIGNING MULTI-PURPOSE
BLAST DEVICES AND THE DESIGN OF A TWO-TIER OXYGEN TUYERE
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. The method of designing the tips of two-flow oxygen tuyeres is developed and justified in relation to the methods of upper purging and afterburning of exhaust gases without reducing the resistance of the lining.

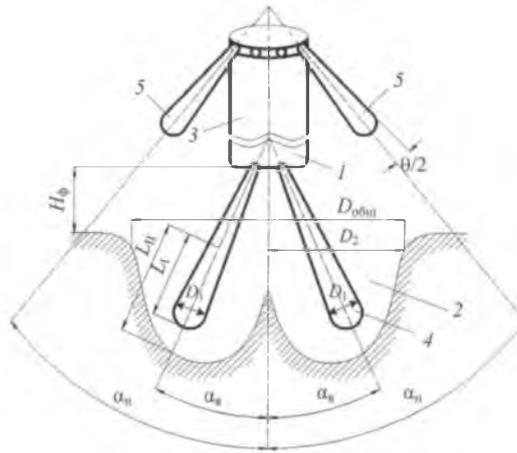
Keywords: tuyere, laval nozzles, tip, converter.

Многолетняя эксплуатация конвертеров с верхней и комбинированной продувкой [1, 2] убедительно показала возможности решения различных технологических задач в конвертере при повышении эффективности дожигания отходящих газов в полости агрегата без снижения стойкости футеровки. В данных условиях целесообразно подачу кислорода сверху осуществлять через двухпоточные газо-кислородные фурмы, при этом в соответствии с развиваемыми положениями [3 – 5] продувку следует вести независимо регулируемые концентричными группами сверхзвуковых и дозвуковых кислородных струй с возможностью полного или частичного замещения дозвукового кислородного дутья на нейтральный газ.

На основании проведенного комплекса высокотемпературных исследований структуры и параметров реакционной зоны и особенностей поведения конвертерной ванны [3 – 6] разработана и обоснована следующая методика проектирования наконечников двухпоточных кислородных фурм применительно к разрабатываемым способам верхней продувки с дожиганием отходящих газов (рисунок 1).

При такой постановке определяемыми конструктивными параметрами наконечника является рациональное количество сопел во внутреннем ($n_в$) и наружном (верхнем) ($n_н$) ярусах, их профиль, размеры и особенности их компоновки; целесообразные углы наклона сопел к вертикали ($\alpha_в, \alpha_н$) и в плане ($\varphi_в, \varphi_н$) между осями соседних сопел в каждом из контуров.

Для определения заданных конструктивных параметров головки двухпоточной фурмы, необходимо задаться определенными характеристиками дутьевого режима плавки, а именно общей интенсивностью подачи кислородного дутья ($Q_{O_2, м^3/мин}$), перераспределением расходов кислорода между внутренней ($Q^в_{O_2}$) и наружной ($Q^н_{O_2}$) группой сопел, а также целесообразной организации формы реакционной зоны.



1 – головка нижнего яруса фурмы; 2 – обособленные реакционные зоны;
3 – ствол фурмы; 4 – сверхзвуковые кислородные струи

Рисунок 1 – Схема параметров зоны продувки при использовании двухъярусных газо-кислородных фурм

При реализации продувки с дожиганием отходящих газов по схеме (рис. 1) с созданием внутренней группой сверхзвуковых кислородных струй обособленных реакционных зон интенсивного выделения монооксида углерода на поверхность ванны с дожиганием последнего дозвуковыми струями верхнего яруса сопел, при этом максимальное число сопел Лаваля в наконечнике можно определить по известной формуле [7]:

$$n_B^{\max} = \frac{Q_{O_2}^B}{\left(\frac{H'}{0,85}\right)^{2,34}}, \quad (1)$$

где H' – высота рабочего пространства от уровня спокойной ванны, м. В случае работы конвертеров с передувом плавки ($[C] \leq 0,06 \%$) расчетное количество сопел (n_B^{\max}) следует уменьшить, как показывает производственный опыт, на два (при $Q_{O_2}^B = 700-1200 \text{ м}^3/\text{мин}$), для обеспечения более «жесткого» характера продувки на окончательной стадии операции с целью снижения окисленности металла и шкала. Расчет профиля сопла Лаваля в данном случае ведется с условием истечения кислородных струй в режиме недорасширения в заданном диапазоне расхода основного кислорода, чтобы избежать износа кромок сопел, прогара последних и выхода наконечника из работы.

Разведение реакционных зон интенсивного выхода CO на поверхность ванны достигается путем предотвращения слияния в глубине расплава струйных участков первичных реакционных зон максимального диаметра ($D_{I \max}$), что обеспечивается при выполнении соотношения:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\frac{B}{2}} = \frac{D_{I \max} - a_e}{2(H_{\phi}^{pab} + l)}, \quad (2)$$

где $l = 0,5L_{I \max}$ – длина струйного участка первичной реакционной зоны, на которой последний достигает максимального диаметра, м;

a_e – минимальное расстояние между осями сопел внутреннего контура на срезе наконечника, м.

При определенном расходе кислорода ($Q_{O_2}^B$) значения рабочей высоты фурмы над уровнем ванны (H_{ϕ}^{pab}), минимальной длины ($L_{I \min}$) и максимального диаметра ($D_{I \max}$) первичной реакционной зоны определяются из полученных выражений:

$$\frac{H_{\phi}^{pab}}{d_{\text{вых}}} = 37,2 \left(\frac{\sum i}{m \cdot g} \right)^{0,092}; \quad (3)$$

$$L_{\text{imin}}(H_{\phi}^{\text{p}a\phi} + L_{\text{imin}})^2 = 75,1 \frac{i}{\rho_M \cdot g}; \quad (4)$$

$$D_{\text{imin}} = 3,09 \left(\frac{i}{\rho_M \cdot g \cdot L_{\text{imin}}} \right)^{0,5}, \quad (5)$$

где i , Σi – импульс одиночной и суммарный импульс кислородных струй соответственно, кг·м/с²;

ρ_M – плотность металла, кг/м³;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

$d_{\text{вых}}$ – выходной диаметр сопла Лавалья, м;

m – масса жидкого металла, кг.

При рассчитанном значении φ_B величина α_B определяется из известного выражения:

$$\sin \alpha_B = \frac{\sin \varphi_{B/2}}{\sin 180 / n_B}, \quad (6)$$

В случае создания внутренней группой основных кислородных струй объединенной реакционной зоны со «свищевым» интенсивным выходом CO на поверхность ванны необходимые значения углов φ_B и α_B находятся из вышеприведенных выражений с учетом соприкосновения в глубине расплава струйных участков первичных реакционных зон с минимальным диаметром D_{imin} , определяемым из уравнений

$$D_{\text{imin}} = 2,68 \left(\frac{i}{\rho_M \cdot g \cdot L_{\text{imin}}} \right)^{0,5}, \quad (7)$$

$$L_{\text{imin}}(H_{\phi}^{\text{p}a\phi} + L_{\text{imin}})^2 = 133,3 \frac{i}{\rho_M \cdot g}. \quad (8)$$

Рациональное количество сопел в верхнем ярусе головки, их профиль и размеры, углы наклона в плане (φ_H) и к вертикальной оси фурмы (α_H) зависят от расхода дополнительного кислорода для дожигания отходящих газов и структуры формирования потока в области выхода монооксида углерода из пределов реакционной зоны на поверхность ванны.

В данном случае при подаче дополнительного кислорода целесообразно формировать для более эффективного дожигания конвертерных газов дозвуковые кислородные потоки со скоростью, сопоставимой со скоростью перемещения фронта пламени в смеси монооксид углерода-кислород. Формирование своеобразной газовой завесы над зоной продувки позволяет обеспечить возможность подавления выноса мелких капель металла из реакционной зоны на ствол фурмы и за пределы конвертера.

Перечисленные условия выполняются при организации продувки конвертерной ванны с дожиганием монооксида углерода до диоксида. При этом угол наклона к вертикали (α_H) равномерно расположенных по кругу цилиндрических или щелевых сопел верхнего яруса определяется из выражения

$$\text{tg} \alpha_H = \frac{D_{\text{общ}}^B}{2H_{\phi}^{\text{p}a\phi}} - \text{tg} \left(\frac{\theta_{\text{дзв}}}{2} \right), \quad (9)$$

где $\theta_{\text{дзв}}$ – угол раскрытия дозвуковой кислородной струи, град.

В свою очередь параметры реакционной зоны можно определить как:

$$D_{\text{общ}}^B = 11,3 \cdot H_{\phi}^{\text{p}a\phi} \left[\frac{i}{\rho_M \cdot g \cdot (H_{\phi}^{\text{p}a\phi})^3} \right]^{0,65} \cdot (1 + L_{\text{imin}} \cdot \text{tg} \alpha_B) + d_O^B + 2(H_{\phi}^{\text{p}a\phi} + L_{\text{imin}}) \cdot \text{tg} \alpha_B; \quad (10)$$

$$L_{\text{imin}} = 8,9 H_{\phi}^{\text{p}a\phi} \left[\frac{i}{\rho_M \cdot g \cdot (H_{\phi}^{\text{p}a\phi})^3} \right]^{0,584} \cos \alpha_B; \quad (11)$$

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\theta_{\text{свб}}}{2}\right) = 0,234 \cdot \bar{\rho}^{-0,141}, \quad (12)$$

где $\bar{\rho}$ – отношение плотностей среды и струи;

d^B – диаметр окружности расположения осей выходных сечений внутреннего контура, м.

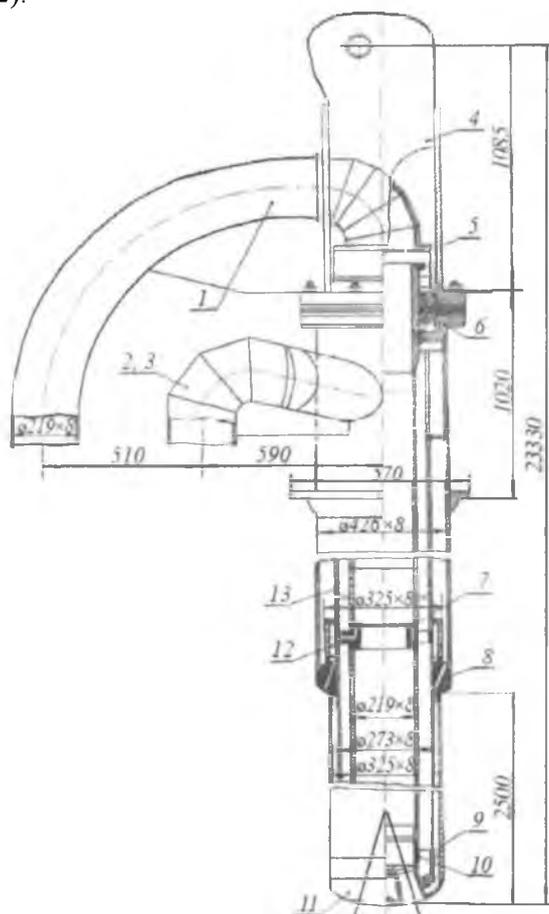
С учетом определенных значений φ_H и α_H , исходя из заданных размеров наконечника можно, определить рациональное количество сопел (n_H) в верхнем ярусе по выражению:

$$n_n \leq \frac{180}{\arcsin \left[\frac{D_{\text{имин}} \cdot \cos d_n - 2(H_{\text{ф}}^{\text{раб}} + l) \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_n}{2}}{d_n \cdot \cos \alpha_n} \right]} \quad (13)$$

где d_n – минимальное расстояние между осями сопел наружного контура на срезе наконечника, м.

Как правило, размеры цилиндрических сопел верхнего яруса находятся расчетным путем исходя из расхода дополнительного кислорода, обычно рекомендуемого в пределах 10 – 30 % от общего.

На основании разработанной методики проектирования и накопленного опыта эксплуатации двухконтурных и двухъярусных кислородных фурм [8–10] применительно к условиям работы 350-т конвертеров АО «ЕВРАЗ ЗСМК» разработана конструкция двухъярусной фурмы (рисунок 2).



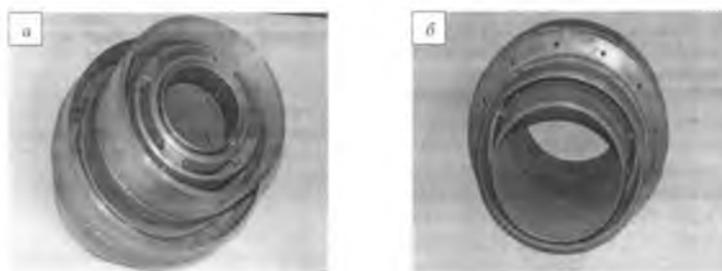
- 1-3 – патрубки подвода кислорода, подвода и отвода воды соответственно; 4 – щека;
 5 – серьга; 6 – узел верхнего компенсатора; 7 – распределитель; 8 – верхний сопловой блок;
 9 – нижнее разъемное соединение; 10 – кольцевое скользящее уплотнение; 11 – наконечник;
 12 – предсопловая камера; 13 – верхнее разъемное соединение

Рисунок 2 – Конструкция двухъярусной фурмы с разделенным кислородным потоком

Фурма разработанной конструкции представляет собой дутьевое устройство с разделенным кислородным потоком (рисунок 2). Основными элементами фурмы такой конструкции являются патрубки подвода кислорода, подвода и отвода охлаждающей воды, ствол фурмы, верхний сопловой блок и нижний наконечник.

Для облегчения конструкции и повышения ремонтпригодности ствол фурмы предлагается выполнять составным из двух частей. Верхняя часть ствола включает три коаксиально расположенные цельнотянутые стальные трубы: центральную для подвода технологического кислорода (диам. 219х8 мм), промежуточную (диам. 273х6 мм) и наружную (диам. 426х8 мм) для подвода и отвода охлаждающей воды соответственно. В нижней части ствола после верхнего соплового блока по ходу потока осуществлена замена наружной трубы диам. 426х8 мм на трубу диам. 325х8 мм, длина данного участка ствола составляет 2500 мм.

В верхнем медном сопловом блоке (рисунок 3), размещенном на расстоянии 2500 мм от торца наконечника, расположены 12 цилиндрических сопел под углом 25° к вертикальной оси фурмы для подачи в рабочее пространство конвертера дополнительного низкоскоростного потока кислорода. Для прохождения охлаждающей воды (расход 350 м³/ч) в межсопловом пространстве блока выполнены 24 цилиндрические проточки.



Рисунки 3 – Распределитель (а) и сопловый блок (б) к двухъярусной фурме

С верхним сопловым блоком герметично соединен стальной распределитель (рисунок 3), в котором расположены четыре цилиндрических канала для прохождения дополнительного кислорода в предсопловую камеру блока. При этом прохождение охлаждающей воды через распределитель обеспечивается посредством четырех щелевых проточек.

С помощью распределителя осуществляется разделение поступающего по центральной трубе общего потока кислорода (1300 – 700 м³/мин) на основной поток (1200 – 650 м³/мин), подаваемый на продувку конвертерной ванны через нижний наконечник (рисунок 2), и дополнительный поток (100 – 50 м³/мин), подаваемый через верхний сопловый блок в рабочее пространство конвертера (рисунок 3) с целью создания газовой завесы и обеспечения оптимального дожигания отходящих газов для улучшения теплового баланса плавки и предотвращения заметалливания ствола фурмы.

Предусмотрено использование цельноточенного наконечника (рисунок 4) с измененной системой подвода воды в межсопловое пространство головки между четырьмя соплами Лавала, расположенными под углом 15° к вертикальной оси фурмы. Крепление нижнего наконечника к фурме осуществляется посредством скользящего уплотнения с резиновыми кольцами на штуцере, входящем герметично в муфту, размещенную на конце центральной трубы для подвода кислорода.



Рисунок 4 – Цельноточенный четырехсопловый наконечник к двухъярусной фурме

Двухъярусная фурма предложенной конструкции работает следующим образом. Кислород от подводящего патрубка (общий расход 1300 – 700 м³/мин) поступает по центральной трубе (диам. 219x8 мм) к распределителю верхней головки (рисунок 3). При этом газовый поток кислорода (100 – 50 м³/мин) подается через 12 цилиндрических сопел верхней головки, что приводит к формированию своеобразной газовой завесы из дозвуковых кислородных струй на пути встречного потока отходящих конвертерных газов, несущего во взвешенном состоянии мелкодисперсную пыль, капли металла и шлака. Таким образом снижается интенсивность выноса частиц и покрытия металлошлаковыми настылями ствола фурмы и горловины конвертера. При этом дожигание оксида углерода отходящих газов происходит без высокотемпературного воздействия образующихся факелов дожигания на футеровку верхней части конвертера. Основной поток кислорода по центральной трубе (диам. 219x8 мм) направляется к нижней четырехсопловой головке (рисунок 4), которая обеспечивает формирование сверхзвуковых кислородных струй и продувку в режиме глубокого проникновения дутья в расплав при рабочей высоте фурмы, интенсивное перемешивание и обезуглероживание ванны.

Охлаждающая вода от подводящего патрубка (расход 350 м³/час) подается через кольцевой зазор между центральной (диам. 219x8 мм) и промежуточной (диам. 273x6 мм) трубами, проходит через четыре щелевые проточки распределителя и через кольцевые зазоры между трубами (диам. 219x8 мм и диам. 273x6 мм) поступает к нижнему наконечнику (рисунок 3). Обратный поток воды между промежуточной (диам. 273x6 мм) и наружной (диам. 325x8 мм) трубами направляется к верхнему сопловому блоку, проходит через 24 цилиндрические проточки последнего в кольцевой зазор, образованный последовательно трубами диам. 325x8 мм и диам. 426x8 мм, а затем диам. 273x6 мм и 426x8 мм с выходом из отводящего патрубка.

Компенсация теплового расширения ствола фурмы в процессе продувки обеспечивается узлом верхнего компенсатора (рисунок 2, поз. 6), герметично фиксирующего центральную трубу фурмы (диам. 219x8 мм), а также кольцевыми скользящими уплотнениями на центральной трубе (рисунок 2, поз. 10) перед наконечником нижнего (рисунок 2, поз. 9) и верхнего (рисунок 2, поз. 13) разъемных соединений промежуточной трубы (диам. 273x6 мм), которые разделяют тракты подвода и отвода охлаждающей воды.

Выводы. С использованием предложенной методики расчета двухпоточных фурм разработана новая конструкция двухъярусной кислородной фурмы для продувки металлического расплава в 350-т конвертерах АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Библиографический список

1. Смоктий В. В. Комбинированные процессы выплавки стали в конвертерах / В.В. Смоктий, В. В. Лапицкий, Э. С. Белокуров. – Киев : Техника, 1992. – 163 с.
2. Афонин С. З. Современное состояние, перспективы и задачи стоящие перед металлургической промышленностью России / С. З. Афонин. – Сталь, 1995. – № 7. – С. 1 – 4.
3. Протопопов Е. В. О повышении эффективности продувки конвертерной ванны с дожиганием отходящих газов в полости конвертера / Е. В. Протопопов, А. Г. Чернятевич. – Изв. вузов. Черная металлургия, 1996. – № 2. – С. 1 – 5.
4. Протопопов Е. В. Повышение эффективности дожигания отходящих газов в конвертерах с жидкофазным восстановлением / Е.В. Протопопов, Д. А. Лаврик, А. Г. Чернятевич. – Изв. Вузов. Черная металлургия, 2001. – № 6. – С. 13 – 17.
5. Чернятевич А. Г. Экспериментальное изучение параметров реакционной зоны конвертерной ванны в условиях комбинированной продувки / А. Г. Чернятевич, Е. В. Протопопов. – Изв. вузов. Черная металлургия, 1991. – № 6. – С. 17 – 24.
6. Чернятевич А. Г. Разработка наконечников двухконтурных фурм для кислородных конвертеров / А. Г. Чернятевич, Е. В. Протопопов. – Изв. вуз. Черная металлургия, 1995. – № 12. – С. 13 – 17.
7. Баптизманский В. И. Физико-химические основы кислородно- конвертерного процесса / В. И. Баптизманский, В. Б. Охотский. – Киев – Донецк : Вища школа, 1981. – 183 с.

8. Комбинированная продувка в конвертерах с использованием двухконтурной фурмы / А. Г. Чернятевич, Р. С. Айзатулов, Е. В. Протопопов [и др.]. – Черная металлургия. Бюл. НТИ, 1998. – № 7. – С. 48 – 50.

9. Мокринский А. В. Численное моделирование и промышленная обработка конструкций цельноточенных наконечников кислородно-конвертерных фурм / А. В. Мокринский, Е. В. Протопопов, А.Г. Чернятевич / Изв. вуз. Черная металлургия, 2005. – № 12. – С. 16 – 20.

10. Смоктий В. В. Комбинированные процессы выплавки стали в конвертерах / В. В. Смоктий, В. В. Лапицкий, Э. С. Белокуров. – Киев : Техника, – 163 с.

УДК 004.94

РАСЧЕТ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ В КОЛОННОМ СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ РЕАКТОРЕ

Сеченов П.А.¹, Рыбенко И.А.¹, Roos К.²

¹*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, pavesa89@mail.ru*

²*Technische Universität Dresden,
Dresden, Deutschland*

Аннотация. В статье приведены принципы разработки имитационной модели для расчета процессов в струйно-эмульсионном реакторе. Представлен интерфейс программы и результаты исследования. Получены зависимости скоростей конденсированных частиц, как эюор, так и распределения по высоте. Имитационная модель и заложенные в неё механизмы являются инструментом для изучения внутреннего поведения закрытой системы.

Ключевые слова: имитационная модель, струйно-эмульсионный реактор, агентное моделирование, ActionScript, Adobe Animate.

CALCULATION BASED ON A SIMULATION MODEL OF PROCESSES IN A COLUMN JET-EMULSION REACTOR

Sechenov P.A.¹, Rybenko I.A.¹, Roos K.²

¹*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, pavesa89@mail.ru*

²*Technische Universität Dresden,
Dresden, Deutschland*

Abstract. The article describes the principles of developing a simulation model for calculating processes in a jet-emulsion reactor. The program interface and research results are presented. The dependences of the velocities of condensed particles, both diagrams and distribution over height, are obtained. The simulation model and the mechanisms embedded in it are a tool for studying the internal behavior of a closed system.

Keywords: simulation model, jet-emulsion reactor, agent modeling, ActionScript, Adobe Animate.

В работе представлены принципы разработки имитационной модели гравитационного сепаратора и результаты исследования процессов в колонном струйно-эмульсионном реакторе агрегата СЭР. В основу непрерывного металлургического процесса струйно-эмульсионного типа СЭР созданного творческим коллективом научной школы, возглавляемой заслуженным деятелем науки РФ, профессором В.П. Цымбалом, положена идея реализации принципов синергетики и неравновесной термодинамики, которая позволила создать теоретические основы процесса и универсальную конструкцию агрегата, в котором возмож-

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., Процунин 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., Спириг Н.А., Бегинюк В.А., Косаченко И.Е.</i>	26
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОКУСКОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ.....	32
<i>Берсенев И.С., Брагин В.В., Солодухин А.А., Поколенко А.Ю., Бардавелидзе Г.Г., Спириг 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 СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ 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., Темлянец 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., Плакущий 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., Малиух 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., Жибнинова 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., Жибнинова 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>Лапшов М.А, Арышенский Е.В., Коновалов С.В., Арышенский В.Ю.</i>	232
ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ, МИКРОТВЕРДОСТЬ И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 9СRМ0V-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., Осколкова 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