

Машиностроение, технологические машины и транспорт, строительство

DOI: <https://doi.org/10.53002/097>

COMPLEX FOR ELIMINATING THE «FLARE» DEFECT DURING CONVERTER MELT TAPPING

^{1*}Romanov V.I., ¹Bestembek E.S., ¹Murtazayev K.N., ¹Brazhnikov A.S., ²Kazakov V.I.

¹NPJSC “Karaganda Industrial University”, Temirtau, Kazakhstan

²JSC “Qarmet”, Temirtau, Kazakhstan

*Corresponding author email: victor-romanov-47@list.ru

Authors information:

Romanov Victor Ivanovich, NPJSC “Karaganda Industrial University”, Temirtau, Kazakhstan,

e-mail: victor-romanov-47@list.ru

Bestembek Yerbol Serikuly, NPJSC “Karaganda Industrial University”, Temirtau, Kazakhstan,

e-mail: qwert.06@mail.ru

Murtazayev Kanat Nurlanuly, NPJSC “Karaganda Industrial University”, Temirtau, Kazakhstan,

e-mail: k.murtazayev@ttu.edu.kz

Brazhnikov Aleksandr Sergeevich, NPJSC “Karaganda Industrial University”, Temirtau, Kazakhstan.

e-mail: a.brazhnikov@ttt.ed.kz

Kazakov Vladimir Ivanovich, JSC “Qarmet”, Temirtau, Kazakhstan. Email: vv.kazakovkazakov@mail.ru

Abstract — This article is devoted to the pedagogical and methodological aspects of the use of virtual laboratory work in engineering education in the context of digitalization. The didactic advantages of virtual laboratories are considered, such as visibility, accessibility, interactivity, and the possibility of repeated reproduction of the experiment. An example of virtual laboratory work, "Compression testing of materials," is given with a description of the modeling methodology, the use of the DEFORM Viewer software package, and the calculation of the hardening curve. It is shown that virtual laboratories improve the quality of students' training, contribute to the formation of professional competencies, the development of analytical thinking and skills in working with digital tools.

Keywords — converter, flight channel, bell, slag-metal melt, steel defects, non-metallic inclusions, lining, metal release, cellulose liner, heating of the flight unit, steel quality.

КОНВЕРТЕРДЕН БАЛҚЫМАНЫ ШЫҒАРУ КЕЗІНДЕГІ «РАСТРУБ» АҚАУЫН ЖОЮ КЕШЕНІ

^{1*}Романов В.И., ¹Бестембек Е.С., ¹Муртазаев К.Н., ¹Бразжников А.С., ²Казаков В.И.

¹«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау қ., Қазақстан

²«Qarmet» АҚ, Теміртау, Қазақстан

*Корреспондент автор e-mail: victor-romanov-47@list.ru

Авторлар туралы ақпарат:

Романов Виктор Иванович, «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау қ., Қазақстан,

e-mail: victor-romanov-47@list.ru

Бестембек Ербол Серікұлы, «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау қ., Қазақстан,

e-mail: qwert.06@mail.ru

Муртазаев Канат Нұрланұлы, «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау қ., Қазақстан,

e-mail: k.murtazayev@ttu.edu.kz

Бразжников Александр Сергеевич, «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Теміртау қ., Қазақстан,

e-mail: a.brazhnikov@ttt.ed.kz

Казаков Владимир Иванович, «Qarmet» АҚ, Теміртау, Қазақстан, e-mail: vv.kazakovkazakov@mail.ru

Аңдатпа — Мақалада оттекті конвертерден шлак-металл балқымасын летка арнасы арқылы шығару кезінде «раструб» ақауының түзілу мәселесі қарастырылады. Ақаудың летка блогының сыртқы бөлігі күрт салқындап, торец аймағында металдың кристалдануы нәтижесінде қалыптасатыны көрсетілген. Бұл құбылыс ағынның ықшамдылығының бұзылуына, оның тотығуына, газдануына және металл емес қосындылар үлесінің артуына

экеледі. Летка арнасын қыздыруға арналған қолданыстағы технологиялық шешімдер талданып, олардың кемшіліктері айқындалған. Түйінді алдын ала шлак шығарумен қыздыруды және ықшам ағынның тұрақты қалыптасуын қамтамасыз ететін целлюлоза салымшасын қолдануды қамтитын техникалық шаралар кешені ұсынылған. Ұсынылған технологияны енгізу тотығу негізіндегі қосындылар мөлшерін азайтуға, раскислительдер мен қоспалардың жану шығынын төмендетуге, футеровканың төзімділігін арттыруға және алынатын болаттың сапасын жақсартуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер — конвертер, летка арнасы, раструб, шлак-металл балқымасы, болат ақаулары, металл емес қосындылар, футеровка, металл шығару, целлюлоза салымшасы, летка торабын қыздыру, болат сапасы.

КОМПЛЕКС УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТА «РАСТРУБ» ПРИ ВЫПУСКЕ РАСПЛАВА ИЗ КОНВЕРТЕРА

¹Романов В.И., ¹Бестембек Е.С., ¹Муртазаев К.Н., ¹Бразжников А.С., ²Казаков В.И.

¹НАО «Карагандинский индустриальный университет», г. Темиртау, Казахстан

²АО «Qarmet», Темиртау, Казахстан

*Автор корреспонденции e-mail: victor-romanov-47@list.ru

Информация об авторах:

Романов Виктор Иванович, НАО «Карагандинский индустриальный университет», г. Темиртау, Казахстан, e-mail: victor-romanov-47@list.ru

Бестембек Ербол Серікұлы, НАО «Карагандинский индустриальный университет», г. Темиртау, Казахстан, e-mail: qwert.06@mail.ru

Муртазаев Канат Нұрланұлы, НАО «Карагандинский индустриальный университет», г. Темиртау, Казахстан, e-mail: k.murtazayev@tttu.edu.kz

Бразжников Александр Сергеевич, НАО «Карагандинский индустриальный университет», г. Темиртау, Казахстан, e-mail: a.brazhnikov@ttt.ed.kz

Казаков Владимир Иванович, АО «Qarmet», Темиртау, Казахстан, email: vv.kazakovkazakov@mail.ru

Аннотация — В статье рассмотрена проблема образования дефекта «раструб» при выпуске шлако-металлического расплава из кислородного конвертера через леточный канал. Показано, что дефект формируется вследствие резкого охлаждения наружной части леточного блока и кристаллизации металла на торцевом участке, что приводит к нарушению компактности струи, ее окислению, газонасыщению и увеличению доли неметаллических включений. Проанализированы существующие технологические решения по подогреву леточного канала и их недостатки. Предложен комплекс технических мероприятий, включающий предварительный выпуск шлака для прогрева узла и применение целлюлозного вкладыша, обеспечивающего устойчивое формирование компактной струи. Реализация предложенной технологии позволяет снизить количество оксидных включений, уменьшить угар раскислителей и легирующих материалов, повысить стойкость футеровки и улучшить качество выпускаемой стали.

Ключевые слова — конвертер, леточный канал, раструб, шлако-металлический расплав, дефекты стали, неметаллические включения, футеровка, выпуск металла, целлюлозный вкладыш, подогрев леточного узла, качество стали.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Разработан комплекс технических решений по предотвращению образования дефекта «раструб» при выпуске расплава из кислородного конвертера. Установлено, что основными причинами возникновения дефекта являются интенсивное охлаждение торцевой части леточного канала и последующая кристаллизация металла. Предложено применение предварительного выпуска высокотемпературного шлака для прогрева леточного узла и использование целлюлозного вкладыша, обеспечивающего формирование устойчивой компактной струи расплава. Реализация предложенного комплекса

способствует снижению содержания неметаллических включений, уменьшению расхода раскислителей и повышению качества стали.

ВВЕДЕНИЕ

Завершающей стадией передела по выплавке углеродистого полупродукта в сталь в кислородном конвертере является выпуск расплава через леточный канал, расположенный на стыке цилиндрической и конической частями конструкции конвертера, предназначенный для сепарации шлака от металла [1].

С учетом основного назначения операции выпуска расплава возникает множество

сопутствующих задач по координации позиции вытекающей струи расплава по отношению к сталь-ковшу и лотков для одновременной подачи сыпучих и штучных раскисляющих и легирующих материалов, возможных аварийных переливов расплава через горловину агрегата, синхронизации скоростей наклона и подъема конвертера для “подрыва” струи и конечно же, получение компактной однородной струи без оксидных неметаллических включений возникающими из металла, шлака и футеровки.

Цель исследования. Целью исследования является разработка и научное обоснование комплекса технических решений, направленных на устранение дефекта «раструб» при выпуске расплава из кислородного конвертера посредством совершенствования технологии подготовки леточного узла и стабилизации формирования компактной струи металла.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- исследованы причины образования дефекта «раструб» при выпуске металла из кислородного конвертера;
- выполнен анализ существующих способов подогрева леточного канала и определены их недостатки;
- разработан комплекс технологических мероприятий, включающий предварительный прогрев леточного узла шлаком и применение целлюлозного вкладыша;
- оценено влияние предложенного комплекса на условия формирования струи расплава и качество выпускаемой стали.

Пробел в исследованиях. Несмотря на наличие различных способов подогрева леточного канала, существующие технологические решения не обеспечивают стабильного предотвращения образования дефекта «раструб», поскольку не устраняют интенсивное охлаждение торцевой части леточного блока в начальный период выпуска металла. Недостаточно изучены комплексные методы, сочетающие предварительный прогрев леточного узла с конструктивными решениями, обеспечивающими устойчивое формирование компактной струи расплава.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в разработке комплексного способа предотвращения образования дефекта «раструб», основанного на сочетании предварительного выпуска высокотемпературного шлака для прогрева леточного узла и применения целлюлозного

вкладыша специальной конструкции. Обосновано влияние предложенного комплекса на стабилизацию гидродинамики струи расплава, снижение вторичного окисления металла и уменьшение образования оксидных неметаллических включений

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В период выпуска металла из плавильного агрегата при соприкосновении наружной части леточного блока с температурой 350-700 °С (замер с помощью тепловизора FLIR T540) с жидким металлом обладающем температурой 1590-1680 °С (замер погружной платино-платинородной термопарой ПР 30/6) образуется закристаллизовавшийся металл «раструб» в виде усеченного расчленённого конуса, преобразующего компактную струю в распылённую, тем самым насыщая металл азотом, кислородом, снижая концентрацию углерода, увеличивая долю оксидов железа в ковше, что сопровождается снижением стойкости футеровки стального ковша, повышенным угаром раскислителей и легирующих материалов, а также значительным снижением температуры металла.

В традиционных металлургических агрегатах, домна, мартен, индукционная и дуговых электропечь, ферросплавные установки, плавни цветной металлургии снабжены каналами – желобами для слива металла расположенными под углом 3-75 градусов к горизонтали, что не позволяет защитить металл от атмосферы и контакта с футеровкой желоба, так как расплав рассредоточивается по поверхности, по законам гравитации и гидродинамики.

Предлагаемый технический регламент основан на том, что перед выпуском металла из конвертера через леточный канал производится выпуск шлака с температурой 1560-1640 °С в течение 10-80 секунд в шлаковую чашу, после чего производится слив металла в сталь-ковш [2].

В современных технологиях по эксплуатации сталеплавильных агрегатов [2, с 6] перед выпуском металла из реторты торцевую часть леточного канала подогревают специальной горелкой.

Недостатком данного приема является подогрев только наружных внешних слоев огнеупора, что при большой теплопроводности торец-устье быстро охлаждается и вновь на нем образуется “раструб” в виде застывшего металла.

Для гарантированного устранения дефекта «раструб» вводится дополнительное технологическое оборудование в виде целлюлозного вкладыша, толщиной 15-60 мм с отверстием равным 0,95-1,2 диаметра выходного

леточного блока, находящего соосно с леточным каналом [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлена фронтальная и горизонтальная часть (проекция) леточного узла,

где 1 – огнеупорный леточный канал, вмонтированный в стальной кожух 2 и замурованный кирпичной кладкой 3, 4 – вкладыш из целлюлозы с отверстием для монтажа 5, с полозьями 6 и крепежными элементами 7.

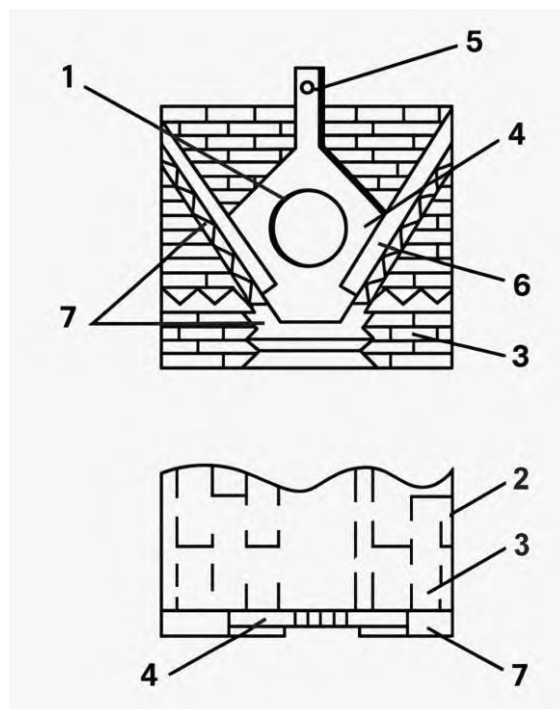


Рисунок 1 – Фронтальная и горизонтальная проекции леточного узла

1 – огнеупорный леточный канал; 2 – стальной кожух леточного блока; 3 – кирпичная кладка (огнеупорная футеровка); 4 – целлюлозный вкладыш; 5 – монтажное отверстие для установки вкладыша; 6 – полозья; 7 – крепежные элементы.

При выплавке стали на большегрузных, наиболее распространённых 300 – тонных конвертерах, леточный блок состоит из семи катушек, коаксиально вставленных друг в друга с общей длиной 161 см и внутренним цилиндрическим леточным каналом 160 мм, при пуске в работу после полной перефутеровки конвертера с продолжительностью 12 минут 10 секунд.

Стойкость футеровки леточного канала 95-140 плавов, в то время как стойкость рабочего слоя футеровки конвертера до 10000 плавов.

Перед выпуском металла леточный блок вместе с конвертером устанавливается на уровне рабочей площадки сталевара, который очищает желоба полозьев от остатков шлака, устанавливают с помощью отверстия в верхней части вкладыша, сам вкладыш после чего производят выпуск расплава из конвертера.

Использование предлагаемого оборудования и технологии позволяет создать условия для получения качественной стали путем снижения доли неметаллических включений, снизить расход электроэнергии на подогрев, увеличить стойкость

футеровки сталеразливочных и промежуточных ковшей.

ВЫВОДЫ

Установлено, что образование дефекта «раструб» при выпуске расплава из конвертера является следствием резкого охлаждения торцевой части леточного канала и последующей кристаллизации металла, что приводит к распылению струи, повышенному окислению и газонасыщению расплава.

Показано, что традиционный подогрев торца леточного блока горелками не обеспечивает достаточной глубины прогрева, вследствие чего дефект формируется повторно уже в начальный период выпуска металла.

Предложена технологическая схема, включающая предварительный выпуск высокотемпературного шлака, который обеспечивает прогрев леточного узла до 1500-1610 °С и создаёт условия для формирования стабильной компактной струи.

Разработана конструкция целлюлозного вкладыша, устанавливаемого соосно с леточным

каналом. Его применение позволяет существенно уменьшить охлаждение расплава и предотвратить образование дефекта «раструб» в течение всего периода выпуска металла.

Внедрение предложенного комплекса технических мероприятий позволяет снизить содержание оксидных неметаллических включений в стали, уменьшить угар раскислителей и легирующих материалов, повысить стойкость футеровки разливочных и промежуточных ковшей и улучшить общее качество металлического стали.

ВКЛАД АВТОРОВ

(таксономия CRediT):

В.И. Романов: концептуализация исследования, разработка методологии, научное руководство, формальный анализ, интерпретация результатов, подготовка первоначального варианта рукописи.

Е.С. Бестембек: проведение исследования, разработка технических решений, сбор и обработка экспериментальных данных, визуализация результатов, подготовка материалов статьи.

К.Н. Муртазаев: анализ литературных источников, валидация результатов исследования, участие в обсуждении полученных данных, научное редактирование рукописи.

А.С. Бражников: анализ и интерпретация результатов, разработка графических материалов, проверка корректности технических решений, редактирование рукописи.

В.И. Казаков: консультирование по производственным вопросам, предоставление технологических данных и экспертная оценка предложенных технических решений, рецензирование рукописи.

Все авторы принимали участие в обсуждении результатов исследования, ознакомились с окончательной версией рукописи, одобрили её к публикации и несут ответственность за достоверность представленных данных.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено без привлечения внешнего финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность специалистам АО «Qarmet» за содействие при проведении производственных наблюдений, предоставление технологической информации и консультационную поддержку при апробации предложенных технических решений. Также авторы признательны редакции и рецензентам журнала за конструктивные замечания и рекомендации, способствовавшие улучшению содержания статьи.

Авторское право © 2025 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение материала в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения аналогичной лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] В. И. Романов, К. А. Ногаев и Е. С. Бестембек, «Способ выпуска расплава из конвертера», Патент Республики Казахстан № 36507, МПК C21C 5/42, C21C 5/46, F27D 3/15, опубл. в бюл. № 50, 2023.
- [2] Г. Холлэйс и К. Файгл, «БМЗ-ФАИ / Начало и перспективы», *Сталь*, № 10, с. 6–8, 2002.
- [3] Б. А. Жаутиков, В. И. Романов и К. А. Ногаев, «Леточный узел сталеплавильного агрегата», Патент Республики Казахстан № 35140, МПК C21C 5/28, C21C 5/46, F27D 3/1, опубл. в бюл. № 24, 2021.

REFERENCES

- [1] V. I. Romanov, K. A. Nogaev, and E. S. Bestembek, “Method for tapping melt from a converter,” *Patent of the Republic of Kazakhstan* No. 36507, IPC C21C 5/42, C21C 5/46, F27D 3/15, Bull. no. 50, 2023.
- [2] G. Hollais and K. Faigl, “BMZ-FAI: Beginning and Prospects,” *Stal' (Steel)*, no. 10, pp. 6–8, 2002.
- [3] B. A. Zhautikov, V. I. Romanov, and K. A. Nogaev, “Tap-hole assembly of a steelmaking unit,” *Patent of the Republic of Kazakhstan* No. 35140, IPC C21C 5/28, C21C 5/46, F27D 3/1, Bull. no. 24, 2021.