

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2022)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/AFHU6838>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

***А. С. Никифоров¹, А. К. Кинжибекова², Е. В. Приходько³,
Н. М. Арипова⁴, А. Е. Карманов⁵**

^{1,2,3,4,5}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

АНАЛИЗ РАБОТЫ ФУТЕРОВОК РАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

В статье рассмотрены основные причины, из-за которых происходит разрушение футеровки разливочного ковша ферросплавного производства. Рассмотрена футеровка ковша, выполненная из шамотных кирпичей и изготовленная в два слоя без теплоизоляции. Для оценки степени износа футеровки были использованы: термографическое исследование с помощью тепловизора и обследование внутренней поверхности разливочного ковша.

По результатам исследования, износ огнеупорных материалов наблюдается в районе шлакового пояса и в месте попадания струи выпускаемого металла на стенки ковша. Наиболее значительный износ футеровки наблюдается в зоне шлакового пояса, где кроме химического воздействия шлака имеется влияние температурных напряжений. В целом же, износ футеровки по высоте ковша равномерный, с основными дефектами в виде сколов. Причина образования сколов – температурные напряжения, возникающие при высоких скоростях нагрева или охлаждения.

Стойкость ковшей с рабочим слоем из шамотного кирпича составляет в среднем 5-8 плавов, при этом скорость износа около 5 мм за плавку. Разливочные ковши выводятся на частый промежуточный ремонт из-за неравномерности износа шлакового пояса, образования двух зон локального износа под настелью, образующейся на границе «шлак-металл». Средняя остаточная толщина огнеупоров перед промежуточным ремонтом 65 мм, при начальной толщине 80 мм.

Ключевые слова: разливочные ковши, футеровка, износ, охлаждение, температурные напряжения.

Введение

В металлургической отрасли основной задачей является получение готовой продукции с нужными характеристиками при небольших затратах

на ее производство. Следовательно, оптимизация затрат на огнеупорные материалы для футеровки тепловых агрегатов достаточно актуальна. Одна из самых значимых статей затрат огнеупоров при производстве металла — затраты на футеровку разливочных ковшей.

На сегодняшний день на футеровку разливочных ковшей расходуется около 45 % всех огнеупорных материалов, используемых на предприятиях металлургии [1].

Разливочный ковш относится к важному оборудованию металлургического производства и применяется для приема, транспортировки, обработки стали в ковше и ее разливки. Без надежной эксплуатации разливочного ковша ритмичная работа цеха невозможна. В то же самое время надежность работы разливочного ковша в большей степени зависит от стойкости футеровки.

При подборе огнеупорных материалов главным образом определяется стойкость наиболее изнашиваемых элементов, разрушение которых определяет эксплуатационные показатели работы ковша в целом.

Получение стабильно высоких показателей стойкости футеровки, надежной и безаварийной ее работы является сложной задачей в связи с невозможностью избежать зон локального износа огнеупоров (таких как выработка по уровню металл/шлак, стык стена/шлаковый пояс) на определенном этапе после промежуточного ремонта и др. В работах [2-3] рассматриваются факторы, влияющие на износ футеровки металлургических агрегатов.

Материалы и методы

Футеровка разливочных ковшей ферросплавного производства выполняется в два слоя из шамотного кирпича ШКУ-32. Его толщина зависит от емкости ковша и, как правило, для больших емкостей составляет не менее 180 мм. В рассматриваемом случае толщина футеровки составляет 160 мм. Футеровка днища выкладывается еще дополнительными рядами кирпичей, чтобы компенсировать повышенное разрушение в результате более длительного контакта с расплавленным металлом. Толщина футеровки днища шамотным кирпичом для больших ковшей – не менее 345 мм.

Во время эксплуатации скорость износа вышеперечисленных зон достаточно сильно различается между собой и в несколько раз превышает скорость износа остальных участков футеровки ковша. Поэтому повышенный износ одной из зон предполагает вывод ковша из эксплуатации с целью локального ремонта футеровки или ее полной замены. При этом полная замена футеровки приводит к значительному увеличению удельных затрат на огнеупоры.

Рассмотрим условия эксплуатации и основные причины износа футеровки разливочных ковшей ферросплавного производства.

Из собранных данных, по характеру износа футеровки и огнеупорных элементов разливочных ковшей, выделим наиболее быстро и неравномерно изнашиваемые зоны:

- зона шлакового пояса и область, прилегающая к шлаковому поясу снизу;
- зона контакта футеровки со сливаемым из печи металлом.

Одним из универсальных способов оценки неравномерности износа футеровки является тепловизионное обследование. Использование тепловизионного обследования высокотемпературных агрегатов позволяет не только определить проблемные участки футеровки, но и оценить её остаточный ресурс. Анализ термограмм, проводимый совместно с обследованием внутреннего состояния футеровки, позволяет определить причины разрушения футеровки, а при проведении ряда тепловизионных обследований – динамику и скорость износа огнеупоров при различных режимах работы оборудования.

Методика оценки состояния футеровки по данным, получаемым от тепловизоров, широко используется в промышленности [5-7].

Проведённое термографическое обследование (рисунок 1) показывает, что износ футеровки внутренней поверхности разливочного ковша достаточно равномерный. Среди зон с износом, большим, чем средний износ по футеровке, можно выделить: зону шлакового пояса, сливного носика, а также бойная зона стенки ковша (рисунок 2).

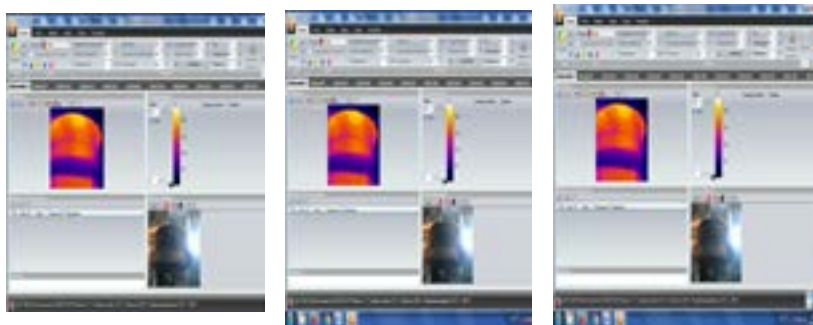


Рисунок 1 – Поле температур кожуха ковша

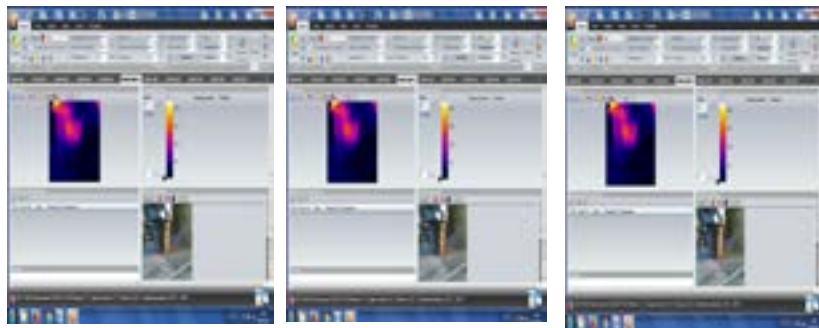


Рисунок 2 – Зона повышенных температур в области бойной части стенки ковша

Разрушение футеровки, которое можно оценить посредством анализа термограмм, можно разделить на следующие основные виды:

- разрушение под действием температурных напряжений;
- разрушение за счёт химического действия агрессивной среды (как правило, шлака);
- разрушение вследствие механических воздействий ремонтного персонала и технологического материала.

Результаты и обсуждения

Обследование внутренней футеровки разливочных ковшей показало, что значительный износ футеровки имеется в зоне шлакового пояса, где кроме химического воздействия шлака имеется влияние температурных напряжений (рисунок 3).



Рисунок 3 – Состояние внутренней поверхности футеровки ковша перед выводом в ремонт

В целом же, износ футеровки по высоте ковша равномерный, с основными дефектами в виде сколов (рисунок 4).



Рисунок 4 – Износ шамотной футеровки разливочного ковша

Причина образования сколов – температурные напряжения, возникающие при высоких скоростях нагрева или охлаждения. Разрушение огнеупорного материала происходит вследствие возникновения в нём напряжений, вызванных перепадом температур, величина которых превышает предел прочности используемых материалов.

Быстрое охлаждение сопровождается раскрытием швов с «горячей» стороны и вертикальными трещинами по торцу огнеупора (рисунок 4) [7]. Возможны также сколы торцевых поверхностей огнеупора из-за образования трещин в толщине огнеупора при возникновении предельных напряжений в толщине огнеупора, вызванных разницей линейных и объемных расширений охлаждаемого обезуглероженного и необезуглероженного слоев с «горячей» стороны.

Таким образом, термические нагрузки, связанные с охлаждением футеровки и последующим нагреванием при выпуске металла способствуют возникновению в кладке значительных термических напряжений и, как следствие, развитию локального износа рабочего слоя футеровки разливочного ковша. В процессе эксплуатации ковша с каждой последующей плавкой прочностные характеристики футеровки ухудшаются, и при превышении термических напряжений над прочностью огнеупора происходит его разрушение, что приводит к образованию сколов и трещин на швах кладки, футеровка изнашивается.

Стойкость ковшей с рабочим слоем из шамотного кирпича составляет в среднем 5-8 плавков, при этом скорость износа около 5 мм за плавку.

Разливочные ковши выводятся на частый промежуточный ремонт из-за неравномерности износа шлакового пояса, образования двух зон локального износа под настылью, образующейся на границе «шлак-металл». Средняя остаточная толщина огнеупоров перед промежуточным ремонтом 65 мм, при начальной толщине 80 мм (рисунок 5).



Рисунок 5 – Остаточная толщина отработанной футеровки ковша по шлаковому поясу

Огнеупоры стен и днища разливочных ковшей не вырабатывают свой ресурс эксплуатации. В таблице 1 приведены данные по промежуточному ремонту разливочных ковшей.

Таблица 1 – Данные по промежуточному ремонту футеровок ковшей в 2021-2022 г.

Номер разливочного ковша	Дата ремонта	Стойкость рабочей футеровки стен и дна, плавков	Причина вывода разливочного ковша из работы
11	17.01.2021	4	Стена
26	17.01.2021	3	Шлаковый пояс, стена
38	19.01.2021	5	Стена
29	20.01.2021	5	»
20	20.01.2021	5	»
11	24.01.2021	4	Шлаковый пояс, стена

26	24.01.2021	6	Шлаковый пояс, стена
38	26.01.2021	6	Стена
20	27.01.2021	7	»
29	27.01.2021	5	»
37	27.01.2021	5	»
39	27.01.2021	6	»
26	01.02.2022	3	Шлаковый пояс, стена
29	01.02.2022	4	»
11	03.02.2022	4	»
29	04.02.2022	2	»
37	04.02.2022	5	»
39	04.02.2022	5	Стена+подина
37	07.02.2022	4	Стена
38	07.02.2022	4	»
11	08.02.2022	3	»
37	08.02.2022	4	»

Из таблицы видно, что стойкость футеровки разливочных ковшей очень низкая. Разница между промежуточными ремонтами некоторых ковшей составляет 3-4 дня. Одна из частых причин вывода ковшей на ремонт, разрушение футеровки в зоне соприкосновения со шлаковым расплавом.

Механическое воздействие на футеровку при удалении настыли также оказывает влияние на стойкость футеровки. Оценить влияние данного фактора достаточно сложно, так как он включает не только толщину образовавшейся настыли, но и профессиональные навыки эксплуатационного персонала. Поэтому основная задача по снижению влияния этого фактора на стойкость футеровок – это рационализация температурных режимов для снижения образования настыли.

Таким образом, снижение износа огнеупоров футеровки в значительной степени будет зависеть от тепловых режимов её работы, рационализация которых позволит не только снизить разрушение футеровки вследствие перепадов температур, но и снизить образование настыли.

Термоудар, как резкое изменение температуры объекта, провоцирует возникновение термомеханических напряжений в футеровках металлургического оборудования. Причиной возникновения напряжений является термическое расширение или сжатие материала футеровки. Ввиду

сравнительно низкой теплопроводности большинства керамических и огнеупорных материалов (менее $10 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) [4] при одностороннем тепловом воздействии, внутри футеровки возникает (или резко изменяется) градиент температур. Причем, разность температур в точках, отстоящих друг от друга на несколько миллиметров, может составить сотни градусов. Резкое изменение температуры рабочей поверхности футеровки обусловлено тем, что зачастую металл, с температурой $1550\text{--}1700 \text{ }^\circ\text{C}$ подается в агрегат, поверхность футеровки которого имеет температуру от $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (без предварительного подогрева) до $900 \text{ }^\circ\text{C}$ (после разогрева) [8]. В другом случае, в аппарат, разогретый после обработки металла до температуры, близкой к температуре металлического расплава, попадает атмосферный воздух, температура которого составляет от $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+40 \text{ }^\circ\text{C}$ в зависимости от времени года.

Окончательным этапом, при котором возникают значительные термоудары, является охлаждение. В этот период объемные и линейные расширения изделий, различающиеся в радиальном направлении в зависимости от глубины прогретости огнеупора от «горячей» стороны к «холодной», значительны. Они обусловлены высокой температурой и присутствием значительного диффузионного слоя, как обезуглероженного, так и частично пропитанного продуктами плавки. Разность температур футеровки и окружающей среды в начальный момент охлаждения в помещении цеха может составлять сотни градусов. К примеру, зафиксированная нами температура воздуха в цехе составила минус два градуса, при этом температура внутренней поверхности футеровки после слива металла была на уровне $1250 \text{ }^\circ\text{C}$.

Установлено, что при термоударе, сопровождающем резкий разогрев, сжимающие напряжения носят экстремальный характер и приводят к появлению поверхностных трещин глубиной до 5 мм [9]. Определен момент появления этих трещин (через $1\text{--}3 \text{ с}$ после заливки металла). При термоударе, сопровождающем резкое охлаждение, нагрузка возрастает монотонно. На материал в этом случае действуют растягивающие напряжения, приводящие к образованию редких глубоких трещин в огнеупоре. Глубина таких трещин может достигать 120 мм ; время образования трещин – $7\text{--}10 \text{ секунд}$ от начала охлаждения [9].

Проведенный анализ состояния поверхности футеровки показал, что на поверхности огнеупоров рабочего слоя имеются отдельные трещины, длиной до 25 мм и глубиной до 8 мм (рисунок 6). Это позволяет говорить о причине их возникновения – температурных напряжениях.

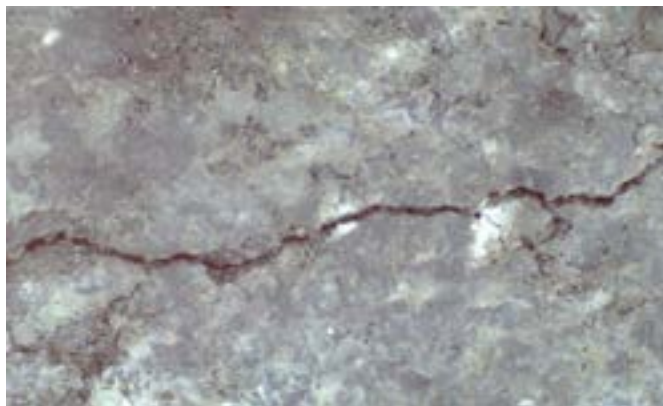


Рисунок 6 – Образование трещины на поверхности футеровки

Выводы

Проведённые термографический анализ и обследование футеровки разливочных ковшей показали, что разрушение огнеупоров за счёт химического воздействия шлака имеет локальный характер и актуально только для огнеупоров шлакового пояса. Причина разрушения остальных огнеупоров – температурные напряжения, вызванные перепадом температур.

Периодические нагрузки, связанные с охлаждением футеровки и последующим нагреванием при выпуске металла в ковш способствуют возникновению в кладке значительных термических напряжений и, как следствие, развитию износа шамотной футеровки разливочного ковша. В ходе эксплуатации разливочного ковша с каждой последующей плавкой прочностные характеристики футеровки ухудшаются, и при превышении термических напряжений над прочностью огнеупора происходит его разрушение, что приводит к образованию сколов и трещин на границах (швах) кладки. Особое внимание футеровки заслуживает в результате высокой частоты появления, отсутствия прогноза зоны появления дефекта, ограничения рабочего цикла всего ковша, сложности визуальной оценки вследствие ошлаковывания поверхности, высокой вероятности аварийной ситуации (прогара ковша).

Процесс охлаждения разливочных ковшей также идёт со значительными перепадами температур, отрицательно влияющих на стойкость футеровки. При этом зачастую процессу охлаждения не уделяется должного внимания и сам процесс ведётся без применения дополнительных устройств посредством охлаждения в условиях атмосферы цеха. Таким образом, следующей задачей исследования будет являться рационализация процессов охлаждения для

недопущения скоростей охлаждения при которых происходит образование микротрещин и разрушение огнеупоров.

«Исследование финансируется комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP14869073)».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Очагова, И. Г., Аксельрод, Л. М., Мизин, В. Г., Филяшин, М. К.** Совершенствование футеровки ковшей для разлива и внепечной обработки стали за рубежом. Сталеразливочный ковш – объект энергосбережения [Текст.] // Новые огнеупоры. – 2002, – №3 – С.52–55.

2 **Коваленко, А. Г., Рябый, Д. В., Смирнов, А. Н.** Влияние металлургических факторов на стойкость рабочей футеровки сталеразливочных ковшей [Текст] // Металл и литье Украины. – 2016. – № 11/12 (282/283). – С. 14–17.

3 **Съёмщиков, Н. С.** Разработка футеровки сталеразливочных ковшей (обзор опыта работы) [Текст] / Н. С. Съёмщиков, А. А. Кондрукевич, К. Н. Бельмаз, Я. А. Минаев // Новые огнеупоры. – 2013. – № 7. – С. 3–8.

4 **L. Le Guen, F. Huchet** (2020) Thermal imaging as a tool for process modelling: application to a flight rotary kiln, Quantitative InfraRed Thermography Journal, 17:2, 79-95, DOI: 10.1080/17686733.2019.1611222

5 Rippon, Lee, Hirtz, Barry, Sheehan, Carl, Reinheimer, Travis, Loewen, Philip and Gopaluni, Bhushan. «Visualization of multiscale ring formation in a rotary kiln» Nordic Pulp & Paper Research Journal, vol. 36, no. 4, 2021, pp. 549-558. <https://doi.org/10.1515/npprj-2021-0048>

6 **Lin, C., Yi, Z., Jiang, Z.** An alumina rotary kiln monitoring system based on flame image processing. Transactions of the Institute of Measurement and Contro. 2019;41(10):2764-2771. doi:[10.1177/0142331218810085](https://doi.org/10.1177/0142331218810085)

7 Michael, Hampel. Beitrag zur Eigenschaftsbewertung von feuerfesten Magnesiakohlenstoffzeugnissen: Dissertation / Technische Universität Bergakademie Freiberg. — Freiberg, 2010. – 226 s.

8 **Рябый, Д. В., Кондрукевич, А. А.** Изучение локального (дырочного) износа периклазоуглеродистой футеровки сталеразливочного ковша [Текст] // Новые огнеупоры. – 2016, – №1 – С.6–7.

9 **Аксельрод, Л. М., Заболотский, А. В.** Математическое моделирование разрушения футеровок металлургического оборудования под действием термоударов [Текст] // Современная наука. – 2016, – № 2 (4) – С.165–169.

10 **Кашеев, И. Д.** Свойства и применение огнеупоров [Текст] // – М. : Теплотехник, – 2004. – 352 с.

REFERENCES

1 **Ochagova, I. G., Akselrod, L. M., Mizin, V. G., Filiashin, M. K.** Sovershenstvovanie fyterovki kovshei dlia razlivki i vnepechnoi obrabotki stali za rybejom. Stalerazlyvochnyi kovsh – obekt energosberejennia [Perfection of bucket lining for casting and interior finishing of steel abroad. Steel filling bucket-energy saving object] [Text] // New refractories. – 2002. – №3 – P.52–55.

2 **Kovalenko, A. G., Riabyi, D. V., Smirnov, A. N.** Vlianie metallýrgicheskikh faktorov na stoikost rabochei fyterovki stalerazlyvochnyh kovshei [The influence of metallurgical factors on the durability of the working lining of steel ladlest] [Text] // Metal and casting of Ukraine. – 2016. – № 11/12 (282/283). – P. 14–17.

3 **Sëmikov, N. S., Kondrýkevich, A. A., Belmaz, K. H., Minaev, Ia. A.** Razrabotka fyterovki stalerazlyvochnyh kovshei (obzor opyta raboty) [Development of lining of steel filling buckets (review of work experience)] [Text] // New refractories, – 2013. – № 7. – P. 3–8.

4 **L. Le Guen, F. Huchet.** Thermal imaging as a tool for process modelling: application to a flight rotary kiln, Quantitative InfraRed Thermography Journal 2020, 17:2, 79-95, DOI: 10.1080/17686733.2019.1611222

5 **Rippon, Lee, Hirtz, Barry, Sheehan, Carl,** Reinheimer, Travis, Loewen, Philip and Gopaluni, Bhushan. «Visualization of multiscale ring formation in a rotary kiln» Nordic Pulp & Paper Research Journal, vol. 36, no. 4, 2021, pp. 549–558. <https://doi.org/10.1515/npprj-2021-0048>

6 **Lin, C., Yi Z, Jiang, Z.** An alumina rotary kiln monitoring system based on flame image processing. Transactions of the Institute of Measurement and Control. 2019;41(10):2764-2771. doi:[10.1177/0142331218810085](https://doi.org/10.1177/0142331218810085)

7 **Michael, Hampel.** Beitrag zur Eigenschaftsbewertung von feuerfesten Magnesiakohlenstofferzeugnissen: Dissertation / Technische Universität Bergakademie Freiberg. – Freiberg, 2010. – 226 p.

8 **Riabyi, D. V., Kondrýkevich, A. A.** Izýchenie lokalnogo (dyrochnogo) iznosa periklazoýglerodistoi fyterovki stalerazlyvochnogo kovsha [Study of local (hole) wear of the periclase-carbon lining of the steel ladle] [Text] // New refractories. – 2016, – №1 – P.6–7.

9 **Akselrod, L.M., Zabolotskii, A.V.** Matematicheskoe modelirovanie razrýsheniia fyterovok metallýrgicheskogo oborýdovaniia pod deistviem termoýdarov [Mathematical modeling of the destruction of the lining of metallurgical equipment under the action of thermal shocks] [Text] // Modern science. – 2016. – № 2 (4) – P.165–169.

10 **Kashcheev, I. D.** Svoistva i primenenie ogneporov: spravochnoe izdanie [Properties and application of refractories: reference edition] M. : Heat engineer, –2004. – 352 p.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

А. С. Никифоров¹, А. К. Кинжибекова², Е. В. Приходько³,Н. М. Арипова⁴, А. Е. Карманов⁵**^{1,2,3,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.**Материал баспаға 15.09.22 түсті.*

ҚҰЮ ШӨМІШТЕРІНІҢ ФУТЕРОВКАСЫНЫҢ ЖҰМЫСЫН ТАЛДАУ

Мақалада ферроқорытпа өндірісінің құю шөмішінің футеровкасының бұзылуының негізгі себептері қарастырылады. Қарастырылған шөміш футеровкасы екі қабатта, жылу оқшаулағышысыз шамоттық кірпіштерден орындалған. Футеровканың тозу дәрежесін бағалау үшін: жылу тепловизор көмегімен термографиялық зерттеу және құю шөмішінің ішкі бетін тексеру жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері бойынша отқа төзімді материалдардың тозуы шлак белдеуі ауданында және шығарылатын металл ағынының шөміш қабырғаларына түскен жерінде байқалады. Футеровканың едәуір тозуы шлак белдеуінің аймағында байқалады, мұнда шлактың химиялық әсерінен басқа температура кернеулерінің әсері бар. Жалпы алғанда, шөміштің биіктігі бойынша футеровканың тозуы біркелкі, кетіктер түрінде негізгі ақаулары бар. Кетіктердің пайда болу себебі – жоғары қыздыру немесе салқындату кезінде пайда болатын температура кернеуі.

Отқа төзімді шамоттық кірпіштен жасалған жұмыс қабаты бар шөміштердің тұрақтылығы орташа есеппен 5-8 балқытуды құрайды, ал тозу жылдамдығы бір балқыту үшін 5 мм құрайды. Құю шөміштері шлак белдеуінің біркелкі емес тозуына, «шлак-металл»шекарасында пайда болатын, тұнба астында жергілікті тозудың екі аймағының пайда болуына байланысты жиі аралық жөндеуге шығарылады. Аралық жөндеу алдында отқа төзімді заттардың орташа қалдық қалыңдығы 65 мм, бастапқы қалыңдығы 80 мм.

Кілтті сөздер: құю шөміштері, футеровка, тозу, салқындату, температура кернеуі.

*A. S. Nikiforov¹, A. K. Kinzhibekova², E. V. Prikhodko³,

N. M. Aripova⁴, A. E. Karmanov⁵

^{1,2,3,4,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 15.09.22.

ANALYSIS OF THE LINING OF FILLING LADLES

The article discusses the main reasons for the destruction of the lining of the casting ladle of ferroalloy production. The lining of the ladle, made of fireclay bricks, made in two layers without thermal insulation, is considered. To assess the degree of wear of the lining, the following were used: a thermographic study using a thermal imager and an examination of the inner surface of the pouring ladle. According to the results of the study, the wear of refractory materials is observed in the area of the slag belt and in the place where the jet of produced metal hits the walls of the ladle.

The most significant wear of the lining is observed in the zone of the slag belt, where, in addition to the chemical impact of slag, there is the influence of thermal stresses. In general, wear of the lining along the height of the ladle is uniform, with the main defects in the form of chips. The reason for the formation of chips is thermal stresses that occur at high heating or cooling rates.

The durability of ladles with a working layer of fireclay bricks averages 5-8 melts, while the wear rate is about 5 mm per melt. Casting ladles are taken out for frequent intermediate repairs due to the uneven wear of the slag belt, the formation of two zones of local wear under the build-up formed at the slag-metal boundary. The average residual thickness of refractories before intermediate repairs is 65 mm, with an initial thickness of 80 mm.

Keywords: filling ladles, lining, wear, cooling, temperature stresses.

Теруге 15.09.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

3 Mb RAM

Шартты баспа табағы 19,8. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3989

Сдано в набор 15.09.2022 г. Подписано в печать 30.09.2022 г.

Электронное издание

3 Mb RAM

Усл. печ. л. 19,8. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3989

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz