

УДК 669.184.13

*Тюляев Д. В.*  
*(Филиал № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС», г. Алчевск, ЛНР),*  
*к.т.н. Куберский С. В.*  
*(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),*  
*д.т.н. Пономаренко А. Г.*  
*(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР),*  
*Тюляев А. В.*  
*(Филиал № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС», г. Алчевск, ЛНР)*

### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК АГЛОМЕРАТА В КОНВЕРТЕРНУЮ ШИХТУ НА ИЗНОС ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТОЙ ФУТЕРОВКИ

*При дефиците металлического лома и повышенном расходе жидкого чугуна в качестве охладителей в кислородно-конвертерном процессе используются различные железосодержащие добавки. В условиях действующего производства исследовано влияние использования агломерата в качестве охладителя в шихте конвертерной плавки на износ периклазоуглеродистой футеровки кислородного конвертера. С учётом минимизации влияния первостепенных факторов на износ футеровки путём выбора наиболее представительных периодов эксплуатации и зон футеровки конвертера проведена оценка влияния добавок агломерата в шихту на динамику износа футеровки кислородного конвертера.*

**Ключевые слова:** кислородный конвертер, агломерат, футеровка, огнеупоры, плавка, охладитель.

Конвертерное производство стали является одним из наиболее ресурсоёмких металлургических переделов и характеризуется образованием большого количества отходов производства, основную долю которых составляют шлаки, шламы и пыль, содержащие значительное количество полезных элементов и в первую очередь железа. Содержание железа в этих отходах в виде металлической и оксидной фаз может достигать 50–60 %, утилизация их в технологическом цикле металлургического производства за счёт замены традиционных материалов ограничена и имеет определённые особенности. Эти особенности обусловлены степенью влияния добавок отходов в шихту на технологические параметры процессов, а также эксплуатационные характеристики тепловых агрегатов и в первую очередь стойкость их футеровки [1].

В работе [1] рассмотрены основные физико-химические свойства некоторых металлургических отходов и предложены пу-

ти их утилизации на различных этапах получения стальной металлопродукции.

На сегодняшний день наиболее привлекательным и слабо изученным этапом технологии металлургического передела для утилизации железосодержащих отходов является процесс выплавки стали в конвертерах.

Добавка указанных выше отходов в шихту конвертерной плавки может обеспечить целый ряд положительных факторов:

- ускорение шлакообразования и повышение окисленности металла, что способствует эффективной дефосфорации расплава;
- переход железа отходов в сталь и, соответственно, повышение выхода годного;
- снижение температуры стали на повалке, что позволит улучшить параметры плавки с точки зрения растворимости вредных примесей, угара раскислителей и лигатур, стойкости футеровки конвертера и др.

В свою очередь, дополнительное введение оксидов железа в конвертерную шихту вызывает образование более агрессивных шлаков и большего их количества, что

может негативно повлиять на износ футеровки, рафинировочные процессы и выход годного.

Оценить реальную степень позитивного и негативного влияния утилизации железосодержащих отходов в конвертерной плавке невозможно без проведения комплекса экспериментальных исследований в условиях действующего производства.

Учитывая тот факт, что одним из наиболее лимитирующих параметров конвертерного производства в условиях Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» (АМК) является стойкость футеровки плавильного агрегата, именно этому вопросу на первом этапе исследований было уделено особое внимание. Имеющиеся в настоящее время на предприятии проблемы стойкости огнеупоров обусловлены целым рядом технологических и организационных факторов, среди которых можно выделить ограниченное количество поставщиков, качество предлагаемых футеровочных материалов, а также значительные колебания объёмов производства, видов и свойств используемых шихтовых материалов.

Ещё одна проблема в утилизации отходов связана с необходимостью разработки рациональных технологий их специальной подготовки к металлургическому переделу с учётом крупности, засорённости, влажности, наличия вредных примесей, опас-

ных веществ и т. д., а это в значительной степени увеличивает сроки, необходимые для проведения всесторонних исследований. Поэтому на первом этапе работы было принято решение использовать в качестве аналога железосодержащих отходов офлюсованный агломерат производства аглофабрики АМК.

Содержание железа общего в офлюсованном агломерате находится на уровне 50–55 % (табл. 1), что сопоставимо с содержанием железа в пыли, улавливаемой из отходящих газов при продувке металла в конвертере (табл. 2).

С учётом определённых допущений технологическую целесообразность и объёмы утилизации пыли газоочисток при производстве стали можно оценить на основании опыта использования агломерата в конвертерной шихте.

Цель данной работы заключается в определении степени влияния добавок агломерата в шихту конвертерной плавки на износ периклазоуглеродистой футеровки плавильного агрегата.

Объектом исследования является технологический процесс выплавки стали в кислородном конвертере.

Предметом исследования является характер износа футеровки плавильного агрегата при использовании в шихте нетрадиционных материалов.

Таблица 1

Химический состав офлюсованного агломерата анализируемых периодов работы конвертера с применением агломерата в шихте

Плавки с начала кампании	Fe <sub>общ</sub> , %	FeO, %	SiO <sub>2</sub> , %	CaO, %	MgO, %	Основ., ед.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	MnO, %
504–656	54,74	12,09	8,49	11,71	1,68	1,38	1,02	0,35
772–854	52,72	11,27	7,88	13,96	2,61	1,77	1,08	0,56

Таблица 2

Химический состав пыли, улавливаемой из отходящих газов при продувке металла в конвертере

Газоочистная установка	Fe <sub>общ</sub> , %	Fe <sub>мет</sub> , %	FeO, %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	SiO <sub>2</sub> , %	CaO, %	MgO, %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	MnO, %
Скруббер	55,2	25,8	28,0	11,0	2,9	23,4	3,4	0,5	0,4
Электрофильтр	54,2	6,8	19,3	46,8	2,6	13,8	2,0	0,4	0,6

Задачи исследования:

- проанализировать износ огнеупоров рабочего слоя конвертера при использовании различных видов шихтовых материалов;

- оценить влияние добавок агломерата в шихту на стойкость рабочего слоя футеровки конвертера.

Для достижения поставленной цели в условиях кислородно-конвертерного цеха АМК были исследованы параметры 945 плавов с начала кампании конвертера. Анализируемый массив плавов был условно разделён на два периода: без использования агломерата в шихте (плавки 1–503 и 657–771) и с ним (плавки 504–656 и 772–854). Погрузка агломерата в совки на лом производилась грейфером.

На плавках с использованием агломерата наблюдалось интенсивное вспенивание шлака в начальный период продувки. С целью недопущения выбросов шлака и чрезмерного его вспенивания расход агломерата был ограничен в пределах 5,3–18,7 кг/т. Износ футеровки определялся путём замера остаточной её толщины с помощью мобильного лазерного сканера. Принцип работы сканера основан на бесконтактном эхоимпульсном методе измерения расстояний в определённой системе координат футеровки внутри конвертера и определении температуры, измеряемой с помощью инфракрасного пирометра. Периодичность сканирования составляет 1,5–2,0 суток. Замер производился в 4-х зонах конвертера — завалки (180°), слива (0°), холостой (270°) и приводной (90°) цапф — и приведён на рисунке 1.

В ходе эксплуатации конвертера наблюдался неравномерный износ футеровки по контролируемым зонам, что обусловлено со стороны завалки и слива дополнительным размывом потоками металла и шлака при наклоне конвертера, заливке чугуна, сливе металла, механическими повреждениями кусками заваливаемого лома и др.

По ходу кампании с целью снижения износа футеровки выполнялся комплекс

превентивных мер по сохранению футеровки конвертера в рабочем состоянии:

- ошлаковка методом раздува шлака, предусматривающая вдувание азота высокого давления через верхнюю кислородную фурму конвертера с целью разбрызгивания шлака по футеровке. Шлак покрывает её, охлаждается, затвердевает и создаёт прочный защитный слой, способствующий снижению скорости износа огнеупоров и снижению эксплуатационных затрат. Процесс реализуется после полного выпуска стали, когда в конвертере остаётся только шлак. При необходимости (визуальный контроль) производится присадка корректирующих добавок на шлак (уголь, известняк, доломит) для его кондиционирования;

- подварка со стороны завалки и слива с применением подварочных масс и брикетов, а также огнеупорного лома сталеразливочных ковшей. На оставшийся после слива плавки в конвертере шлак присаживают подварочные материалы, наклоняют конвертер в сторону подвариваемого участка и выдерживают до растекания и затвердевания слоя. Оставшийся шлак сливают в шлаковую чашу;

- торкретирование (нанесение на поверхность горячей футеровки огнеупорной массы факельным распылением) со стороны холостой и приводной цапф ввиду невозможности осуществления подварки;

- оптимизация содержания MgO в шлаке на уровне 6–8 % с целью купирования процесса перехода MgO футеровки конвертера в шлак [2].

Химический состав материалов, применяемых для ухода за футеровкой конвертера, приведён в таблице 3.

Особенности эксплуатации футеровки конвертера:

- торкретирование локальных участков износа футеровки начато с 813-ой плавки по футеровке;

- подварку футеровки подварочной массой начали выполнять с 260-ой плавки;

- ошлаковку конвертера начали производить с 51-ой плавки.

## МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

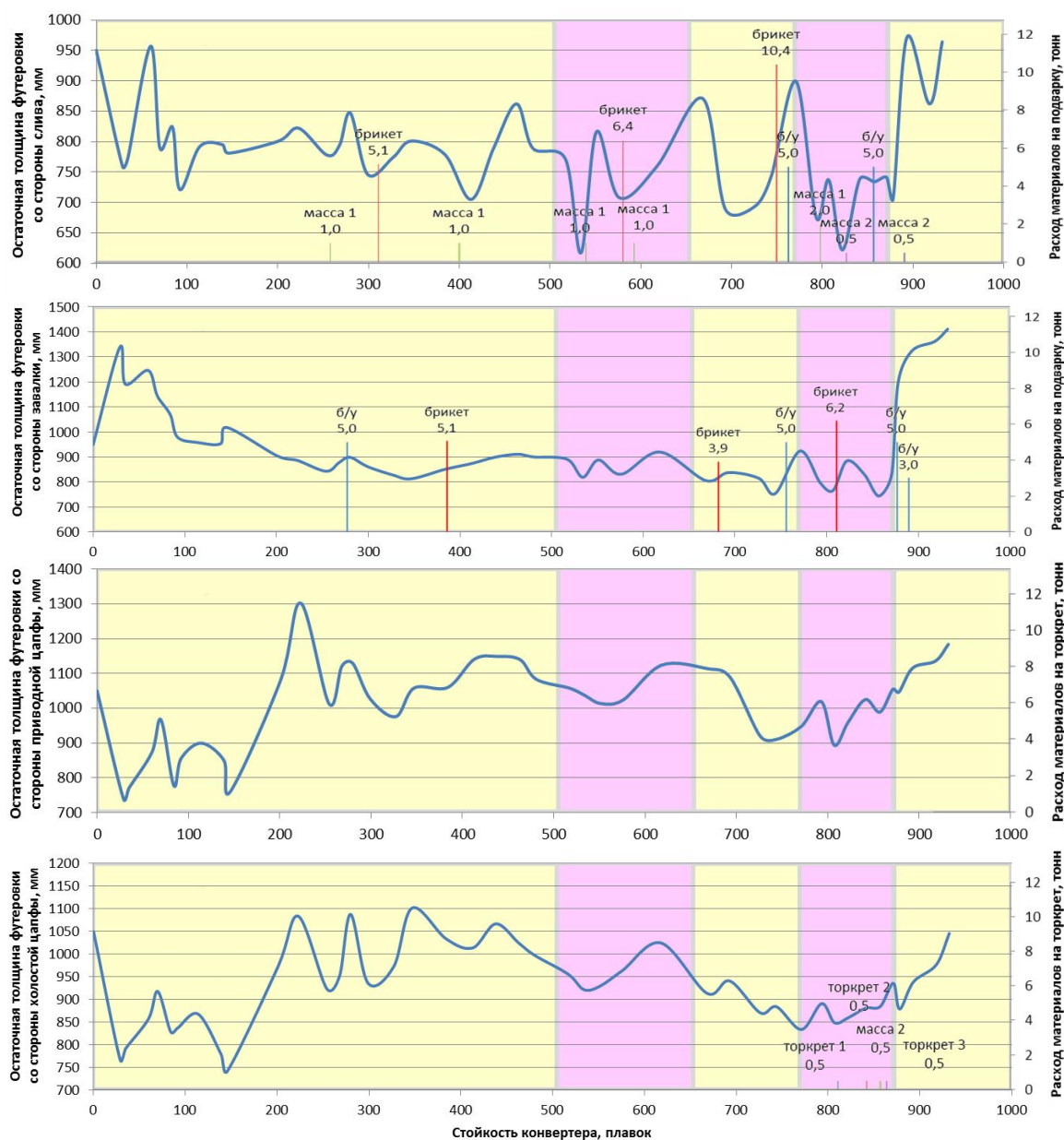


Рисунок 1 Характер изменения толщины футеровки в ходе кампании и расход материалов (в соответствии с таблицей 3) на различные виды её ремонта (б/у — огнеупорный лом, выделенные области — использование агломерата)

Таблица 3

Основные параметры материалов для ухода за футеровкой конвертера

Материал	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C	ппп	Предел прочности при сжатии, Н/мм <sup>2</sup>	Размеры, мм
брикет	≥65,0	1,5–4,0				8		≥25,0	300/150/100
торкрет 1	≥80,0	≤3,0	3	6	1,2		2		0–2
торкрет 2	≥80,0		≤6,0						0–4
торкрет 3	≥80,0							≥18,0	0–5
масса 1	≥65,0					≤20,0	2		0–10
масса 2	≥80,0								0–4

Стойкость футеровки определяется стойкостью участков повышенного износа, т. е. минимальной остаточной толщиной по контролируемым зонам, и представлена на рисунке 2.

Сравнивая результаты, представленные на рисунках 1 и 2, можно отметить, что динамика изменения минимальной остаточной толщины футеровки конвертера аналогична динамике изменения остаточной толщины со стороны слива. Т. е. зона слива подвергается наиболее интенсивному износу, что требует максимальных ремонтных воздействий для поддержания футеровки в удовлетворительном состоянии в ходе кампании конвертера. Превышение нормативного износа и минимальная остаточная толщина футеровки имели место в

периоды использования агломерата, составив 617 мм после 534-ой плавки и 622 мм после 822-ой плавки. Причинами резкого снижения остаточной толщины футеровки в период с 517-ой по 534-ю плавки (с 771 до 617 мм) явились увеличение расхода жидкого чугуна с 970 до 1000 кг/т и снижение количества ошлаковок, обусловленное производственной необходимостью. Снижение остаточной толщины футеровки с 771-ой по 822-ю плавку (с 899 до 622 мм) было связано с увеличением количества додувок ввиду повышенного содержания хрома, поступающего с жидким чугуном. Каждая додувка вызывает дополнительные колебания температуры футеровки, подсосы воздуха в конвертер и повышение окисленности шлака [3].

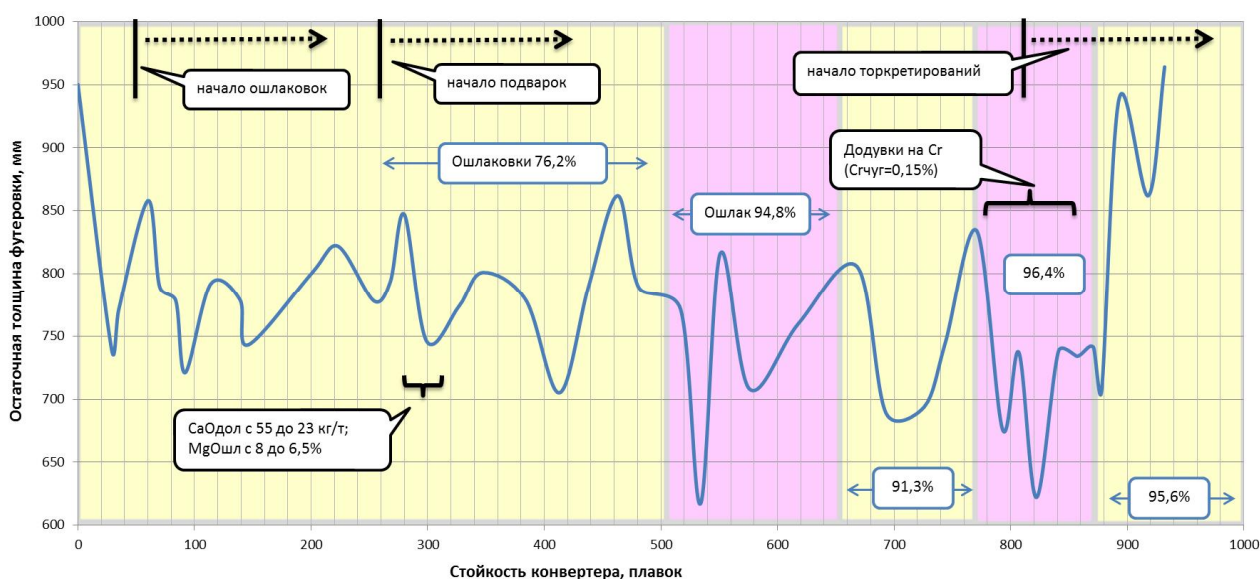


Рисунок 2 Минимальная остаточная толщина футеровки конвертера по контролируемым зонам и технологические особенности её эксплуатации (выделенные области — использование агломерата)

При работе конвертера без использования агломерата также наблюдались периоды повышенного износа футеровки, а именно:

– с 1-ой по 35-ю плавку (с 950 до 774 мм) обусловлено начальным периодом эксплуатации (выгорание углеродной связки огнеупора) и отсутствием операций по уходу за футеровкой конвертера;

– с 280-ой по 299-ю плавку (с 847 до 746 мм) ввиду размыва шлакового гарнисажа при снижении содержания MgO в шлаке (с 8 до 6,5 %) из-за дефицита доломитизированной извести;

– с 668-ой по 693-ю плавку (с 871 до 689 мм) из-за размыва подварки и шлакового гарнисажа при снижении количества

ошлаковок, связанного с производственной необходимостью.

Наиболее резкие колебания остаточной толщины имели место со стороны слива, что обусловлено дополнительным размывом потоками металла и шлака при наклоне конвертера.

Также необходимо отметить, что в соответствии с данными, представленными на рисунке 2, после 932-ой плавки остаточная толщина огнеупорной футеровки по кон-

тролируемым зонам превысила первоначальную. Это объясняется регулярным и качественным выполнением технологических операций по уходу за футеровкой в период работы конвертера с 800-ой по 900-ю плавку. На основании замеров остаточной толщины футеровки на начало и конец анализируемых периодов определены значения удельного расхода огнеупоров, характеризующие динамику износа футеровки для каждой из рассматриваемых зон (рис. 3).

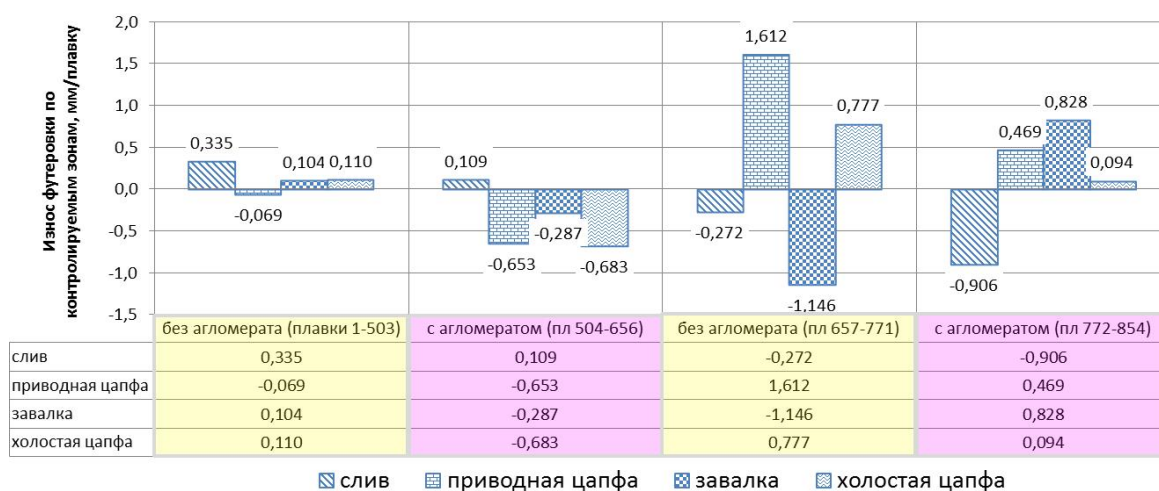


Рисунок 3 Средние значения удельного расхода футеровки по контролируемым зонам конвертера (выделенные области — использование агломерата)

Со стороны приводной цапфы в исследуемом периоде не проводились технологические операции по поддержанию футеровки и практически не наблюдалось влияние на её износ воздействий, возникающих при наклонах конвертера, что позволяет оценить износ футеровки этой зоны в зависимости от использования агломерата в шихте. Основное разрушающее воздействие на футеровку в этом случае может быть обусловлено изменением свойств образующегося шлака, который при высоком содержании оксидов железа, дополнительно вносимых агломератом, будет способствовать образованию в зоне контакта с огнеупором легкоплавких соединений (особенно с CaO) и обезуглероживанию его поверхностных слоёв.

В период с 772-ой по 854-ю плавку было допущено увеличение содержания хрома в

чугуне до 0,15 %, что повлекло увеличение додувок плавки на корректировку содержания хрома в металле на повалке, потому указанный период не является представительным относительно сопоставимости технологических условий. В период с 657-ой по 771-ю плавку снижен процент ошлаковок футеровки конвертера, что повлекло снижение остаточной толщины ввиду размыва шлакового гарнисажа, образованного в предшествующий период. Таким образом, период с 657-ой по 771-ю плавку также не является представительным.

В начальный период кампании с 1-ой по 503-ю плавку снижение процента ошлаковок обусловлено их отсутствием на первых 50-ти плавках.

На основании вышеизложенного можно выделить два наиболее представительных

периода изменения остаточной толщины футеровки конвертера:

1. С 1-ой по 481-ю плавку, без использования агломерата. Остаточная толщина футеровки на начало периода составляла 1050 мм, а в конце — 1083 мм.

2. С 504-ой по 656-ю плавку, с использованием агломерата. Остаточная толщина футеровки на начало периода составляла 1058 мм, а в конце — 1124 мм.

В обоих случаях увеличение толщины футеровки обусловлено нанесением шлакового гарнисажа за счёт ошлаковок.

Несмотря на теоретическое увеличение оксидов железа и кремния в шлаке при использовании агломерата, существенно-

го влияния на износ футеровки это не оказывает.

В результате проведённых экспериментов было установлено, что при использовании агломерата в шихте конвертерной плавки в пределах 5,3–18,7 кг/т стали практически отсутствует его влияние на износ периклазоуглеродистой футеровки в исследованном периоде кампании.

В ходе дальнейших исследований предполагается проанализировать технологические показатели конвертерных плавков с использованием агломерата и в первую очередь шлаковый режим, содержание вредных примесей в стали и усвоение легирующих элементов.

#### **Библиографический список**

1. Тюляев, Д. В. Анализ физико-химических свойств и технологической ценности конвертерной пыли [Текст] / Д. В. Тюляев, С. В. Куберский, М. Ю. Проценко // Сборник научных трудов ДонГТУ. — 2019. — № 13 (56). — С. 34–39.

2. Аксельрод, Л. М. Повышение стойкости футеровки конвертеров : огнеупоры, технологические приёмы [Текст] / Л. М. Аксельрод, А. П. Лаптев, В. А. Устинов, Ю. Д. Геращук // Металл и литьё Украины. — 2009. — № 1–2. — С. 9–15.

3. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия [Текст] : учебник для вузов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. — М. : Академкнига, 2005. — 768 с.

© Тюляев Д. В.

© Куберский С. В.

© Пономаренко А. Г.

© Тюляев А. В.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ДонГТУ Должиковым В. В., зам. нач. ККЦ по технологии филиала № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» Швецем Д. В.**

Статья поступила в редакцию 05.11.19.

**Тюляев Д. В.** (Філія № 12 ЗАТ «ВНЕШТОРГСЕРВИС», м. Алчевськ, ЛНР),  
**к.т.н. Куберський С. В.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР), **д.т.н. Пономаренко О. Г.** (ДонНТУ,  
м. Донецьк, ДНР), **Тюляев О. В.** (Філія № 12 ЗАТ «ВНЕШТОРГСЕРВИС», м. Алчевськ, ЛНР)

#### **АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДОБАВОК АГЛОМЕРАТУ В КОНВЕРТЕРНУ ШИХТУ НА ЗНОШЕННЯ ПЕРИКЛАЗОВУГЛЕЦЕВОЇ ФУТЕРОВКИ**

За дефіциту металевого брухту та підвищеного витрачання рідкого чавуну у якості охолоджувачів в киснево-конвертерному процесі використовуються різноманітні залізовмісні добавки. В умовах діючого виробництва досліджено вплив використання агломерату в якості охолоджувача в шихті конвертерної плавки на зношення периклазовуглецевої футеровки кисневого конвертера. З урахуванням мінімізації впливу першорядних чинників на зношення футеровки шляхом вибору найбільш показних періодів експлуатації та зон футеровки конвертера проведено оцінку впливу добавок агломерату в шихту на динаміку зношення футеровки кисневого конвертера.

**Ключові слова:** кисневий конвертер, агломерат, футеровка, вогнетриви, плавка, охолоджувач.

**Tiuliaev D. V.** (Branch № 12 ZAO «VNESHТОRGSERVIS» (Closed Joint-Stock Company), Alchevsk, LPR), **PhD in Engineering Kuberskiy S. V.** (DonSTU, Alchevsk, LPR), **Doctor of Technical Sciences Ponomarenko A. G.** (DonNTU, Donetsk, DPR), **Tiuliaev A. V.** (Branch № 12 ZAO «VNESHТОRGSERVIS» (Closed Joint-Stock Company), Alchevsk, LPR)

**ANALYZING THE INFLUENCE OF SINTER ADDITIVES TO CONVERTER MIXTURE ON WEAR OF THE PERICLASE-CARBONACEOUS LINING**

*With a shortage of scrap metal and increased consumption of liquid cast iron, the various iron-containing additives are used as coolers in the oxygen converter process. In the conditions of acting production there has been studied the effect of sinter using as a cooler in the mixture of converter operation on wear of the periclase-carbonaceous lining of an oxygen converter. Taking into account the minimization of the influence of primary factors on the lining wear by choosing the most representative operating periods and zones of the converter lining there has been assessed the influence of sinter additives to the mixture on the wear dynamics of the oxygen converter lining.*

**Key words:** oxygen converter, sinter, lining, firebricks, smelting, cooler.