

Эволюция дизайна и стойкости рабочей футеровки 150-т сталеразливочных ковшей УПК ЭСПЦ ОАО «ВТЗ» поставок ОАО «БКО»

К.т.н. Можжерин А.В., к.т.н. Мусевич В.А., к.т.н. Дука А.П., ООО «Торговый дом «БКО».

К.т.н. Маргишвили А.П. ЦСТиП ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров»

Пайвин А.А., Казаков В.В., ОАО «Волжский трубный завод», г. Волжский Волгоградская обл.

В условиях работы ЭСПЦ ОАО «Волжский трубный завод» прослежена эволюция дизайна и стойкости оксидоуглеродистых футеровок производства и поставок ОАО «БКО» в период 2004-2008 г.г. Проведен анализ эксплуатации рабочих футеровок 150-т сталеразливочных ковшей, определены основные направления совершенствования состава огнеупоров и дизайна кладки.

Электросталеплавильный цех ОАО «Волжский трубный завод» мощностью 900 тыс. тонн стали в год полностью обеспечивает потребности предприятия в стальной трубной заготовке. Современное электросталеплавильное оборудование включает следующие агрегаты: электродуговая сталеплавильная печь массой плавки 150 тонн с водоохлаждаемыми панелями и сводом, эркерным выпуском металла; 2 установки «печь-ковш» для доводки плавки по химическому составу и температуре с наведением искусственного шлака и продувкой аргоном; парк сталеразливочных ковшей емкостью 150 тонн в количестве 17 единиц, установка вакуумной дегазации стали (VD-процесс), 3 четырехручьевые установки непрерывного литья заготовок криволинейного типа. Применение передовых технологий и высокоэффективного оборудования позволяют получать высококачественную стальную заготовку с ультранизким содержанием вредных примесей и газов.

После внедрения в 2000 году в сталеразливочных ковшах оксидоуглеродистых огнеупорных футеровок, специалисты ОАО «Волжский трубный завод» стали уделять повышенное внимание к требованиям качества и снижению себестоимости выплавляемой стали. Интенсификация технологических операций при производстве и переработке стали в условиях ЭСПЦ ОАО «ВТЗ»

(аргонная продувка, вакуумная дегазация стали) ужесточает условия службы футеровок в металлургических агрегатах. Процесс вакуумной дегазации стали, активное перемешивание металла и шлака вследствие донной продувки, создают особо жёсткие условия службы огнеупоров в сталеразливочных ковшах, обусловленные интенсивным воздействием на оксидоуглеродистые футеровки высоких температур (до 1720°C), агрессивных расплавов шлаков, переменных газовых сред, повышенных термомеханических нагрузжений. Необходимость полного завершения процессов легирования, раскисления, усреднения металла по химическому составу и температуре значительно увеличивает временной период нахождения металла в ковшах.

Затраты на ремонт и монтаж, составляют заметную часть в себестоимости выпускаемой трубной продукции. Снижение удельных затрат на расход огнеупорных материалов и увеличение сроков службы футеровки металлургических агрегатов, позволяют повысить эффективность работы ЭСПЦ ОАО «ВТЗ». Увеличение ресурсов безаварийной эксплуатации футеровок обеспечивается совершенствованием технологии и повышением показателей технических свойств и качества применяемых огнеупоров, непрерывной оптимизацией дизайна кладки рабочих футеровок, обеспечивающей одинаковую стойкость всех элементов футеровки и равномерный износ.

Научно-практическими исследованиями центра совершенствования технологии и производства (ЦСТиП) ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров» обоснованы и непрерывно оптимизируются параметры изготовления оксидоуглеродистых огнеупорных изделий. Выявлены важные направления совершенствования технологии и свойств оксидоуглеродистых огнеупорных изделий [1, 2].

Комплексное решение проблем технологии оксидоуглеродистых огнеупоров позволяет осуществить дальнейшее совершенствование и улучшение физико-химических и эксплуатационных свойств изделий, повысить стойкость элементов конструкций огнеупорных футеровок и экономическую эффективность производства стали.

Эволюция дизайна (совершенствование и оптимизация) футеровки (выбор качественного состава огнеупоров по зонам комбинированной кладки, подбор сырьевых материалов и функциональных добавок для производства конкретной марки огнеупорных изделий с необходимыми физико-химическими и эксплуатационными характеристиками, оптимизация толщины рабочего слоя футеровки, использование вспомогательных ремонтно-восстановительных материалов) 150-т сталеразливочных ковшей ЭСПЦ ОАО «ВТЗ» поставок ОАО «БКО» проходила в 5 этапов на основании полного инжиниринга и анализа эксплуатации футеровки агрегатов.

I этап. В 2004 г. на ОАО «ВТЗ» осуществлялись серийные поставки комплектов рабочих оксидоуглеродистых футеровок 150-т сталеразливочных ковшей производства ОАО «БКО».

Согласно схеме рабочей футеровки, разработанной специалистами группы инжиниринга ЦСТиП ОАО «БКО» совместно с техническими представителями ОАО «ВТЗ», кладка огнеупоров осуществлялась следующим образом:

- днище: периклазоуглеродистые изделия марки ПУ-4: периферия и бойное место (участок падения струи металла), используемое основное сырье: периклаз FM-96, графит FG+194;

- стены в зоне металла: периклазоуглеродистые изделия марки ПУ-3, используемое основное сырье: периклаз FM-96+DBM-96, графит FG+194;

- шлаковый пояс: периклазоуглеродистые изделия марки ПУ-1, используемое основное сырье: периклаз FM-96, графит FG+194 .

Принципиальная схема футеровки 150-т сталеразливочного ковша представлена на рис. 1.

Средняя стойкость данных рабочих футеровок производства ОАО «БКО» составила 26 плавов (min 18 плавов без ремонтов футеровки, max 36 плавов с 1 промежуточным ремонтом шлакового пояса).

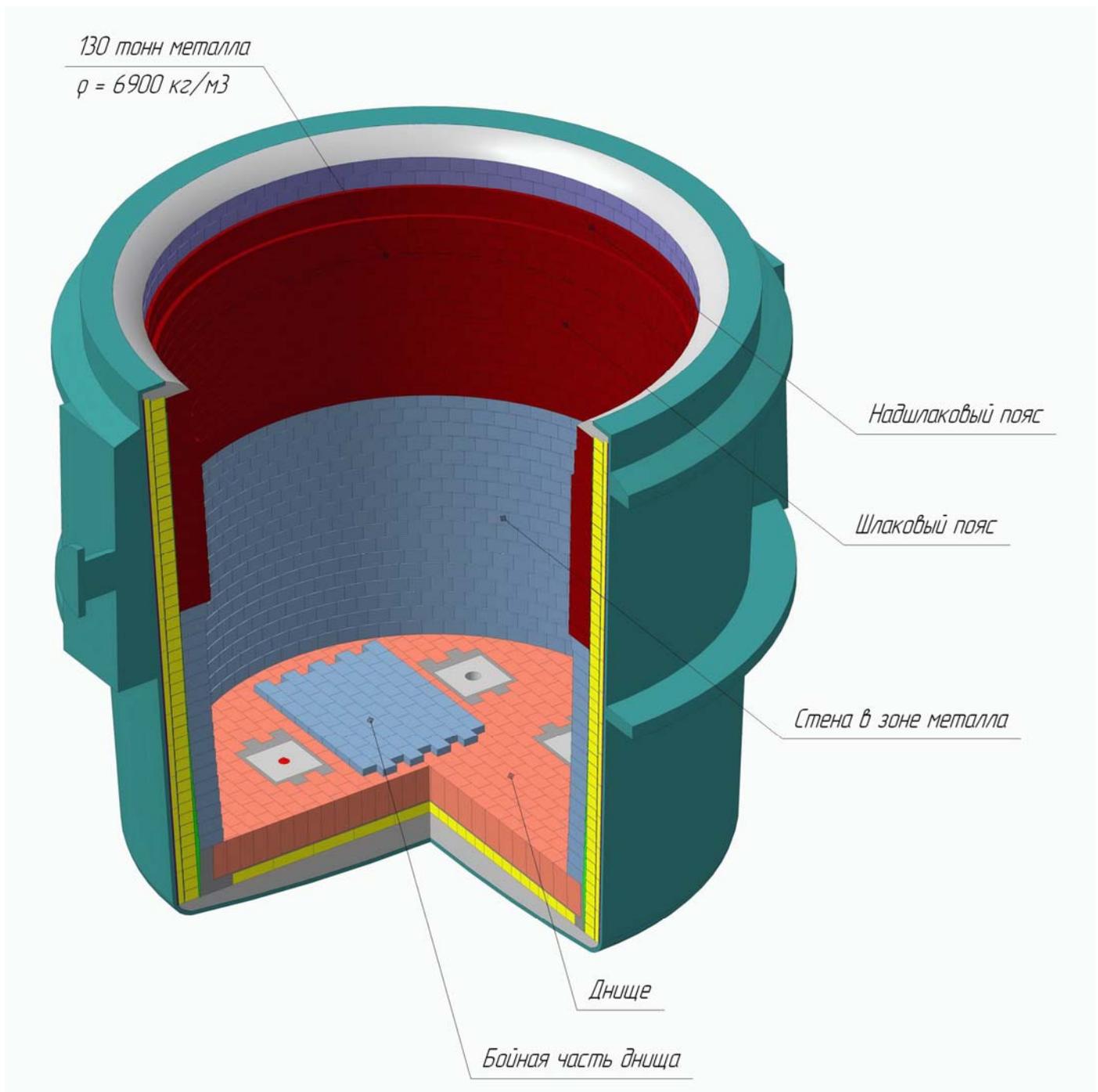


Рисунок 1 – Принципиальная схема футеровки 150-т сталеразливочного ковша УПК ЭСПЦ ОАО «ВТЗ».

Основным характером износа рабочей футеровки сталеразливочных ковшей в зоне металла являлись вертикальные трещины на 100 % высоты зоны металла, которые размывались и углублялись в процессе эксплуатации, а также скалывание огнеупоров. Аналогичный характер износа наблюдался и в шлаковом поясе в дополнении к интенсивному шлакоразъеданию. В бойном месте дна сталеразливочных ковшей отмечен опережающий износ футеровки, вызванный интенсивным механическим и эрозионным воздействием на огнеупорный материал

падающей струи металла. Также происходило раскрытие футеровки в нижних рядах шлакового пояса: образование горизонтальной щели шириной 20-40 мм до арматурного слоя.

На основании анализа службы огнеупорных футеровок производства ОАО «БКО» в сталеразливочных ковшах было принято решение доработать и оптимизировать схему рабочей футеровки, улучшить качество периклазоуглеродистых огнеупоров в шлаковом поясе.

II этап. Для повышения ресурса службы шлаковых поясов, решения проблемы возникновения вертикальных трещин, скалывания и разрушения футеровки, специалистами ЦСТиП ОАО «БКО» проведены исследования о выявлении степени влияния количества вводимой антиокислительной добавки $Al_{мет}$ на эксплуатационные свойства периклазоуглеродистых изделий.

В процессе службы изделий $Al_{мет}$ не только окисляется, но и взаимодействует с углеродистой составляющей изделий с образованием карбида алюминия Al_4C_3 , который распределяется по границам чешуек графита, способствуя повышению прочности огнеупоров [3]. $Al_{мет}$ и Al_4C_3 обладают большим сродством к кислороду и легче окисляются кислородом и оксидами железа шлака, что снижает скорость окисления углерода. Продукты окисления алюминия в периклазоуглеродистых изделиях вступают в химическую реакцию с дисперсным периклазом связки огнеупора и образуют шпинель $MgAl_2O_4$, с синтезом которой связывается повышенная коррозионная устойчивость. Однако при концентрации $Al_{мет} > 3$ мас.% наблюдается разрыхление изделий, обусловленное объёмными изменениями при синтезе шпинели, не компенсируемыми пористой структурой огнеупора [4, 5].

Исследованиями специалистов ЦСТиП ОАО «БКО» выявлено, что оптимальное количество используемой в составе периклазоуглеродистых огнеупоров антиокислительной добавки $Al_{мет}$ должно составлять не более 3,0 мас.%.

На основе проведенных исследований и оптимизации свойств периклазоуглеродистых огнеупоров, для увеличения стойкости шлаковых поясов и повышения общего ресурса эксплуатации была изменена схема футеровки 150-т сталеразливочных ковшей:

- днище: периклазоуглеродистые огнеупорные изделия марки ПУ-4 (без изменений), бойное место днища - корундопериклазоуглеродистые изделия марки КПУ-70. Используемое основное сырье: боксит ($Al_2O_3 > 88\%$), корунд ($Al_2O_3 > 99\%$), периклаз FM-96, графит FG+194;

- стены в зоне металла: корундопериклазоуглеродистые изделия марки КПУ-70;

- шлаковый пояс: периклазоуглеродистые изделия марки ПУ-1. Используемое основное сырье: периклаз FM-97, графит FG+194. Применение в шлаковом поясе оптимизированных изделий ПУ-1, при производстве которых снижено содержание добавки $Al_{мет}$ с 4,0 до 2 мас.% и улучшение качества периклаза (FM-97 вместо FM-96) должно повысить стойкость периклазоуглеродистых огнеупоров. Увеличена рабочая толщина ремонтного комплекта шлакового пояса (178 мм против 150 мм).

В период с января по октябрь 2005 г. проведены испытания опытных футеровок сталеразливочных ковшей. Средняя стойкость рабочих футеровок производства ОАО «БКО» в данный период составила 30,5 плавов (min 19 плавов без ремонта футеровки, max 42 плавки с 1 промежуточным ремонтом шлакового пояса).

Снижение содержания добавки $Al_{мет}$ в совокупности с улучшением качества используемого сырья позволило повысить стойкость шлаковых поясов футеровки сталеразливочных ковшей, снизить формирование трещин и сколов, но не устранить на 100 % их образование и распространение.

При осмотре ковшей во время ремонтов и после эксплуатации выявлено радикальное отличие характера износа огнеупоров марки КПУ-70. В стенах не наблюдалось ярко выраженных сколов и трещин, бойное место дна выступает над периферией. Новые корундопериклазоуглеродистые изделия КПУ-70, примененные в рабочей футеровки стен в зоне металла и бойного места дна сталеразливочных ковшей, не выработали ресурс эксплуатации.

На этапе II эволюции и дизайна рабочей футеровки 150-т сталеразливочных ковшей ЭСПЦ ОАО «ВТЗ» производства ОАО «БКО» достигнуто увеличение стойкости на 17,3 % как за счет увеличения толщины ремонтного комплекта

шлакового пояса, так и за счет улучшения сырьевых материалов и повышения стойкости огнеупоров марки ПУ-1, изготовленных при использовании комплекса оптимизационных технологических решений. Внедрение в дизайн футеровки корундопериклазоуглеродистых огнеупоров марки КПУ-70 позволило гарантировать стойкость стен и днища до 40 плавов.

Для интенсификации работы сталеразливочных ковшей с целью доведения стойкости до 35 плавов требовалось дальнейшее увеличение стойкости огнеупоров шлакового пояса марки ПУ-1 как основного, так и ремонтного комплектов.

III этап Отсутствие в России качественной минеральной сырьевой базы вынуждало ОАО «БКО» закупать сырье для производства оксидоуглеродистых огнеупоров (периклаз, боксит, графит) за границей, главным образом в Китае. Повышение китайской стороной пошлин на экспорт сырья привели к тому, что ОАО «БКО», начиная с 2006 года, перенесло часть производства оксидоуглеродистых огнеупоров в КНР.

Производство оксидоуглеродистых огнеупоров на китайской площадке осуществляется под полным контролем технических специалистов ОАО «БКО», начиная с подбора сырьевых материалов, контроля подготовки разработанных и непрерывно оптимизируемых рецептур масс для каждой марки изделий (индивидуально для конкретного Заказчика), линии производства, включающей формование, термообработку и сортировку изделий, контроль качества готовой продукции.

В сентябре 2006 г. на ОАО «ВТЗ» поставлена партия из 3-х опытных комплектов футеровки следующего дизайна:

- днище и стены в зоне металла аналогично этапу II (показав удовлетворительную стойкость футеровки);
- шлаковый пояс: периклазоуглеродистые огнеупоры марки ПУ-1 (производство КНР). Толщина основной футеровки 200 мм, ремонтного комплекта 150 мм (по требованию технических служб ОАО «ВТЗ»).

Таблица 1 – Показатели физико-химических свойств изделий марки ПУ-1

Наименование показателей	Гарантируемые показатели	Факт
Массовая доля, %, на прокаленное вещество: MgO, не менее Al ₂ O ₃ , в пределах	90 3 – 6	92,9 3,36
Массовая доля углерода, С (в пределах), %	10 – 13	11,0
Кажущаяся плотность, г/см ³ , не менее	2,90	3,02
Открытая пористость, %, не более	6,0	5,2
Предел прочности при сжатии, Н/мм ² , не менее	40,0	42,3
Использованное сырье для производства: - Периклаз (размер кристаллов ≥ 400 мкм) - Чешуйчатый графит	LCFM-97,5 FG+197	- -

В октябре 2006 г. в присутствии представителей ОАО «БКО» выполнена кладка футеровки трех 150-т сталеразливочных ковшей № 1, 16, 9. Параметры эксплуатации ковшевых огнеупоров представлены в табл. 4.

Таблица 2 – Показатели службы ковшей поставки ОАО «БКО»

№ ковша	Общая стойкость, плавки	% плавков с вакуумированием
1	32	37,5
2	28	39,3
3	35	40
В среднем	31,7	38,9

Сталеразливочные ковши выведены на промежуточный ремонт из-за неравномерности износа шлакового пояса, образования двух зон локального износа под настылью, образующейся на границе «шлак-металл». Минимальная остаточная толщина по шлаковому поясу перед промежуточным ремонтом – 65 мм.

Для опытных сталеразливочных ковшей выявлен характер неравномерного опережающего износа футеровки шлакового пояса, обусловленный интенсивным шлакоразъеданием, особенно на границе «шлак-металл». Причина вывода ковшей из эксплуатации – износ и скалывание футеровки шлакового пояса. Огнеупоры стен и днища сталеразливочных ковшей не выработали свой ресурс эксплуатации.

Отметим, что эксплуатация трёх комплектов рабочих футеровок проходила в более жестких условиях (установка «печь-ковш» и установка вакуумной дегазации),

при этом за кампанию ковшей число плавов с вакуумированием составило в среднем – 38,9 %.

Анализ службы комплектов рабочих футеровок поставки ОАО «БКО» в условиях ЭСПЦ ОАО «ВТЗ» свидетельствует, что стойкость сталеразливочных ковшей показала результаты на уровне серийных поставщиков. Периклазоуглеродистые огнеупоры для футеровки шлакового пояса поставки ОАО «БКО» (производство КНР) имеют повышенную стойкость по сравнению с серийно поставляемыми огнеупорами марки ПУ-1 (производства ОАО «БКО»).

Технической дирекцией ОАО «ВТЗ» постановлено в 2007 г. увеличить ресурс эксплуатации сталеразливочных ковшей, что вызвало необходимость обеспечения равностойкости элементов рабочей футеровки, повышения стойкости ковшей до промежуточного ремонта шлакового пояса до уровня 30 плавов, итоговой стойкости до уровня 40 плавов. В связи с этим принято решение изменить дизайн рабочей футеровки: увеличить толщину рабочего слоя шлакового пояса основного комплекта до 230 мм, ремонтного до 178 мм, повысить стойкость шлакового пояса за счет дальнейших оптимизации состава и улучшения эксплуатационных свойств периклазоуглеродистых огнеупоров.

IV этап В соответствии с требованиями Технической дирекции ОАО «ВТЗ», специалистами группы инжиниринга ЦСТиП ОАО «БКО» доработана схема футеровки 150-т сталеразливочного ковша:

- днище: периклазоуглеродистые изделия марки ПУ-4 (производство ОАО «БКО»), бойная часть днища – алюмопериклазоуглеродистые изделия марки КПУ-70 (производство КНР);

- стены в зоне металла: корундопериклазоуглеродистые изделия марки КПУ-70 (производство КНР);

- шлаковый пояс: периклазоуглеродистые изделия марки ПУ-1 (производство КНР). Толщина футеровки 230 мм, ремонтного комплекта 178 мм.

В целях повышения стойкости ковшей за счет оптимизации износа футеровки предложено использовать огнеупорные изделия марки ПУ-1 с толщиной 200 мм в двух верхних рядах (31-32) шлакового пояса и в качестве переходного слоя (18 ряд)

на границе стена – шлаковый пояс. Применение изделий с промежуточной толщиной 200 мм (толщина изделий шлакового пояса - 230 мм, стен - 178 мм) позволит уменьшить износ переходного слоя стена – шлаковый пояс за счет минимизации турбулентности расплава металла в околофурменной зоне сталеразливочного ковша вследствие минимизации перепадов толщин футеровки. Снижение турбулентности расплава металла приводит к уменьшению абразивного износа огнеупорного материала футеровки за счет более низких скоростей потоков металла.

Рабочая поверхность изделий марки ПУ-1 (поверхность контакта с расплавом металла и шлака) покрыта защитной глазурью с целью снижения выгорания углерода периклазоуглеродистых огнеупоров в период разогрева футеровки сталеразливочного ковша. Толщина покрытия – не более 1 мм.

Таблица 3 – Данные паспортизации ОАО «БКО» оксидоуглеродистых огнеупоров (столбец 2) в соответствии с гарантируемыми показателями (столбец 1)

Наименование показателей	Марка					
	ПУ-1		КПУ-70		ПУ-4	
	1	2	1	2	1	2
Массовая доля, %, на прокаленное вещество:						
MgO, не менее	90	92,7	5	9,51	90	94,8
Al ₂ O ₃ , в пределах	3 – 6	3,5	-	-	3 – 6	3,7
Al ₂ O ₃ , не менее	-	-	70	80,1	-	-
Массовая доля углерода, С (в пределах), %	10 – 13	11,2	≥ 5	7,8	7-9	7,8
Кажущаяся плотность, г/см ³ , не менее	3,00	3,03	2,95	2,99	3,00	3,04
Открытая пористость, %, не более	6,0	4,9	9,0	7,5	6,0	5,1
Предел прочности при сжатии, Н/мм ² , не менее	35,0	41,2	40,0	66,1	40,0	50,3
Использованное сырье для производства:			Боксит-88			
- Периклаз	LCFM-98		FM-97		FM-97	
- Чешуйчатый графит	FG+197		FG+197		FG+194	
- Антиокислительная добавка	Al _{мет}		Al _{мет} + Si		Al _{мет}	

В июне-июле 2007 г. на ОАО «ВТЗ» в соответствии с обновленным техническим предложением была выполнена футеровка трех 150-т сталеразливочных ковшей № 15, 16, 27 оксидоуглеродистыми огнеупорами

поставки ОАО «БКО». Основные параметры эксплуатации сталеразливочных ковшей приведены в таблице 4.

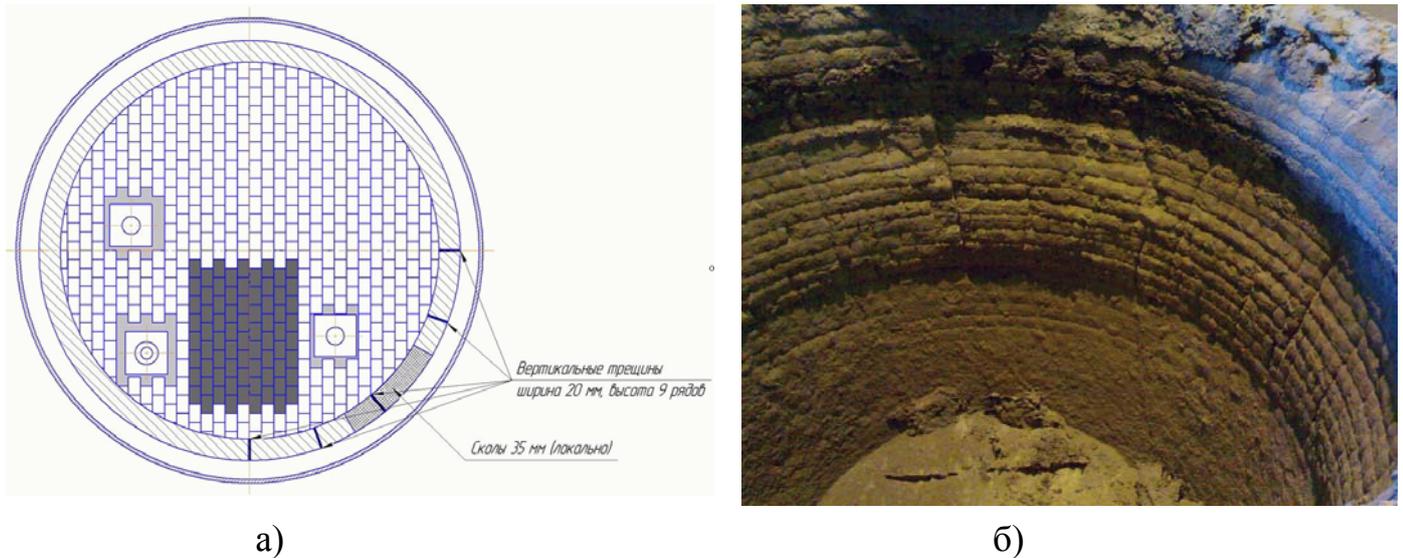


Рисунок 2 – Места образования сколов и вертикальных трещин (а) в футеровке сталеразливочного ковша № 16 (б).

Главная причина окончания кампании сталеразливочных ковшей – износ футеровки шлакового пояса, образование вертикальных трещин шириной до 20 мм и высотой до 9 рядов, сколов в футеровке рабочего слоя. При этом стены и дно сталеразливочных ковшей (огнеупорные изделия КПУ-70 и ПУ-4) показали более высокую стойкость по сравнению со шлаковым поясом (остаточная толщина ≥ 120 мм и 125 мм соответственно).



Рисунок 3 – Вертикальная трещина в шлаковом поясе

По результатам кампании трех футеровок обновленного дизайна 150-т сталеразливочных ковшей средняя стойкость составила 39,3 плавки. По сравнению с

этапом III достигнуто увеличение стойкости на 23,9 %. Оксидоуглеродистые огнеупоры поставки ОАО «БКО» показали стойкость ниже 45 плавов, что не устраивало техническую Дирекцию ОАО «ВТЗ». ОАО «БКО» приняло решение доработать техническое предложение на поставку опытных футеровок с применением в шлаковом поясе и стенах новых видов огнеупорных изделий, а также комплексной поставкой с комплектом футеровки мертеля и ремонтной массы.

V этап. Для увеличения стойкости футеровки 150-т сталеразливочных ковшей специалистами ОАО «БКО» была разработана комбинированная схема футеровки на основе периклазоуглеродистых изделий марки ПУ-6 для кладки шлакового пояса, периклазошпинельноуглеродистых изделий марки ПШУ-50 для кладки зоны стен, корундопериклазоуглеродистых изделий марки КПУ-70 для выполнения футеровки днища ковша.

Периклазоуглеродистые огнеупоры марки ПУ-6 содержат углерод в количестве ~ 15,0 мас.%. В качестве антиокислительной добавки использована смесь $Al_{мет} + Si$, подобранная в том соотношении, чтобы эффективно противостоять газификации углеродистой составляющей при эксплуатации изделий.

Выпуск трех футеровок осуществлялся на совместном производстве в КНР. Производимый спектр оксидоуглеродистых огнеупорных изделий соответствует ТУ 14-194-276-07 «Изделия огнеупорные оксидоуглеродистые для футеровки сталеразливочных ковшей» (с изменениями 1), согласованными с металлургическими предприятиями России.

Таблица 4 – Показатели паспортизации технических свойств оксидоуглеродистых огнеупоров марок ПУ-6, ПШУ-50, КПУ-70 (столбец 2) в соответствии с ТУ 14-194-276-07 с изм. 1 (столбец 1)

Наименование показателей по ТУ 14-194-276-07 с изм. 1	Значение показателей по маркам					
	ПУ-6		ПШУ-50		КПУ-70	
	1	2	1	2	1	2
Массовая доля, %, на прокаленное вещество: MgO, не менее Al ₂ O ₃ , в пределах Al ₂ O ₃ , не менее	90 3 – 6 -	90,5 5,3 -	50 - 20	57,1 - 39,0	5 - 70	8,5 - 71,6
Массовая доля углерода, С, %: в пределах не менее	13 – 16 -	15,4	- 8	- 8,6	- 5	- 7,4
Кажущаяся плотность, г/см ³ , не менее	2,95	2,98	3,00	3,07	3,00	3,00
Открытая пористость, %, не более	6,0	2,3	6,0	4,5	9,0	6,9
Предел прочности при сжатии, Н/мм ² , не менее	35,0	35,5	40,0	53,0	40,0	79,0
Предел прочности при сжатии после коксующего обжига 1000°C, Н/мм ²	-	28,9	-	49,5	-	68,8
Предел прочности при изгибе 1300°C (воздушная среда), Н/мм ²	-	11,8	-	10,9	-	12,6
Термостойкость (режим 1300°C- вода), количество теплосмен	-	10	-	12	-	17

Периклазошпинельноуглеродистые огнеупорные изделия марок ПШУ-50 являются новой разработкой технических специалистов ОАО «БКО» и являются заменой широко используемых корундопериклазоуглеродистых огнеупоров. При изготовлении используются высокочистые материалы: плавленный крупнокристаллический периклаз, алюмомагниева шпинель, плавленный корунд, крупночешуйчатый графит, комбинированная антиокислительная добавка на основе Al_{мет}+Si (дисперсность < 0,063 мм) и комплексное органическое связующее. При подготовке масс полифракционный зерновой состав периклаза и корунда подобран и введен в том количестве, чтобы в процессе эксплуатации частично образовывалась вторичная алюмомагниева шпинель. Таким образом, в периклазошпинельноуглеродистых огнеупорах разработки ОАО «БКО»

сосуществуют первичная (введенная в шихту при производстве) и вторичная (образовавшаяся в процессе эксплуатации огнеупорных изделий) шпинели.

Шпинель упрочняет структуру огнеупоров, обладает высокой устойчивостью к расплавам металлов и шлаков, имеет более низкий температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) $7,6 \cdot 10^{-6}$ 1/К в интервале температур 0-1000°C по сравнению с периклазом ($13,5 \cdot 10^{-6}$ 1/К) и корундом ($8,8 \cdot 10^{-6}$ 1/К) [6], что придаёт повышенную устойчивость изделий к термическим напряжениям, возникающих при приёмке металла после охлаждения футеровки сталеразливочных ковшей для проведения ремонтных работ и межплавочных простоев, снижает вероятность зарождения и распространения трещин, а также скалывания фрагментов футеровки.

Применение в составе огнеупоров марки ПУ-6 высокочистого плавяного крупнокристаллического периклаза, крупночешуйчатого графита в сочетании с комбинированной антиокислительной добавкой на основе алюминия, позволяет повысить стойкость футеровок сталеразливочных ковшей. Использование совместно жидкого и порошкообразного связующего обеспечивает минимизацию потерь прочности огнеупоров при коксовании связующего, имеющего место при разогреве ковша, уменьшив термомеханические напряжения, ведущие к скалыванию. Образующийся при коксовании комплексного связующего углеродистый каркас обладает демпфирующей способностью, что уменьшает напряжения, вызванные термическим расширением зерен в шихте.

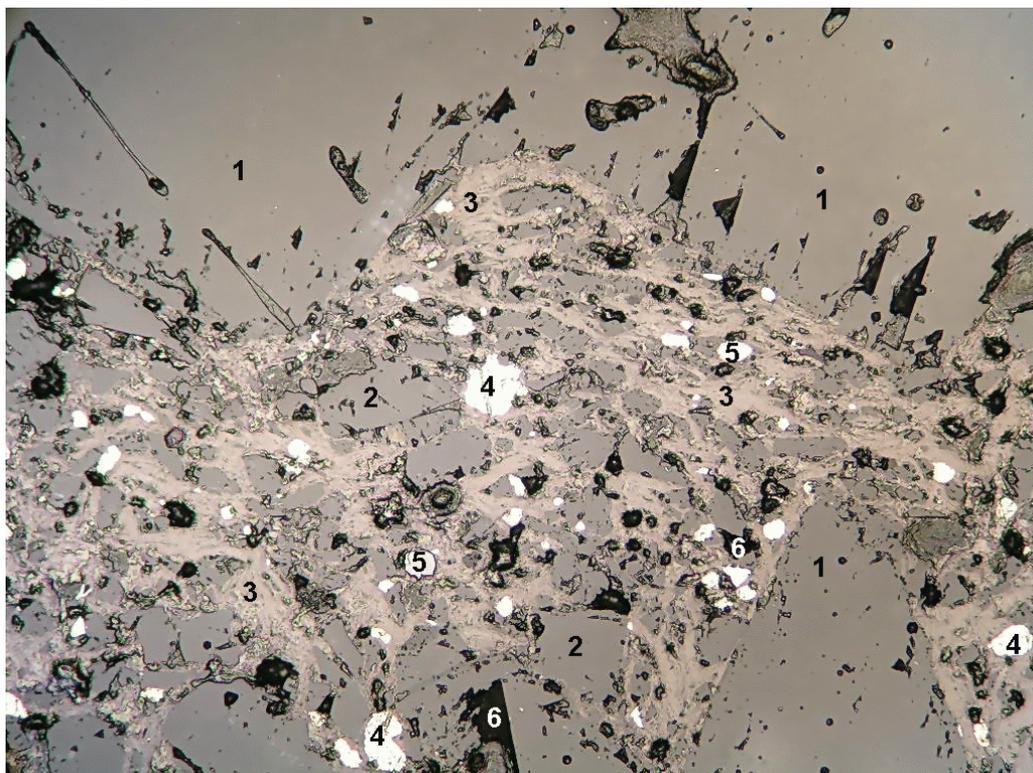


Рисунок 4 – Фрагмент микроструктуры образца ПУ-6, полированный шлиф, отраженный свет, $\times 50$: 1– зерна периклаза, 2 – периклазовые частицы связующей массы, 3 – графит, 4 – частицы алюминия, 5 – частицы кремния, 6 – поры.

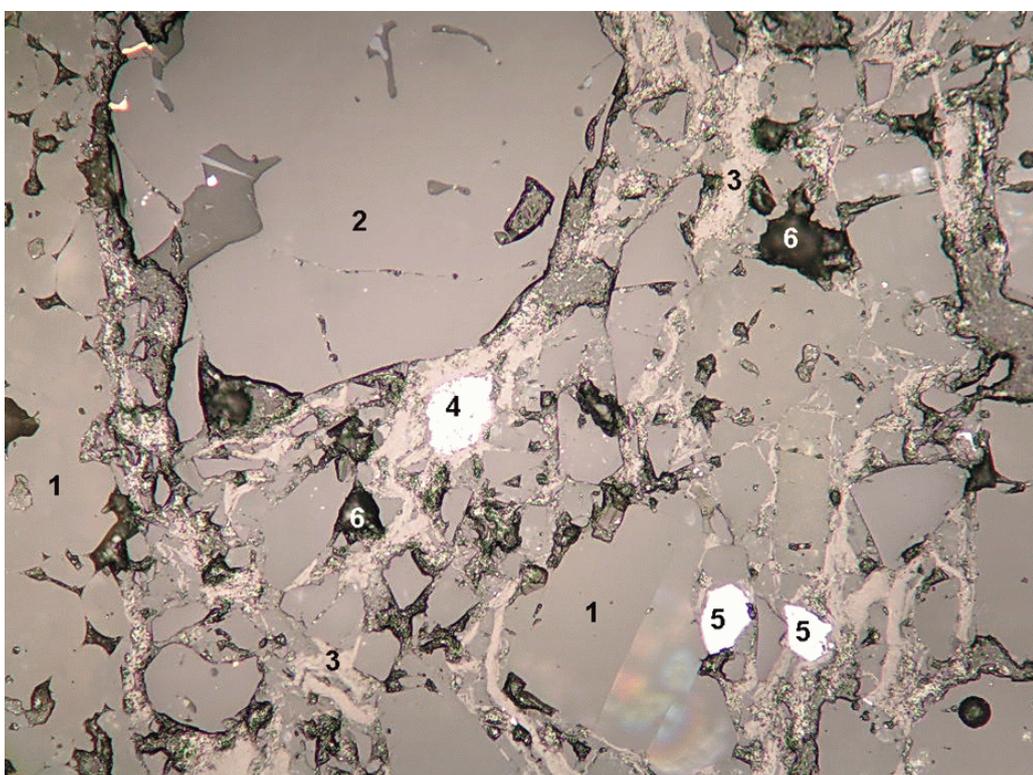


Рисунок 5 – Фрагмент микроструктуры образца ПШУ-50, полированный шлиф, отраженный свет, $\times 100$: 1 – зерна периклаза, 2 – зерна электрокорунда, 3 – графит, 4 – частицы алюминия, 5 – частицы кремния, 6 – поры.

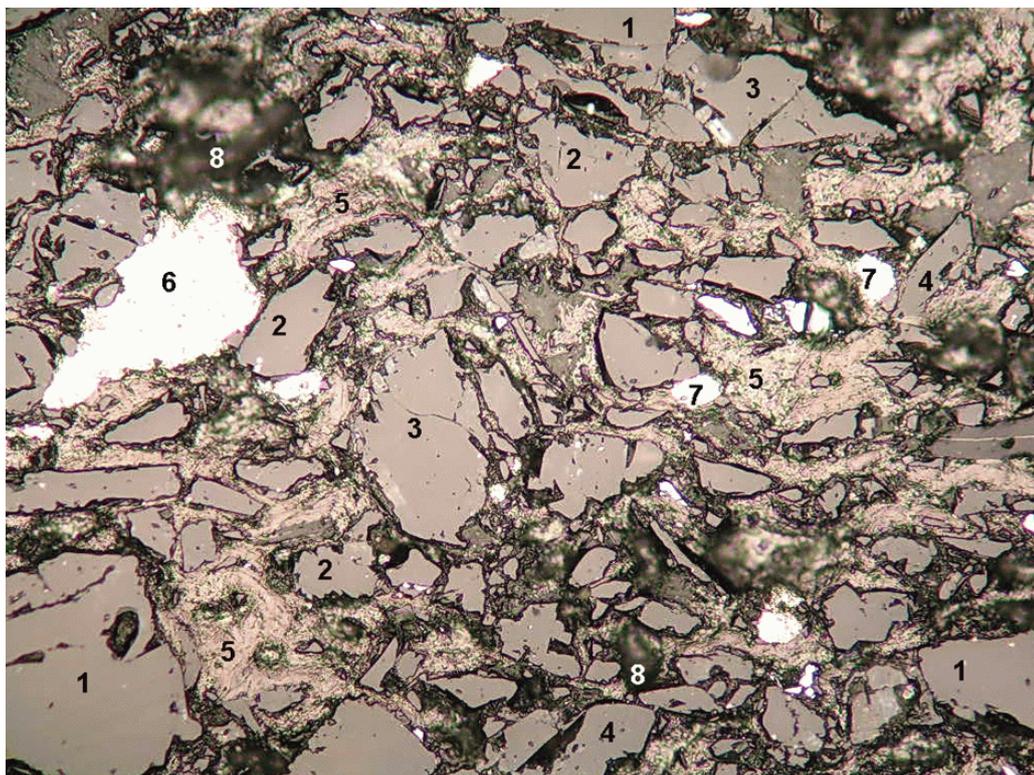


Рисунок 6 – Фрагмент микроструктуры образца КПУ-70, полированный шлиф, отраженный свет, $\times 100$: 1 – зерна боксита, 2 – бокситовые частицы связующей массы, 3 – зерна периклаза, 4 – периклазовые частицы связующей массы, 5 – графит, 6 – частицы алюминия, 7 – частицы кремния, 8 – поры.

Проведенные исследования ЦСТиП ОАО «БКО» подтвердили, что разработанные огнеупоры нового поколения марок ПУ-6 и ПШУ-50 обладают высокими показателями механической прочности, эрозионной и коррозионной стойкости в условиях эксплуатации в высокотемпературных средах различной химической природы (расплавы, шлаки и др.), износоустойчивости, в том числе при гидродинамических воздействиях, термостойкости.

Разработанные изделия ПУ-6 и ПШУ-50 уже зарекомендовали себя в рабочих футеровках шлакового пояса и стен сталеразливочных ковшей на многих металлургических предприятиях России. При этом стойкость ковшевых рабочих футеровок серийных поставок ОАО «БКО» возросла на 10-13 %.

В апреле 2008 г. в ЭСПЦ ОАО «Волжский трубный завод» прошли испытания трех комплектов рабочих футеровок 150-т сталеразливочных ковшей поставки ОАО «БКО», выполненных оксидоуглеродистыми изделиями, согласно обновленного дизайна. Рабочая поверхность (поверхность контакта с расплавом металла и шлака)

поставленных изделий марок ПУ-6, ПШУ-50, КПУ-70 покрыта защитной глазурью с целью снижения выгорания углерода огнеупоров в период разогрева футеровки сталеразливочного ковша.

Для выравнивания неровностей стыковочной поверхности основного и ремонтного комплектов шлакового пояса сталеразливочного ковша при плановой замене шлакового пояса, в комплект поставки включен периклазошпинельный мертель марки МПШ разработки и производства ОАО «БКО». Раствор указанного мертеля наносили на поверхность остаточной футеровки сталеразливочного ковша перед кладкой ремонтного комплекта шлакового пояса изделиями марки ПУ-6.

Таблица 5 – Физико-химические показатели мертеля марки МПШ

Наименование показателей	Значение показателей
Массовая доля на прокаленное вещество, %	
MgO, не менее	80
Al ₂ O ₃ , не менее	1,5
Изменение массы при прокаливании, %, не более	6
Огнеупорность, °С, не ниже	1700
Зерновой состав: при проходе через сетку:	
№ 0063, %, не более	70
остаток на сетке № 05, %, не более	20

Использование мертеля марки МПШ позволило усилить сопряжение (омоноличивание) элементов кирпичной кладки в шлаковом поясе, снизить вероятность проникновения шлака и расплава металла в узлы сопряжения между огнеупорными изделиями, а также снизить вероятность раскрытия швов в процессе эксплуатации футеровки сталеразливочных ковшей.

Локальный ремонт наиболее изношенных зон футеровки сталеразливочных ковшей во время промежуточного ремонта выполнялся с использованием периклазошпинельной ремонтной массы марки ПШРМ.

Таблица 6 – Физико-химические показатели ремонтной массы марки ПШРМ

Наименование показателей	Значение показателей
Массовая доля на прокаленное вещество, % MgO, не менее Al ₂ O ₃ , не менее	83 3
Изменение массы при прокаливании, %, не более	2,0
Насыпная плотность, г/см ³	1,8 – 2,2
Огнеупорность, °С, не ниже	1670
Зерновой состав, %: фракция > 2 мм, не более фракция < 0,5 мм, не более	10 70

Применение ремонтной массы марки ПШРМ путем обмазывания обеспечило восстановление зон локального износа (вертикальные термические трещины) футеровки стен сталеразливочных ковшей, подверженных повышенному износу. К участкам повышенного износа футеровки относятся фурменные сектора стен, где турбулентные потоки жидкого металла во время продувки аргоном особенно агрессивно воздействуют на огнеупорную кладку.



Рисунок 7 – Нанесенная на изношенные участки футеровки масса ПШРМ

Для завершения процессов раскисления металла и доводки плавки по химическому составу использовался вторичный шлак с основностью 2,86.

Таблица 7 – Химический состав вторичного шлака

Компонент	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
мас. %	7,23	20,24	49,8	17,39	0,24	0,92

Стойкость трёх опытных сталеразливочных ковшей, составила 41, 44 и 49 плавов (средняя стойкость 44,7 плавов) с промежуточным ремонтом шлакового пояса (гарантированная стойкость комплектов футеровок поставки ОАО «БКО» - 45 плавов с 1 промежуточным ремонтом шлакового пояса). Перефутеровка шлакового пояса проводилась на 19, 28 и 26 плавках на ковшах со стойкостью 41, 49 и 44 плавки, соответственно.

Следует отметить, что средняя стойкость комплектов огнеупорных футеровок сталеразливочных ковшей серийных поставщиков в условиях ЭСПЦ ОАО «ВТЗ» за 2007 г. составила 42,2 плавки.

Таблица 8 – Показатели службы футеровок

№ ст.к	Стойкость, наливов			Время внепечной обработки		Время разливки		Время нахождения металла в ковше		Вакуумирование					
										до замены шл. п.		после замены шл. п.		всего	
	общая	шл.п (осн.)	шл.п. (рем.)	всего, час-мин.	за пл., мин.	всего, час-мин.	за плавку, мин.	всего, час-мин.	за пл., мин.	пл., шт.	%	пл., шт.	%	пл., шт.	%
19	41	19	22	78-21	114,7	66-04	96,7	223-50	327	10	53	6	27,3	16	39
22	49	28	21	94-25	115,6	80-15	98,3	242-40	297	12	42,9	10	47,6	22	44,9
26	44	26	18	78-35	107,2	70-30	96,1	214-57	293	8	30,8	5	27,8	13	29,5
В среднем	44,7	24,3	20,3	83-47	112,5	72-16	97	227-09	305,7	10	41,1	7	34,4	17	38,1

Таблица 9 – Показатели минимальной остаточной толщины и максимальной скорости износа (v) опытных огнеупоров в различных зонах футеровки

№ ст.к.	Стойкость, плавки	Шлаковый пояс				Переходная зона		Зона металла	
		основной		ремонтный		Min толщина, мм	v износа, мм/плавку	Min толщина, мм	v износа, мм/плавку
		Min толщина, мм	v износа, мм/плавку	Min толщина, мм	v износа, мм/плавку				
19	41	70	8,4	80	4,5	150	1,2	115	1,5
22	49	50	6,4	50	6,1	80	2,4	80	2,0
26	44	80	5,8	90	4,9	100	2,3	100	1,8

Необходимо отметить, что две из трех опытных футеровок (сталеразливочный ковш №19 – 41 плавка и №26 – 44 плавки) были выведены из эксплуатации превентивно по причине износа продувочных узлов. Как показала топография износа, обе футеровки не полностью выработали свой ресурс, а имели эксплуатационный запас в 4 – 5 плавов, т.е. могли обеспечить, как минимум,

гарантированную стойкость в 45 плавов. Причина окончания кампании сталеразливочного ковша №22 – выработка ресурса эксплуатации шлакового пояса.

Износ футеровок сталеразливочных ковшей имел схожий характер. Максимальный износ шлакового пояса наблюдался в районе левой и правой продувочных фурм: 24-29 рядов в районе границе контакта «металл-шлак» до средней остаточной толщины 60-70 мм. Остаточная толщина футеровка в зоне металла составила 90-120 мм, бойного места днища не менее 75 мм, периферии днища не менее 130 мм.

Использование изделий марок ПУ-6 в шлаковом поясе и ПШУ-50 в стенах позволило снизить интенсивность образования трещин и исключить скалывание рабочей футеровки. Разработанные изделия показали высокую эффективность своего применения в рабочей футеровке по сравнению с огнеупорами марок ПУ-1 и КПУ-70 соответственно.

Техническими специалистами ЭСПЦ ОАО «Волжский трубный завод» отмечено высокое качество и показатели физико-технических характеристик огнеупорных изделий, ремонтной массы и мертеля, эксплуатационный ресурс остаточной толщины рабочей футеровки после окончания кампании ковшей.

Таблица 10 – Условия эксплуатации сталеразливочных ковшей № 19, 22, 26

Диапазон параметров	№ сталеразливочного ковша		
	19	22	26
Стойкость, плавки	41	49	44
Число / % плавов, обработанных на установке вакуумной дегазации:			
- до промежуточного ремонта	10/52,6	12/42,9	8/30,8
- после промежуточного ремонта	6/27,3	10/47,6	5/27,8
Общее время пребывания жидкого металла в ковше (в среднем за плавку), ч-мин	5-27	4-57	4-53
Среднее время оборота ковша, плавов/сутки	3,03	2,88	2,67
Межплавочный простой, ч-мин: - средний	2-50	3-40	4-18
- максимальный	6-29	18-31	16-40
Температура металла на выпуске из ДСП-150, °С:			
- средняя	1646	1669	1669
- максимальная	1702	1710	1720
Средняя температура металла при обработке на установке вакуумной дегазации стали, °С	1592	1596	1595
Длительность вакуумирования (в среднем за плавку), мин.	50,1	49,3	46,7

Средняя длительность разливки, ч-мин.	96,7	98,3	96,1
Средняя толщина слоя шлака в ковше, мм	100-150	100-150	100-150
Масса разлитого металла из ковша, т (в среднем за плавку)	151,4	151,4	151,4

Анализ результатов эксплуатации трех футеровок обновленного дизайна 150-т сталеразливочных ковшей на этапе V свидетельствует об увеличении средней стойкости ковшей с 39,3 до 44,7 плавов (на 13,7 %) по сравнению с этапом IV. Повышение стойкости футеровок обусловлено комплексом проведенных технических мероприятий, включающих совершенствование дизайна кладки по зонам футеровки; использования разработанных огнеупорных изделий марок ПУ-6 и ПШУ-50, обладающих повышенными эксплуатационными характеристиками; применения защитного покрытия на рабочей поверхности изделий; комплексной поставки с футеровкой мертеля и ремонтной массы.

В условиях работы ЭСПЦ ОАО «Волжский трубный завод» проанализирована эволюция дизайна и стойкости оксидоуглеродистых футеровок производства и поставок ОАО «БКО» для 150-т сталеразливочных ковшей в период 2004-2008 г.г. Прослежена направленность изменения и оптимизирования толщины огнеупорной футеровки по зонам с внедрением комбинированной кладки и использованием более стойких изделий в целях достижения равномерного износа рабочих футеровок и непрерывного повышения ресурса эксплуатации сталеразливочных ковшей.

Совершенствование дизайна огнеупорных футеровок производства и поставок ОАО «БКО» проходило в 5 этапов, начиная от поставок комплектов оксидоуглеродистых огнеупоров собственного производства в 2004-2006 г.г. и комплектных поставок футеровок с совместного производства в КНР с 2006 г. по настоящее время. За обозначенный период достигнуто общее повышение стойкости огнеупорных футеровок 150-т сталеразливочных ковшей в среднем с 26 плавов (этап I) до 45 плавов на 71,9 % (этап V).

Таблица 11 – Характеристика этапов эволюции

Параметры	Этап эволюции дизайна и стойкости футеровки				
	I	II	III	IV	V
Период эксплуатации (месяц, год)	2004	2005	10-11. 2006	06- 07.2007	04.2008
Дизайн кладки: (марка изделий, толщина, мм) - днище, бойное место/периферия	ПУ-4, 300/250	КПУ-70, 300/ПУ-4, 250	КПУ-70, 300/ПУ-4, 250	КПУ-70, 300/ПУ-4, 250	КПУ-70, 300/250
- стены	ПУ-3, 178	КПУ-70, 178	КПУ-70, 178	КПУ-70, 178	ПШУ-50, 178
- шлаковый пояс (ремонтный комплект)	ПУ-1, 200 (150)	ПУ-1, 200 (178)	ПУ-1, 200 (150)	ПУ-1, 230 (178)	ПУ-6, 230 (178)
Особенности	-	-	Ш.п. произ-во КНР	ПУ-1 и КПУ-70 произ-во КНР	Произ-во КНР, в комплекте мертель и рем. масса
Средняя стойкость, плавки	26	30,5	31,7	39,3	44,7
Увеличение стойкости к предыдущему этапу, %	-	17,3	3,9	23,9	13,7
Изменение удельного расхода огнеупоров к предыдущему этапу, %	-	↓ на 9,3	↑ на 2,8	↓ на 15,8	↓ на 9,3

Выводы

Проведенный анализ эксплуатации рабочих футеровок 150-т сталеразливочных ковшей свидетельствует, что за счёт совершенствования дизайна кладки, оптимизации состава и повышения физико-химических свойств применяемых огнеупоров возможно увеличение ресурса эксплуатации ковшей до уровня 45 плавов при сохранении условий эксплуатации ковшей и снижение фактического удельного расхода огнеупоров на тонну выплавленной стали.

Проведенные исследования свидетельствуют о необходимости непрерывного совершенствования параметров изготовления оксидоуглеродистых огнеупоров для увеличения их физико-технических свойств, оптимизации дизайна и конструкции футеровок, что в совокупности приведёт к увеличению производительности сталеплавильного производства ОАО «ВТЗ» за счет продления сроков и ресурсов

безаварийной эксплуатации металлургических агрегатов при общем повышении стойкости огнеупорных рабочих футеровок.

На основании опыта работы ОАО «БКО» в условиях ЭСПЦ ОАО «ВТЗ» выделим основные направления деятельности ОАО «БКО» на рынке оксидоуглеродистых огнеупоров:

1. Специалистами ОАО «БКО» в условиях Центра совершенствования технологии и производства (ЦСТиП) и ООО «ТД БКО» разработаны и постоянно совершенствуются оксидоуглеродистые огнеупоры, предназначенные для футеровки сталеразливочных ковшей, а также конвертеров, печей-ковшей для внепечной обработки стали и других агрегатов сталеплавильного производства;

2. Применение высококачественных сырьевых компонентов, оптимизация фазового и зернового составов в сочетании с дифференцированной кладкой позволяют увеличить стойкость рабочей футеровки при одновременном снижении затрат на уход за футеровкой, что является одним из совместных направлений ОАО «БКО» и потребителями нашей огнеупорной продукции;

3. Компетентность сотрудников службы инжиниринга ОАО «БКО» и маркетинга ООО «ТД БКО» при обслуживании потребителей, комплексная поставка огнеупорных изделий для кладки разнообразных металлургических агрегатов Заказчика, полный контроль качества и службы отгруженной продукции позволяют находить оптимальные решения для обеспечения максимального ресурса эксплуатации огнеупорных футеровок в условиях высокой конкуренции на рынке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мигаль В.П. Разработка современных высокоэффективных огнеупорных материалов // Новые огнеупоры. – 2007. – № 6. – С. 9–25.
- 2 Маргишвили А.П. Научно-исследовательское подразделение ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров» // Новые огнеупоры. – 2007. – № 6. – С. 28–33.
- 3 Rymon-Lipinsky T. Oxidation shemmende wirkung von metalluzaetzen in feuerfesten kohlenstoffhaltigen werkstoffen // Stahl und Eisen. – 1988. – Bd. 108, № 25, 26. – S. 1264-1267.
- 4 Rymon-Lipinsky T. Weitere untersuchungen ueber den einsatz von metalpulvern lohlenstoffhaltigen feuerfesten werkstoffen // Stahl und Eisen. – 1989. – Bd. 109, № 17. – S. 788-790.
- 5 Yamaguchi A. The development of the self – repairing refractories // World refractory congress – 2004 , Singapore, June 27 – June 29 2004. – 2004. – P. 1 – 5.
- 6 Кащеев И.Д. Оксидноуглеродистые огнеупоры. – М.: «Интермет Инжиниринг», 2000. – С. 215.