

5. В.С Мулярчик, Д.Ю.Снежков, С.Н.Леонович. Оценка прочностных характеристик монолитного бетона комплексом средств неразрушающего контроля // Сборник докладов международной научно-практической конференции «Реконструкция – Санкт-Петербург – 2005». Часть 1.- С.145-149.
6. К выбору критериев адекватности неразрушающих методов определения физико-механических свойств бетонов / Колохов В.В., Кожанов Ю.А., Петров С.С. и др.// Сб. научн. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение, Вып.№25 Дн-ск.: ПГАСА,2003.-С89-91.
7. Некоторые аспекты применения неразрушающих методов определения прочностных свойств бетонов./ Колохов В.В., Кузьмина Т.Д., Семиков С.В.
8. И.Н.Ахвердов. Теоретические основы бетоноведения: Учеб. пособие. Мн.: Выш. шк.1991.-188с.: ил.
9. Л.Н.Фомица, Р.А.Сумбатов. Измерение напряжений в железобетонных конструкциях К.: Будівельник, 1994.-168с.: ил
10. Джонс Р., Фэксору. И. Неразрушающие методы испытаний бетонов Пер. с румынск.- М.: Стройиздат, 1974.- 292с.
11. Проектирование железобетонных конструкций: Справ. пособие/ А.Б.Гольшев, В.Я.Бачинский, В.П.Полищук, А.В.Харченко, И.В.Руденко; Под редакцией А.В.Гольшева.- 2-е изд., перераб. и доп.- К.: Будивельник, 1990.- 544с.: ил.- (Б-ка проектировщика)
12. Повышение прочности и выносливости бетона. Грушко И.М., Ильин А.Г., Чихладзе Э.Д.- Х. Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986.-152с
13. Гвоздев А.А. Структура бетона и некоторые особенности его механических свойств // Прочность, структурные изменения и деформации бетона// НИИЖБ.- М.: Стройиздат, 1978.- С.5-21
14. Саммал О.Ю. Напряжения в бетоне и прогнозирование технических ресурсов в бетонных и железобетонных конструкциях и сооружениях. - Таллин: Валгус, 1980.- 202 с.
15. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. Термодинамика силикатов/Под ред. О.П. Мчедлова-Петросяна.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Стройиздат,1986.- 408с., ил.
16. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов: Пер. с англ. - М.: Изд. иностр. лит, 1960.-127с.
17. Ребиндер П.А. Структура дисперсная. - Физический энциклопедический словарь, т.5. М.: Сов. Энциклопедия, 1966, с.95.
18. Ребиндер П.А., Сегалова Е.Е. Исследование упругопластичновязких свойств структурированных дисперсных систем. – ДАН, 1950, т.21,№1, с. 85-88.
19. Дибров Г.Д. Молекулярно-поверхностные явления в дисперсных структурах, деформируемых в активных средах. Дис. ...д-ра техн. наук. Киев. 1970. 478 с.

УДК 666.974.2

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЖАРСТОЙКИХ БЕТОНОВ И ОГНЕУПОРНЫХ СМЕСЕЙ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ И КОНСТРУКЦИЯХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.Ю. Коноплиник, к.т.н., доц.

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Днепрпетровск*

Широкое применение и развитие получили составы жаростойких бетонов и огнеупорных смесей в системе сталеплавильного производства, непосредственно при разливке различных марок стали в тепловые агрегаты и конструкции. При этом был обобщен и развит положительный опыт подбора и применения различных составов, накопленный в Лаборатории жаростойких бетонов кафедры. Труды сотрудников лаборатории Прядко В.М., Магалы В.С., Бородина А.А., Завадского М.Я., Щербатюка В.Н., Крыжановского И.Г., Алмазова В.П. и др. по подбору и применению составов бетонов и огнеупорных смесей в сталеплавильном и прокатном производствах заложили основу их дальнейшего развития.

В сталеплавильном производстве одним из наиболее трудоемких и важных участков, связанным с футеровкой и ремонтом тепловых агрегатов и конструкций является участок разливки стали по системе: сталевыпускной желоб - сталеразливочный ковш – изложница. Высокие температуры разливки металла – 1560 – 1620 °С и различные марки стали и шлака обуславливают ускоренный износ футеровки и, как следствие, невысокий срок ее эксплуатации.

Из жаростойких бетонов изготавливают монолитную футеровку прибыльных надставок, сталеразливочных ковшей и сталевыпускных желобов. Защитные покрытия из огнеупорных смесей наносят на поверхность футеровки прибыльных надставок и сталевыпускных желобов для повышения срока ее службы.

Применение и функциональные особенности каждой футеровки и защитного покрытия определяются исходя из условий службы теплового агрегата и конструкции: температуры, агрессивного воздействия расплавленного металла и шлака и длительности их воздействия, а также многими другими факторами. Поэтому, правильный подбор материалов и составов на их основе для футеровок и защитных покрытий обеспечит повышение срока службы теплового агрегата, и наоборот, использование некачественных материалов или неоптимальных составов приводит к резкому снижению срока его службы.

Прибыльные надставки устанавливаются наверх изложницы и служат для сохранения металла в жидком состоянии и передачи теплового потока в нижнюю часть слитка с целью недопущения возникновения в теле слитка усадочных пустот и других дефектов. Поэтому эффективная теплоизоляция металла в прибыльной надставке может быть достигнута при помощи изготовления различных видов футеровок.

Положительный опыт применения в футеровках прибыльных надставок монолитного жаростойкого бетона вместо шамотного кирпича позволил снизить затраты ручного труда на изготовление футеровки, повысить ее стойкость и снизить отходы металла с головной обрезью [1-3]. При этом составы жаростойких бетонов, конструктивные решения футеровок и технология их изготовления были разработаны для сравнительно небольших (массой 7-8,5 тонн) слитков при конфигурации внутренней полости прибыльной надставки в плане, близкой к квадрату и разливке стали в основном сифонным способом.

Производственный опыт изготовления и эксплуатации двухслойной футеровки прибыльных надставок для слитков массой более 12 тонн и особенно крупных листовых слитков [4] показал, что такие надставки имеют принципиальные различия от надставок малой массы, а именно: с увеличением массы слитка увеличиваются размеры внутренней полости надставки, а следовательно масса металла и время его кристаллизации, что приводит к более продолжительному периоду воздействия расплавленного металла и шлака на футеровку и обуславливает ее интенсивный износ. Конструктивные решения корпуса надставки, ввиду увеличения длины футеровки, не обеспечивают устойчивость тонкостенных слоев футеровки, что в условиях одностороннего действия температуры и возникающих при этом усилий приводит к выгибу слоев внутрь надставки. Увеличение массы корпусов надставок и бетона приводит к снижению мощности установки для изготовления футеровки, что не позволяет получить необходимую для эффективного уплотнения бетонной смеси возмущающую силу.

Учитывая вышесказанное, была поставлена задача разработки исследования и внедрения оптимальных составов жаростойких бетонов и защитных покрытий повышенной шлакоустойчивости, рациональной конструкции корпуса прибыльной надставки и футеровки, установки для изготовления футеровки, а также технологических приемов, позволяющих решать вопросы изготовления футеровки, повышения ее долговечности и улучшения качества металла.

Реализация результатов исследования была осуществлена на Мариупольском металлургическом комбинате им. Ильича и Криворожском металлургическом комбинате Криворожсталь путем разработки составов жаростойких бетонов повышенной шлакоустойчивости, конструктивных решений и технологических приемов изготовления футеровки прибыльных надставок для слитков массой 12,5-24 тонны.

На основании предложенного механизма взаимодействия расплавленного шлака с бетоном футеровки, критерием которого служит коэффициент шлакопереноса, разработаны оптимальные составы жаростойких бетонов, включающие шамотный наполнитель, тонкомолотую добавку из шамотного мертеля МШ-39, дистенсиллиманитового концентрата и катализатора ИМ-2201, связующее – жидкое стекло и отвердитель-феррохромовый шлак. Составы жаростойких бетонов повышенной шлакоустойчивости, рекомендуемые для изготовления футеровки прибыльных надставок приведены в табл. 1

Составы жаростойких бетонов повышенной шлакоустойчивости

Наименование компонентов	Номер состава / содержание, мас%		
	1	2	3
Шамот фракции 5-10мм	34,9	36,9	34,6
Шамот фракции 0,14-5мм	26,3	23,8	26,1
Мергель МШ-39	21,8	-	-
Дистенсиллиманитовый концентрат	-	19,5	-
Катализатор ИМ-2201	-	-	21,5
Феррохромовый шлак	1,7	1,7	1,8
Жидкое стекло	15,3	18,2	16,0

Учитывая температурный и шлаковый режим работы футеровки из жаростойкого бетона [5], когда температура на поверхности футеровки надставки составляет 1400⁰С, а также две концепции проникновения шлака в футеровку – под действием гравитационных и капиллярных сил [6] испытания на шлакоустойчивость проводили в два этапа.

На первом этапе использовали тигельный метод. Для этого изготавливали образцы размером 50x50x50мм с углублением (лункой) диаметром 20мм и высотой 11мм, которые выдерживали в течение суток в воздушно-сухих условиях при нормальной температуре и сушили при температуре 110⁰С до постоянного веса.

В лунку каждого бетонного образца помещали измельченный синтетический шлак, применяемый при разливке стали в слитки и содержащий: 21,0% CaO, 38,8% SiO₂, 4,41% Al₂O₃, 1,46% Fe₂O₃, 3,95% FeO, 15,76% MnO, 6,58% Al_{мер}, 4,03% CaF₂, 1,28% Na₂O, 0,55% S и 0,103% P. Тонкость помола шлака соответствовала полному проходу через сито 900 отв/см². Масса навески шлака составляла 3,5г, что при принятых размерах углубления примерно соответствовало количеству шлака, воздействующего на единицу рабочей площади поверхности футеровки прибыльных надставок.

Испытания проводили в криптоловой печи. Образцы нагревали до температуры 1400⁰С, выдерживали при этой температуре 20мин, затем равномерно снижали температуру до 1300⁰С в течение 60мин и охлаждали до нормальной температуры вместе с печью.

Охлажденные образцы распиливали по центру углубления и измеряли площадь шлакопропитки.

На втором этапе измельченный шлак в количестве 37г загружался в чугунный тигель. Образец диаметром 36мм и высотой 50мм фиксировался в тигле при помощи держателя из платинородиевой проволоки. Рядом устанавливали образцы-близнецы таким образом, чтобы не было их контакта со шлаком. Образцы нагревали до температуры 1400⁰С с последующей выдержкой при этой температуре - 5, 20 и 40 минут. Затем после снижения температуры до 1300⁰С образцы поднимали над шлаком и охлаждали вместе с печью.

Измеряли вес образцов пропитанных шлаком и образцов- близнецов. В соответствии с изменением веса образцов по разработанной модели определяют коэффициент шлакопереноса для каждого состава.

Результаты определения шлакоустойчивости жаростойких бетонов в лабораторных условиях показали, что площадь их шлакопропитки составляет $87,5 - 135,0 \text{ мм}^2$. При этом значения коэффициента шлакопереноса находится в пределах $0,003 - 0,00355 \text{ см}^2/\text{мин}$.

Исследования огнеупорности смесей жаростойких бетонов со шлаком показали, что проникновение шлака в бетон футеровки сопровождается снижением огнеупорности последнего с образованием более легкоплавких новообразований в поверхностном слое. При этом огнеупорность бетонов составляет $1540 - 1630^\circ\text{C}$.

Петрографическим и рентгенофазовым анализом установлено, что высокие показатели шлакоустойчивости составов бетонов достигаются за счет интенсивной муллитизации связующей массы.

Исследование основных физико-механических характеристик составов жаростойких бетонов составов 1-3 показало, что все эти составы могут быть использованы для изготовления рабочего слоя футеровки прибыльных надставок.

Разработана конструкция прибыльной надставки с двухслойной футеровкой из монолитного жаростойкого бетона (рис.1), предотвращающая выгиб рабочего слоя футеровки и трещинообразование в полке корпуса надставки [7]. При этом установлены оптимальные конструктивно-технологические параметры надставки: поверхность нижней полки надставки выполнена вогнутой, поверхность контакта постоянного и рабочего слоев пересекается с вогнутой поверхностью по линии ее максимальной глубины, которая составляет $0,3 - 0,5$ толщины рабочего слоя футеровки в нижней его части.

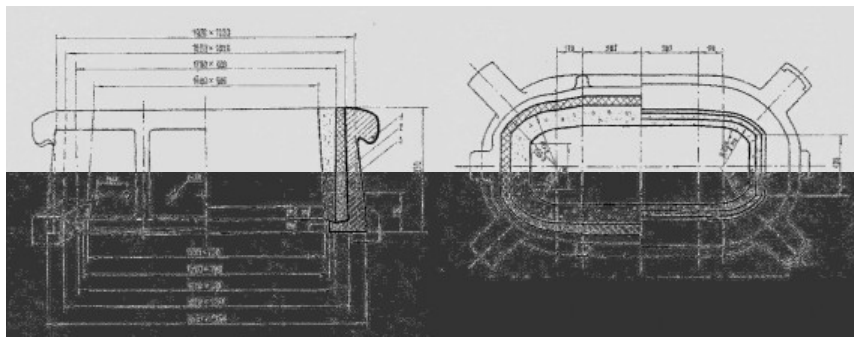


Рис. 1 Установка для изготовления монолитной футеровки прибыльных надставок из жаростойкого бетона для слитков массой 24 тонны
1 – корпус надставки; 2 – постоянный слой футеровки; 3 – рабочий слой.

Для изготовления футеровки прибыльных надставок массой 3-3,5 тонны была разработана установка, в основу работы которой положен принцип самосинхронизации динамических систем [8]. В соответствии с этим принципом самосинхронизация работы установки достигается путем установки на опорную плиту двух одинаковых дебалансных вибраторов с возмущающей силой по 2тс каждый. Устойчивый синхронный режим работы установки позволяет получить результирующую возмущающую силу 4тс и обеспечить эффективное уплотнение бетонной смеси. Установка для изготовления футеровки прибыльных надставок приведена на рис.2.

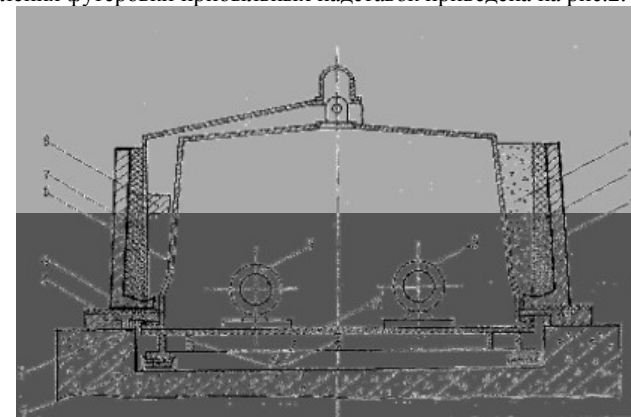


Рис.2. Установка для механизированного изготовления двухслойной футеровки прибыльных надставок:

- 1 – комбинированные прокладки из губчатой и жесткой резины толщиной 40мм;
- 2 – кольцо-прокладка из резины средней жесткости толщиной 15мм;
- 3 – прокладка из резины средней жесткости толщиной 15мм;
- 4 – металлическое кольцо;
- 5 – вибраторы ИВ-107;
- 6 – вибросердечник для изготовления рабочего слоя футеровки;
- 7 – съемный сердечник для изготовления постоянного слоя футеровки;
- 8 – упоры;
- 9 – рабочий слой футеровки;
- 10 – постоянный слой футеровки;
- 11 – корпус прибыльной надставки;
- 12 – опорная плита;
- 13 – ребра жесткости.

Для изготовления каждого из слоев футеровки корпус прибыльной надставки устанавливают на установку. В зазор между вибросердечником и соответствующим слоем подают бетонную смесь, включив предварительно вибраторы. Вибрирование осуществляют в течение 4-6 минут до полного уплотнения смеси. После уплотнения бетонной смеси и ее выдержки в течение 10-20 мин надставку подают на сушку. Сушку каждого из слоев осуществляют на газовых горелках, устанавливая одновременно две надставки друг на друга над каждой горелкой (рис.3).



Рис.3. Сушка футеровки прибыльных надставок

На основании разработанных решений по составам жаростойких бетонов, конструкции надставок, установки и технологии изготовления монолитной футеровки на Мариупольском металлургическом комбинате им. Ильича и Криворожском металлургическом комбинате Криворожсталь были введены в эксплуатацию промышленно-технологические линии для механизированного изготовления монолитной футеровки прибыльных надставок. В состав этих линий вошли бункера для хранения и дозировки сыпучих материалов, баки для воды и жидкого стекла, бетоносмеситель принудительного перемешивания, бетоноукладчик на рельсовом ходу, установки для изготовления футеровки, устройство для удаления изношенной футеровки и посты сушки футеровки.

Применение для футеровки прибыльных надставок жаростойких бетонов повышенной шлакоустойчивости взамен футеровки из шамотного кирпича позволило механизировать процесс изготовления футеровки и повысить ее стойкость до 20 наливов при стойкости футеровки из шамотного кирпича равной 15 наливов.

Качество разливаемого металла изучали по серным отпечаткам, снятым с продольных и поперечных темплетов, а химическую неоднородность металла металла – путем отбора стружки с продольных темплетов.

Лучшая теплоизолирующая способность футеровки из жаростойкого бетона позволяет улучшить качество разливаемого металла и снизить отходы металла с головной обрезью на 0,8 – 1,0 % [9,10].

Фактический годовой экономический эффект, полученный на Криворожском металлургическом комбинате Криворожсталь в 1990 году в результате внедрения промышленной технологической линии составил 75,1 тыс. руб. в ценах 1989 года.

Для дальнейшего повышения стойкости футеровки прибыльных надставок наиболее приемлемым с экономической и технологической точек зрения является создание защитных покрытий повышенной

шлакоустойчивости. Такие покрытия должны одновременно обладать высокой адгезионной способностью и шлакоустойчивостью за счет применения в них компонентов, которые по своему фракционному и химическому составу обеспечивают равномерную структуру и создание новых минеральных фаз, устойчивых к действию шлака.

Проведенными в лабораторных и производственных условиях исследованиями установлено, что лучшими защитными свойствами обладают покрытия из огнеупорных смесей на основе композиций: магнезит – огнеупорная глина и магнезит – пылевидный отход производства кремнийсодержащих ферросплавов со связующими из сернокислого магния и лигносульфоната технического[11].

Шлакоустойчивость составов защитных покрытий определяли тигельным методом по методике первого этапа испытаний жаростойких бетонов для прибыльных надставок.

Испытания показали, что площадь шлакопропитки разработанных составов составляет 34,2 – 293,9 мм², что значительно меньше площади – 707,5 мм² применяемого на комбинате им.Ильича покрытия на основе шамотного мергеля МШ-28 и лигносульфоната технического.

Петрографическим и рентгеноструктурным анализами установлено, что высокие показатели шлакоустойчивости этих композиций достигаются за счет насыщения периклаза окислами с образованием восновном шпинелида сложного состава, который вытесняется на границы зерен периклаза, образуя сплошные каемки вокруг их шлакоустойчивых, но не термостойких, зерен (рис.4).

В дальнейшем совершенствовали составы данных защитных покрытий путем подбора оптимального соотношения компонентов смеси и использования комплексного связующего[12,13]. Подбор оптимальных составов позволил повысить адгезию покрытий к футеровке, улучшить их шлакоустойчивость и технологичность при нанесении.

Опытно-промышленные испытания составов защитных покрытий повышенной шлакоустойчивости на Мариупольском металлургическом комбинате им. Ильича показали, что стойкость монолитной футеровки прибыльных надставок увеличивается до 22-26 наливов по сравнению со стойкостью футеровки в 20 наливов при применении покрытия, используемого на комбинате.

Сталеразливочные ковши служат для перелива металла из сталеплавильного агрегата в изложницы и работают при температурах до 1610⁰С при времени разливки стали от 20 до 120 минут. Учитывая большие габариты ковшей, футеровка по высоте эксплуатируется не в одинаковых технологических условиях. Наиболее длительное время в контакте с расплавленным металлом находится футеровка дна и нижней трети ковша, а футеровка верхней части ковша контактирует с металлом меньшее время, но подвергается агрессивному воздействию расплавленного шлака.

Условия работы футеровки сталеразливочных ковшей выдвигают на первый план вопросы конструктивного решения футеровок и подбора составов для их изготовления.

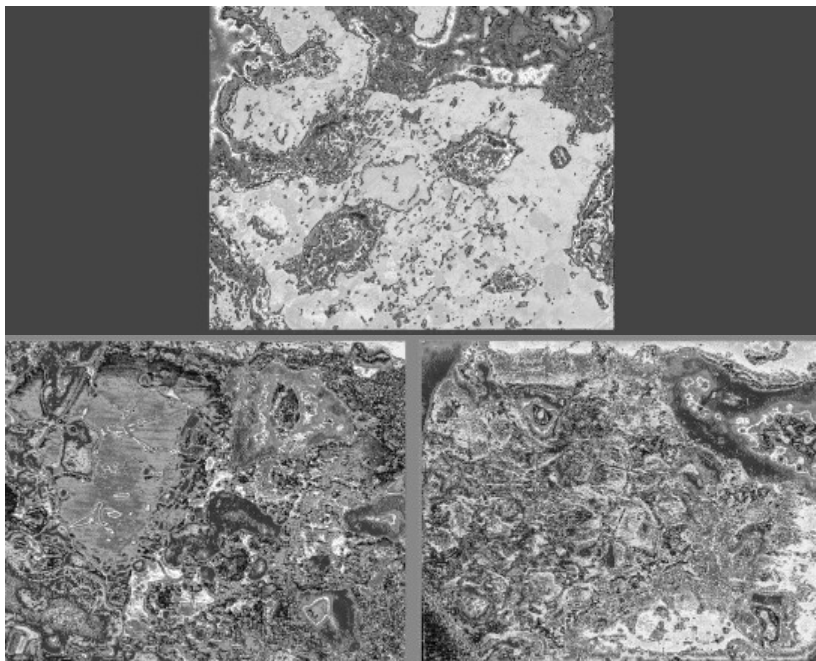


Рис.4. Микроструктура реакционных зон образцов после воздействия шлака: а-б – составы на основе композиций магнезит – пылевидный отход производства кремнийсодержащих ферросплавов со связующими из лигносульфоната технического и сернокислого магнезия, в-г – составы на основе композиций магнезит – огнеупорная глина со связующими из лигносульфоната технического и сернокислого магнезия; 1-периклаз; 2- форстерит; 3-шпинелид сложного состава; 4- мелилиты; 5- магнезиальная шпинель; 6-монтичеллит; черное-поры. $\times 80$. Свет отраженный.

Часто, учитывая условия службы футеровки и ее неравномерный износ по высоте, приходится выполнять футеровку комбинированной, используя для этого в одном ковше 2-3 различных типа огнеупоров и несколько конструктивных решений. Поэтому, вопросы взаимосвязанного решения подбора материалов для изготовления футеровки и ее устройства имеют весьма важное значение.

Наиболее прогрессивной технологией футеровочных работ является изготовление набивной или наливной монолитной футеровки ковшей, позволяющей механизировать процесс ее изготовления и получения футеровки необходимой конфигурации.

Среди многообразия применяемых для изготовления футеровки сталеразливочных ковшей материалов заслуживает внимание применение за рубежом углеродсодержащих материалов, когда введение в состав бетона футеровки пека, углерода, сажи, органических связующих, смолы и др. способствует улучшению его шлакоустойчивости, которое достигается за счет образования новых минеральных фаз материала.

Разработка составов жаростойких бетонов повышенной шлакоустойчивости производилась применительно к условиям эксплуатации футеровки 160-т сталеразливочных ковшей на Мариупольском металлургическом комбинате им. Ильича. Общий вид 160-т ковша с футеровкой приведен на рис.5.

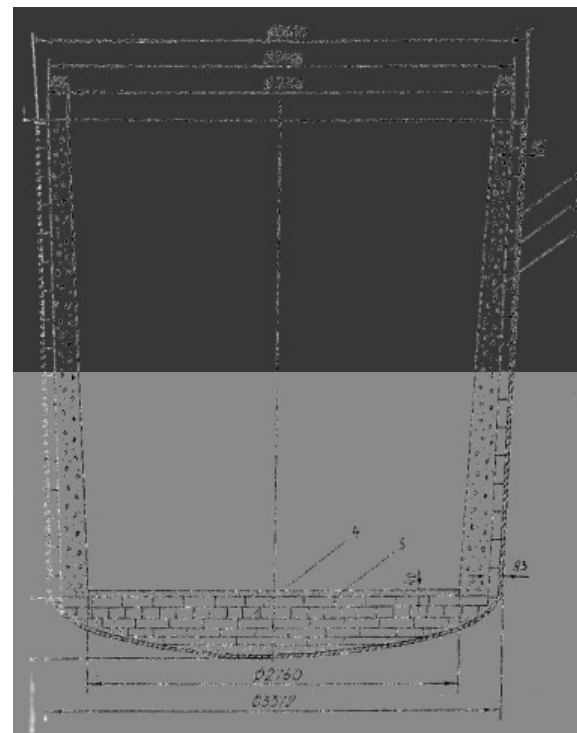


Рис.5. Конструкция 160-т сталеразливочного ковша: 1 – металлический корпус; 2- постоянный слой футеровки; 3- рабочий слой футеровки; 4 – футеровка дна; 5- защитный слой из жаростойкого бетона.

Футеровку рабочего слоя выполняют наливной из жаростойкого бетона, включающего кварцит 71,5 – 75%, феррохромовый шлак 1,3 – 2.6% и жидкое стекло 20,4 – 27,2%. Постоянный слой футеровки и дно ковша выкладывают шамотным кирпичом.

Учитывая высокие температуры, длительность воздействия расплавленного шлака на бетон рабочего слоя, а также основность шлака (отношение CaO/SiO_2), которая составляет 1,28 – 3,0, рабочий слой из-за невысокой его шлакоустойчивости интенсивно изнашивается, а его стойкость в районе шлакового пояса составляет 4-6 наливов.

Для повышения шлакоустойчивости используемых составов в состав бетона для изготовления рабочего слоя футеровки дополнительно вводили графит, магнезит и пекокок. Составы жаростойких бетонов повышенной шлакоустойчивости, рекомендуемые для изготовления футеровки рабочего слоя сталеразливочных ковшей приведены в табл. 2

Таблица 2

Составы жаростойких бетонов повышенной шлакоустойчивости

Наименование компонентов	Номер состава / содержание,мас%		
	1	2	3
Кварцит	70,4	71,7	69,8
Графит	3,0	-	-
Магнезит	-	1,7	1,1
Пекокок	-	0,2	2,2
Феррохромовый шлак	2,3	2,4	2,3
Жидкое стекло (плотность 1,1 г/см ³)	24,3	24,0	24,6

Для исследования шлакоустойчивости готовили образцы размером 50x50x50мм с углублением (лункой) диаметром 20мм и высотой 11мм. Навеску измельченного шлака принимали 3,8 г, что при принятых размерах углубления примерно соответствовало количеству шлака, воздействующего на единицу рабочей площади поверхности футеровки.

Исследовали стойкость жаростойкого бетона к действию ковшевого шлака, содержащего 41,94% CaO, 29,78% SiO₂, 1,8% Al₂O₃, 3,24% Fe₂O₃, 13,19% FeO, 6,5% MnO, 2,47% MgO, 0,72% R₂O₃, 0,063% S.

Испытания проводили в криптоловой печи. Образцы нагревали до температуры 1500⁰С, выдерживали при этой температуре 30мин, затем равномерно снижали температуру до 1300⁰С в течение 30мин и охлаждали до нормальной температуры вместе с печью.

Охлажденные образцы распиливали по центру углубления и измеряли площадь шлакоразъедания.

Результаты определения шлакоустойчивости жаростойких бетонов в лабораторных условиях показали, что площадь их шлакоразъедания составляет 257,0 – 370,2 мм², что значительно меньше площади – 436,0 мм² применяемого на комбинате им.Ильича бетона без добавки. Лучшую шлакоустойчивость предложенных составов можно объяснить появлением в смеси как углеродистой составляющей, имеющей низкую смачиваемость шлаками, так и периклаза, образующего шлакоустойчивые форстеритовые прослойки среди зерен кварцита [14,15].

Освоение составов жаростойких бетонов с добавками из магнезита и пекококса показало, что стойкость рабочего слоя футеровки в районе шлакового пояса составила 6 – 8 плавов, что на две плавки выше, чем у футеровки используемого на комбинате состава. Кроме того, применение разработанных составов характеризуется более быстрым набором структурной прочности, что позволяет сократить время выдержки ковшей на постах формовки (до снятия шаблона) на 10 – 15 минут.

Сталевыпускные желоба служат для перелива металла из печи в сталеразливочный ковш. Температура выпускаемой из печи стали в зависимости от марок стали находится в пределах 1590 - 1610⁰С, а продолжительность выпуска металла составляет 30 – 40мин.

Футеровка сталевыпускных желобов находится в условиях эрозийного воздействия расплавленного металла и шлака. Для предотвращения ускоренного износа футеровки на ее поверхность наносят защитное покрытие из огнеупорной смеси. Такое покрытие должно обладать в первую очередь повышенной адгезией к футеровке для предотвращения ее размыва потоком расплавленного металла.

Разработка составов огнеупорных смесей производилась применительно к условиям эксплуатации сталевыпускных желобов в мартеновском цехе Мариупольского металлургического комбината им. Ильича.

Футеровку сталевыпускных желобов выполняют из шамотного кирпича. Перед каждой плавкой на футеровку наносили защитное покрытие толщиной 20 - 30мм, состоящее из хромитопериклазовой смеси (СХП), затворенной водным раствором сернистого магнезия.

После разливки каждой плавки наблюдается интенсивное взаимодействие металла с футеровкой, результатом которого является проникновение металла в швы кирпичной кладки с последующим разрушением участков футеровки. Это ведет к снижению срока службы футеровки и росту трудозатрат связанных с проведением ее ремонта.

Одной из причин снижения срока службы футеровки является то, что СХП имеет неудачный для защитного покрытия фракционный состав, а покрытие характеризуется большой жесткостью и плохой адгезией к футеровке. Кроме того, указанная смесь производится в России (Челябинская обл.), что сказывается на стоимости ее привозки, а в условиях нестабильных экономических связей приводит к перебою с ее поставками.

Для устранения недостатков СХП был предложен оптимальный фракционный состав хромитопериклазовой смеси, получаемой путем дробления и отсева бывшего в употреблении сводового кирпича футеровки сталеплавильных печей. Такой кирпич прошел службу при температуре 1700⁰С в окислительной среде и характеризуется устойчивыми минералогическими соединениями с образованием сложных шпинелей MgO и Cr₂O₃. Кроме того, химический анализ подтверждает отсутствие шестивалентного хрома и других вредных соединений.

Проводили сравнительные исследования СХП и предложенной хромитопериклазовой смеси. Готовые смеси получали путем затворения указанных смесей водным раствором сернистого магнезия плотностью 1,15 г/см³.

В лабораторных условиях исследовали адгезию огнеупорных смесей к футеровке, их кажущуюся плотность и открытую пористость.

Для определения адгезии кубики размером 50x50x50мм, вырезанные из шамотного кирпича, подогревали до температуры 40-50⁰С, что примерно соответствует температуре футеровки желоба перед нанесением покрытия. Затем на одну сторону наносили покрытие толщиной 10мм и сушили до постоянного веса. Адгезию покрытия определяли путем сдвига относительно поверхности кубика. Величину усилия относили к площади покрытия.

Кажущуюся плотность и открытую пористость определяли по стандартным методикам на кубиках размером 50x50x50мм.

Результаты определения показали, что адгезия предложенной смеси составляет 0,13Мпа, что превышает адгезию СХП, равную 0,08Мпа. Кажущаяся плотность и открытая пористость предложенной смеси составляет 2,35 г/см³ и 32,4% против 2,38 г/см³ и 35,2% у СХП соответственно.

Применение защитных покрытий из разработанного состава хромитопериклазовой смеси позволяет уменьшить ее себестоимость в два раза по сравнению с покрытием из СХП, и снизить расход огнеупоров на 0,05 кг/тонну разливаемой стали [16]. Кроме того, достигается важная экологическая задача утилизации отработанных материалов.

По результатам исследований на комбинате им. Ильича введен в эксплуатацию специализированный участок по получению хромитопериклазовой смеси. Технология изготовления включает: дробление сводового кирпича, рассев по фракциям и их смешение до получения смеси заданного гранулометрического состава.

Фактический экономический эффект, полученный в мартеновском цехе за шесть месяцев 1995года составил 30172 грн.

Таким образом, опыт применения жаростойких бетонов и огнеупорных смесей в тепловых агрегатах и конструкциях сталеплавильного производства показал, что эффективность научных разработок и их промышленная реализация зависит от решения взаимосвязанных вопросов по составам жаростойких бетонов, конструкции футеровки и технологии ее изготовления. Решение этих вопросов должно осуществляться с учетом конкретных условий производства, а именно: температуры и марки разливаемой стали, агрессивности применяемых шлаков, параметров и конструкции теплового агрегата, наличия площадей для размещения оборудования и других условий. Отсутствие разработок по какому либо вопросу снижает эффективность научных работ и препятствует их внедрению в производство.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Прядко В.М., Беда Н.И., Птичник В.Д., Мазов В.Ф. Механизированный способ изготовления футеровки прибыльных надставок из жаростойкого бетона.// *Металлургическая и горнорудная промышленность* 1973.№2. С 67-69.
2. Прядко В.М., Завадский М.Я., Гурский Г.Л. и др. Механизация футеровки прибыльных надставок огнеупорным бетоном.//*Огнеупоры*. 1977. №7. С.31-36.

3. Завадский М.Я., Прядко В.М., Виноградов Н.М. и др.Разработка и внедрение составов жаростойких бетонов, новой конструкции и технологии изготовления футеровки прибыльных надставок. //*Огнеупоры*. 1987. №1. С 53-56.
4. Завадский М.Я., Конопляник А.Ю., Белкин А.И. и др. Применение жаростойкого бетона в футеровке прибыльных надставок для слитков массой 24т. //*Огнеупоры*. 1990. №7. С.52-56.
5. Конопляник А.Ю., Бородин А.А., Белкин А.И., Филатова Т. И. Исследование износа монолитных футеровок прибыльных надставок. //*Металлургическая и горнорудная промышленность* 1998. №2. С 29-32.
6. Бородин А.А., Пунагин В.Н., Конопляник А.Ю. Прогноз процесса пропитки жаростойких бетонов шлаковым расплавом.// *Материалы для строительных конструкций: Сб. науч. тр./ЛГАСА. - Днепропетровск.*. 1996. – С. 55-56.
7. А.с. 1597246 СССР. Прибыльная надставка. /М.Я.Завадский, В.М. Прядко, А.Ю.Конопляник и др. // *Открытия. Изобретения* .1990. №37. С28.
8. Завадский М.Я., Конопляник А.Ю., Бородин А.А. и др. Виброустановки большой мощности с самосинхронизирующимися вибраторами для изготовления монолитных футеровок металлургических агрегатов и конструкций. //*Металлургическая и горнорудная промышленность* 1995. №4. С 46-49.
9. Гизатуллин Г.З., Белкин А.И., Агафонова Е.Н. и др.Повышение качества 24-т слитков спокойной стали, отлитых с утеплением головной части.//*Сталь*. 1990. №9. С 75-76.
10. Грызлов Е.Г., Белкин А.И., Агафонова Е.Н. и др. Снижение головной обреси 24-т слитков спокойной стали, отлитых с утеплением головной части жаростойким бетоном.// *Металлургическая и горнорудная промышленность* 1992. №1. С 18-19.
11. Завадский М.Я., Конопляник А.Ю., Белкин А.И. Подбор огнеупорных смесей для обмазки футеровки прибыльных надставок.//*Огнеупоры*. 1992. №9-10. С 33-37.
12. А.с. 1597246 СССР. Состав огнеупорной смеси для обмазки футеровки прибыльных надставок. /М.Я.Завадский, А.Ю.Конопляник, В.С. Магала и др. // *Открытия. Изобретения* .1992. №17. С.
13. Положительное решение по заявке №4932593/02 СССР. Огнеупорная смесь для обмазки футеровки прибыльных надставок/ М.Я.Завадский, А.Ю.Конопляник, В.С. Магала и др. //
14. Конопляник А.Ю., Бородин А.А. Жаростойкие бетоны для изготовления футеровки сталеразливочных ковшей.// *Интенсификация рабочих процессов в строительстве: Сб. науч. тр./ ДИСИ. - К: ИСДО*. 1993. – С. 82-85.
15. Декларационный патент 68743 Украина. Вогнетривка суміш для футерування сталерозливних ковшів. / О.Ю.Конопляник. // *Бюл.* №8. 2004р.
16. Лещенко Е.Н., Ларионов А.А., Конопляник А.Ю. и др. Разработка и внедрение малоотходной технологии ремонта футеровки сталевыпускных желобов и конвертеров.//*Металл и литье Украины*. 1997. №2-4. С 29-31.