

**Л.М. Аксельрод, А.А. Вяткин, Н.А. Вяткина, О.В. Налымова, В.Г. Сыскин, /к.т.н./
В.Г. Овсянников, В. М. Белобородов, И.М. Захаров**
ООО «Группа «Магнезит», Богдановичское ОАО «Огнеупоры», ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТЯГИВАНИЯ КАНАЛА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО УЗЛА ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ

Проанализированы причины и механизм формирования отложений неметаллических включений на внутренней поверхности металлопровода при разливке стали, а также эффективность некоторых приемов предотвращения этого процесса. Разработана технология изготовления и проведена промышленная апробация способ замедления процесса затягивания канала сталеразливочного узла с помощью газовой прослойки на контакте поверхность канала огнеупорного металлопровода – жидкий металл. Показана техническая и экономическая эффективность технологии в условиях конвертерного производства ОАО ММК.

Процесс уменьшения эффективного сечения канала сталеразливочного узла промежуточного ковша МНЛЗ при разливке стали остается важнейшей проблемой при необходимости увеличения времени непрерывного литья металла, получения заготовки с минимальным количеством оксидных включений. Проблема актуальна как для разливки металла из ковша со стопором (стопором-моноблоком), так и для разливки стали с использованием шибера затвора.

На протяжении последних трех десятков лет исследуются причины механизма процесса затягивания – формирования отложений тех или иных неметаллических включений на стенках металлопроводов [1,2]. Разработаны приемы и методы предотвращения или, по крайней мере, замедления этих процессов. Однако говорить об окончательном решении вопроса, особенно для разливки металла, раскисленного алюминием, не приходится.

В качестве причин и механизма формирования отложений обычно рассматриваются металлургические, тепловые, гидравлические, химические процессы, протекающие при разливке стали, что порождает и соответствующие способы противодействия этим процессам. В качестве отложений на поверхности канала металлопровода преимущественно фиксируются тугоплавкие неметаллические включения (НВ): оксид алюминия, алюминаты кальция при раскислении металлическим алюминием и более сложные комплексы с обязательным участием оксида алюминия; сульфид кальция при раскислении кальцийсодержащим раскислителем; если содержание алюминия мало по сравнению с содержанием титана, то в составе оксидного отложения присутствуют титаносодержащие алюминаты кальция, титанат алюминия.

В ряде публикаций описаны меры предотвращения теплового затягивания в первую очередь за счет снижения теплопотерь через стенку погружаемого стакана [3,4]. Меры металлургического характера обычно сводятся к удалению неметаллических включений из металла при оптимизации технологических процессов, в том числе при внепечной обработке металла, корректировке режимов раскисления и рафинирования расплава, модифицирования неметаллических включений контролируруемыми добавками кальция с переводом НВ с высокой температурой плавления в глобулярные жидкие включения, которые легко удаляются в условиях принудительной флотации при продувке стали аргоном [5-7].

Однако даже после вакуумирования значительное количество глиноземистых НВ продолжает присутствовать в металле. Так, 325-т ковш раскисленной алюминием стали с общим количеством алюминия 15 ррт (1 ррт = 10^{-4} %) содержит 3–4 л плотного оксида

алюминия, определенная доля которого, вероятно, осядет на стенках сталевыпускного тракта промежуточного ковша [8]; если разливка осуществляется методом плавка на плавку, то вероятность такого события возрастает.

Известны приемы, касающиеся собственно качества огнеупоров, замедляющие процесс затягивания:

– использование на контакте с жидким металлом огнеупорного материала, препятствующего процессу затягивания (антиклекинговое покрытие – от английского anticlogging). Есть опыт использования материала, участвующего в химическом взаимодействии с неметаллическими включениями с образованием легкоплавких соединений (фаз), удаляемых с поверхности огнеупора потоком жидкого металла, например с образованием легкоплавких алюминатов кальция состава $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ ($5\text{CaO}\text{--}3\text{Al}_2\text{O}_3$) на контакте глиноземосодержащего включения с огнеупорным материалом в системах $\text{ZrO}_2\text{--CaO--SiO}_2\text{--C}$ и т. д. [10,11] или с образованием газообразных соединений на поверхности огнеупора, которые препятствуют контакту НВ из жидкого металла со стенкой металлопровода [12];

– исследования и практика показывают высокую эффективность применения подачи инертного газа в металл, например через стопор-моноблок [13,14] в поток жидкого металла или в зону контакта неметаллических включений со стенкой огнеупорного металлопровода [15,16].

В конвертерном цехе ОАО ММК производится более 9 млн т стали, технологический процесс включает выплавку стали в двух 385-т конвертерах (чугун перед заливкой в конвертер подвергается десульфурации), обработку металла в агрегате печь-ковш и вакуумирование металла (RH). Непрерывная разливка металла осуществляется на четырех МНЛЗ в заготовку (сляб и блюм) через промежуточные ковши вместимостью 45 т. Одна плавка разливается на МНЛЗ в течение 70-90 мин [17].

Несмотря на использование агрегатов, снижающих количество неметаллических включений в стали за счет более полного усвоения раскислителей (печь-ковш, вакууматор), наличие защиты струи металла от вторичного окисления на участке сталеразливочный ковш – промежуточный ковш МНЛЗ огнеупорной трубой с подачей аргона в стык трубы и стакана-коллектора шиберного затвора сталеразливочного ковша и оптимизацию потоков металла в промежуточном ковше с использованием перегородок с каналами, формирующими потоки в промежуточном ковше в направлении покровного шлака, обладающего сорбирующими свойствами в отношении глиноземистых включений, проблема затягивания стакана-дозатора и в большей мере погружаемого стакана при разливке металла на МНЛЗ ОАО ММК стоит очень остро.

В дополнение к мерам технологического характера проведена работа по изысканию эффективного способа увеличения продолжительности разливки стали, раскисленной алюминием, за счет возможностей применения соответствующих огнеупоров стопорно-дозировочного узла. МНЛЗ.

В настоящее время в конвертерном цехе реализована схема разливки металла из промежуточного ковша МНЛЗ (рис. 1), включающая стопор, стакан-дозатор корундографитового состава, комплект плит шиберного затвора, корундографитовые стакан-коллектор и погружаемый стакан. Сформирован достаточно длинный сталеразливочный канал, в котором в дополнение к неметаллическим включениям, попадающим с металлом из промежуточного ковша, существует возможность дополнительного контакта жидкого металла и, соответственно, алюминия, растворенного в стали, с кислородом воздуха и, как следствие, формирование дополнительного количества глиноземистых включений. Речь идет об инъекции в металл воздуха по стыкам плит шиберного затвора и погружаемого стакана со стаканом-коллектором.

Исследования показали, что процесс затягивания канала глиноземосодержащими включениями начинается в стакане-дозаторе и распространяется по всему разливочному тракту. Наиболее интенсивно подвергаются затягиванию канал стакана-дозатора и нижняя часть погружаемого стакана ниже уровня металла в кристаллизаторе, включая сталевыпу-

ские отверстия. В результате возникает необходимость замены погружаемых стаканов (особенно при использовании корундографитовых изделий) до их износа в шлаковом поясе, необходимость прожигания с использованием кислорода канала, образованного стаканом-дозатором, плитами и стаканом-коллектором с нарушением целостности огнеупоров и дополнительным массивованным попаданием оксидных включений из жидкого металла в кристаллизатор и затем в отливаемую заготовку. Кроме того, установлено, что отложения на стенках сталеразливочного тракта, отделяясь от огнеупора, попадают в кристаллизатор МНЛЗ и в дальнейшем могут стать главным источником неметаллических включений в непрерывнолитой заготовке [7].

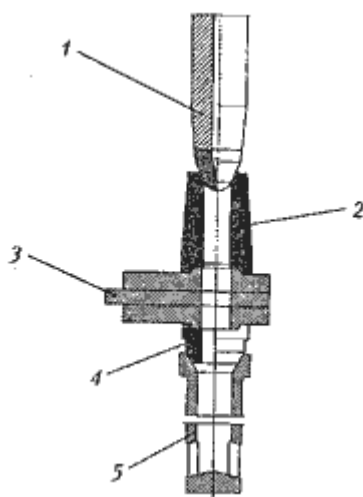


Рис. 1. Стопорно-дозировующий узел промежуточного ковша:
1 – стопор; 2 – стакан промежуточного ковша; 3 – плиты шибера затвора;
4 – стакан-коллектор; 5 – погружаемый стакан

Для решения поставленной задачи в Богдановичском ОАО «Огнеупоры» были изготовлены стаканы-дозаторы с покрытием канала огнеупорным материалом в системе $ZrO_2-CaO-C$, успешно апробированным ранее в качестве материала, замедляющего процесс затягивания [11], слоем толщиной 5 мм и стаканы-дозаторы новой конструкции (рис. 2), в которых стенки канала выполнены из газопроницаемого огнеупорного материала, наружная стенка стакана – из газоплотного огнеупорного материала, подвод инертного газа к газопроницаемой стенке осуществляется через резьбовой штуцер, соединенный с полостью в стенке стакана-дозатора. На технологию изготовления бикерамического стакана-дозатора с газопроницаемой стенкой получен патент [18]. Стаканы-дозаторы формовали на прессах изостатического формования, обеспечивающих равноплотность по высоте изделия. Внутренняя кольцевая полость толщиной 1,5-2 мм получена в результате «сгорания» соответствующего материала, одновременно играющего роль шаблона при засыпке огнеупорных шихт различного состава в пресс-форму. Составы шихт разработаны таким образом, чтобы структура наружной части стакана была газоплотной, т.е. с минимальным количеством сообщающихся пор, в то время как структура внутренней стенки включает мелкие сообщающиеся поры в количестве и размером достаточных для подачи газа с расходом 10-15 л/мин в металл через максимальную площадь. В процессе разлива на поверхности огнеупора, контактирующей с жидким металлом, формируется газовая прослойка, постоянно обновляющаяся и предотвращающая непосредственный контакт НВ с огнеупорным материалом. Кроме того, аргон, попадая со струей металла в сталеразливочный канал, в известной мере создает в канале давление, компенсирующее разрежение, создаваемое потоком металла.

Одним из этапов разработки стакана-дозатора с газопроницаемой стенкой стало создание методики оценки качества изделия – паспортизации каждого стакана по его га-

зопропускной способности перед упаковкой для отгрузки заказчику. В результате совместной работы сотрудников ОАО СПБИО и Богдановичского ОАО «Огнеупоры» разработан испытательный стенд (рис. 3) и отработана методика оценки газопропускной способности стакана.

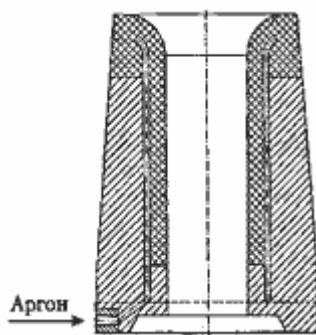


Рис. 2. Стакан-дозатор с подводом аргона

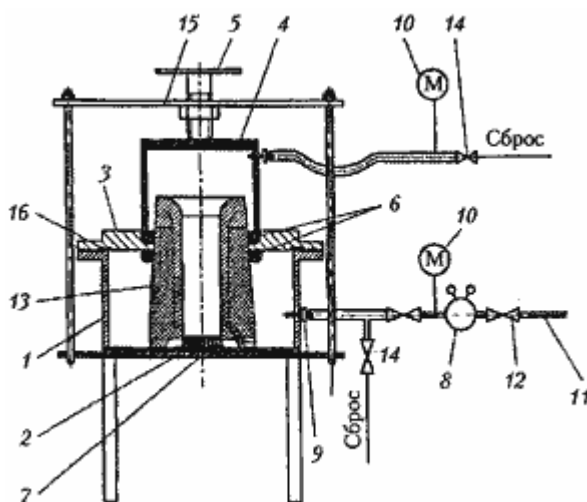


Рис. 3. Схема испытательного стенда для определения газопропускной способности стаканов-дозаторов:

11 – магистраль сжатого воздуха; 12 – запорный вентиль; 13 – стакан-дозатор; 14 – кран сброса давления; 15 – зажим-держатель; 16 – прокладка; остальное обозначение – в тексте

Испытуемый стакан-дозатор устанавливают в корпус 1 испытательного стенда. Центральное отверстие стакана-дозатора со стороны фальца закрывают резиновой пробкой 2. Сверху на стакан-дозатор надевают металлический фланец 3. На фланец устанавливают пустотелый зажим 4 со штуцером для выхода сжатого воздуха. С помощью винта 5 через резиновые уплотнительные кольца 6 и резиновую прокладку на столе подставки 7 уплотняется вся система с герметизацией внутренней полости камеры корпуса и пустотелого зажима для исключения подсоса воздуха снаружи и прохода воздуха наружу.

Испытания на измерительном стенде осуществляют следующим образом. Сжатый воздух через редуктор 8 и боковой штуцер 9 подают в камеру и включают секундомер. Через отверстие в боковой стенке стакана-дозатора сжатый воздух проходит в полость в корпусе стакана-дозатора, разделяющую газоплотный и газопроницаемый слои. Через газопроницаемый слой воздух попадает в канал стакана-дозатора, затем в полость пустотелого зажима. Давление воздуха, измеряемое манометром 10 после редуктора 8 перед испытательной камерой должно быть 3,8-4,0 кг/см² (0,38-0,4 МПа), Избыточное давление

P_{max} фиксируется манометром, а также фиксируется время его достижения T , оно не превышает 1 мин.

Значение газопропускной способности Π оценивается величиной натекания, Па/с, и рассчитывается по формуле:

$$\Pi = P_{max} \cdot 98066,5/T.$$

Измерения проводят трижды на одном изделии, окончательный результат получают как среднее из трех измерений.

В период испытания опытных партий стаканов в промежуточных ковшах МНЛЗ конвертерного цеха ОАО ММК определено, что величина газопропускной способности при давлении воздуха $2,5 \text{ кг/см}^2$ должна быть не менее 4000 Па/с для обеспечения прохода аргона через стакан-дозатор в пределах 10-15 л/мин в процессе разливки. В табл. 1 приведены свойства материала стаканов-дозаторов с антиклекинговым и газопроницаемым слоями.

Таблица 1. Физико-химические свойства изделий

Наименование показателя	Опытные бикерамические стаканы-дозаторы			
	с антиклекинговым слоем		с газопроницаемой стенкой	
	тело стакана-дозатора	антиклекинговый слой	газоплотный слой	газопроницаемый слой
Массовая доля, %				
Al ₂ O ₃	82-85	–	> 75	> 85
ZrO ₂	–	48-55	–	–
CaO	–	17-20	–	–
C* ¹	7-9	6-8	5-9	10-15
Открытая пористость, %	< 14	< 19	< 15	18-22
Предел прочности при сжатии, МПа	40-54	35-45	40-57	> 20
Величина натекания, Па/с, при давлении кг/см ² :				
1,8-2	–	–	–	> 2200
3,2-3,6	–	–	–	> 5000
* ¹ Массовую долю углерода определяли по потерям при прокаливании при 1000 °С (ГОСТ 2642.2.)				

Для получения объективной оценки опытные стаканы-дозаторы устанавливали в промежуточные ковши на соседнем ручье параллельно с корундографитовыми стаканами-дозаторами (ТУ 1553-019-00188162-97), применяемыми обычно.

Испытания проведены на двух- и четырехручьевых МНЛЗ при разливке практически всего сортамента стали, при разливке использовали как кварцевые, так и корундографитовые погружаемые стаканы. Разливка стали с использованием стаканов-дозаторов с подводом аргона осуществляется согласно действующей технологической инструкции по разливке.

Эффективность работы опытных изделий оценивали по количеству замен погружаемых стаканов (поясов на слитке) и расходу погружаемых стаканов по ручьям в ходе разливки, а также по количеству прожиганий канала металлопровода промежуточного

ковша в процессе эксплуатации в сравнении с корундографитовыми изделиями, применяемыми постоянно.

Испытания показали эффективность антиклеингового слоя на протяжении первых 2-3 плавов. Очевидно, при истощении антиклеингового слоя из цирконата кальция [19] за счет взаимодействия CaO огнеупора и Al_2O_3 [1] замедление процесса затягивания прекращается и на стенках канала сталеразливочного узла начинают откладываться глиноземосодержащие глобулы и кристаллы. Время эффективности такого антиклеингового слоя определяется во многом концентрацией глиноземистых включений в разливаемом металле. Более того, время затягивания погружаемого стакана в условиях ОАО ММК в обоих случаях практически одинаково, что подтверждается близкими значениями числа замен погружаемых стаканов на протяжении всей разливки на параллельных ручьях. Результат получен при использовании 18 стаканов-дозаторов с антиклеинговым слоем на основе материала $ZrO_2-CaO-C$.

В то же время при использовании стаканов-дозаторов с продувкой аргоном практически весь период разливки не фиксируется изменение сечения канала стакана-дозатора при существенно меньшем числе замен погружаемых стаканов. Новую технологию разливки испытывали на четырехручьевой МНЛЗ, используя сталь 08Ю. Отмечено, что при использовании серийного стакана-дозатора на разливочном ручье замена корундографитового погружаемого стакана производится через 1,8 плавки (одна плавка – 385 т стали на четыре ручья), при использовании нового стакана-дозатора – через 2,9 плавки, при использовании стакана-дозатора с покрытием на основе цирконата кальция – в среднем через 1,9 плавки.

Максимально через узел, состоящий из стакана-дозатора с продувкой аргоном и корундографитового погружаемого стакана, было разлито 454 т низколегированной стали, раскисленной алюминием, в течение 259 мин (разлито 3,4 сталеразливочного ковша на 2 ручья). Корундографитовый стакан-дозатор (рис. 4) при этом имел размыв канала 2-3 мм при отсутствии глиноземистых отложений в канале, толщина локальных отложений в погружаемом стакане не превышала 5 мм на сторону, что не мешало процессу разливки. Разливка была прекращена по технологическим причинам.

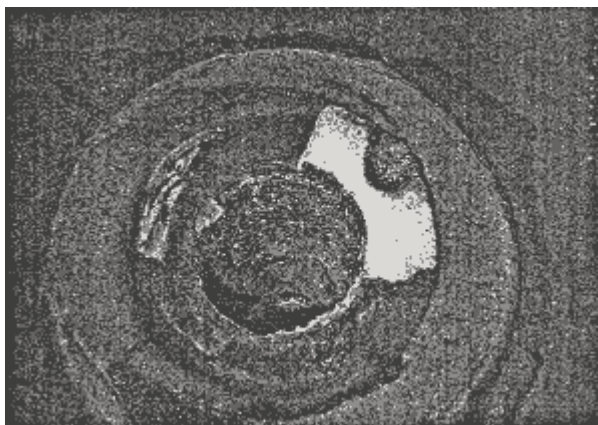


Рис. 4. Состояние канала стакана-дозатора с продувкой аргоном после разливок 9 плавов стали Ст2сп

Следует отметить, что экономическая эффективность применения стаканов-дозаторов с продувкой аргоном заключается не только в снижении удельного расхода погружаемых стаканов, но и в уменьшении числа поясов на слябах (подлежат удалению как некондиционный металл). Более того, зафиксировано существенное снижение количества отсортированных заготовок (в 3 раза) по наличию шлаковых дефектов на поверхности литой заготовки.

После разливки металла различного сортамента более чем на ста промежуточных ковшах (результаты приведены в табл. 2) принято решение о целесообразности постоянного применения стаканов-дозаторов с продувкой аргоном на МНЛЗ конвертерного цеха. По мере освоения технологии предполагается улучшение полученных показателей, особенно по стойкости погружаемых стаканов, по мере реализации потенциала, выявленного в процессе испытаний.

Таблица 2. Результаты применения стаканов-дозаторов с газопроницаемой стенкой* при разливке стали

Показатели	Сталь		
	рядовые марки	низколегированные и легированные марки	весь сортament
Число оборудованных опытных ковшей	92	39	131
Число разлитых плавов	534	226	760
Количество поясов, шт. на опытном ручье	266	68	334
на контрольном ручье	317	87	404
Разница в количестве поясов между ручьями: шт.	51	19	70
%	16,1	21,3	17,3
Расход погружаемых стаканов, шт. на опытном ручье	358	107	465
на контрольном ручье	409	126	535
Разница в расходе погружаемых стаканов между ручьями: шт.	51	19	70
%	12,5	15,1	13,1

* Стаканам-дозаторам с подводом аргона для ОАО ММК присвоена марка КГ 75/82А по ТУ 1553-033-05802299-2003.

Библиографический список

1. Аксельрод, Л. М. Затягивание графитсодержащих погружаемых стаканов при разливке стали на МНЛЗ / Л. М. Аксельрод, М. Р. Барановский, Г. Г. Мельникова // Огнеупоры. – 1991. – № 12. – С. 29–34.
2. Murakami, T. Nozzle blocking mechanism based upon the phase diagram for the system / T. Murakami, H. Fukiy- arm [et al.] // Zairyo to prosesu = current advances in materials and processes. – 1998. – № 11. – P. 865.
3. Берти, М. Способы повышения продолжительности работы МНЛЗ / М. Берти, Л. Питерс, Э. Перрен [и др.] // Черные металлы. – 2006. – Май. – С. 21–26.
4. Morikawa, K. The performance of newly developed refractories for continuous / K. Morikawa, J. Yoshtomi, K. Asano // Tehran International Conference on Refractories 4–6 May 2004. – P. 226–234.
5. Tonshojf, H. K. Metallurgische Auswirkungen der Calciumbehandlung von Stahlschmelzen auf das Stranggießen / H. K. Tonshoff, W. Kaestner, R. Schnadt // Stahl und Eisen. – 1989. – Bd. 109, № 16. – P. 39–46, 81.

6. Гонтарук, Е. И. Новая технология внепечной обработки среднеуглеродистой стали, легированной серой и алюминием / Е. И. Гонтарук, В. И. Фомин, С. П. Кортиков [и др.] // *Сталь*. – 2004. – № 7. – С. 31–33.
7. Fuhr, F. Relationship between nozzle deposits and inclusion composition in the continuous casting of steels / F. Fuhr, C. Cicutti, G. Walter [et al.] // *Iron and Steelmaker*. – 2003. – V. 30, № 12. – P. 53–58.
8. Damen, W. F. M. A real clog free nozzle? How the self cleaning nozzle does it / W. F. M. Damen, M. Kendall, N. N. Visser // 5th European Continuous Casting Conference June 20–22, 2005, Nice, France. – P. 454–460.
9. Horiuchi, T. «MOGUL» – lined submerged entry nozzle / T. Horiuchi, M. Kajimura // UNITECR'05, 9th Biennial Worldwide Congress on Refractories, 9–11 November, 2005.
10. Аксельрод, Л. М. Новая технология изготовления корундографитовых погружаемых стаканов для МНЛЗ / Л. М. Аксельрод, И. В. Егоров, В. П. Мигаль [и др.] // *Сталь*. – 1997. – № 5. – С. 28–30.
11. Devic, S. Advantage of anticlogging nozzles over conventional aluminographite nozzles in continuous casting of Steel Slabs / S. Devic, R. Galjak, N. Bradaric // *Ironmaking and Steelmaking*. – 2003. – V. 30, № 1. – P. 57–60.
12. Аксельрод, Л. М. Взаимодействие со сталью огнеупоров, содержащих бескислородные добавки / Л. М. Аксельрод, О.А.Вальдман, И. Я. Дольников [и др.] // *Огнеупоры*. – 1983. – № 6. – С. 55–58.
13. Оки, К. Стопор–моноблок с пористой вставкой для продувки газа / К. Оки, К. Клоида, Т. Такахаси [и др.] // *Тайкабуцу, Refractories*. – 1975. – V. 27(3), № 206. P. 119–121.
14. Вильк, Ю. Н. Влияние продувки аргона через стопор–моноблок при непрерывной разливке стали на работоспособность огнеупора и неметаллические включения в разливаемой стали / Ю.Н. Вильк, А. А. Картель, Л. М. Аксельрод // *Огнеупоры и техническая керамика*. – 1999.
15. Оки, К. Верхний стакан скользящего затвора для продувки газа / К. Оки, Т. Такахаси, Ю. Иро // *Тайкабуцу, Refractories*. – 1979. – Т. 31, № 255(4). – 4 С. 201–204.
16. Chihara, K. Improvement of Gas Blowing Nozzle for TD/SN Systems / K. Chihara, T. Mizuno, T. Yotabun [et al.] // *Journal of the Technical Association of Refractories, Japan*, 2004. – V. 24(3). – P. 217.
17. Тахаутдинов Р. С. Огнеупоры для дозирования и защиты струи стали при отливке заготовок на УНРС1 в ККЦ АО ММК / Р. С. Тахаутдинов, В. Н. Кунгурцев, В. Г. Овсянников [и др.] // *Труды 4–го конгресса сталей плавильщиков*. – М.: ОАО «Чермет информация», 1997. – С. 373–376.
18. Пат. 2226451 РФ, МПК В 22D 41/54. Составное огнеупорное изделие / Абрамов Е. П., Аксельрод Л. М.; Бодина Г. О. и др.; опубл. 10.04.04.
19. Аксельрод, Л. М. Разработка технологии изготовления огнеупорного материала, замедляющего процесс затягивания / Л. М. Аксельрод, Г. Г. Мельникова, Г. О. Бодина // *Огнеупоры и техническая керамика*. – 2001. – № 2. – С. 22–26.