



А. А. Коростелёв¹ (✉), **К. Т. Н. Н. С. Съёмщиков¹**, **А. А. Чернышев¹**,
Д. Т. Н. А. Е. Сёмин², **К. Т. Н. К. Н. Бельмаз³**, **А. Н. Божесков⁴**,
В. В. Казаков⁴, **А. В. Косоногов⁵**

¹ ООО «ВПО Сталь», г. Одинцово Московской обл., Россия

² ФГАОУ ВПО «НИТУ «МИСИС», Москва, Россия

³ Компания «Corwintec Europe Ltd», г. Далайн, Кумай

⁴ ОАО «Волжский трубный завод», г. Волжский, Россия

⁵ АО «ОМК-Сталь», г. Выкса, Россия

УДК 666.762.3:621.746.328.3.047

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТОПОРОВ-МОНОБЛОКОВ С МАГНЕЗИАЛЬНОЙ ГОЛОВНОЙ ЧАСТЬЮ*

Проведен анализ работы стопоров-моноблоков разного качества на металлургических предприятиях и показано влияние материала стопора на стабильность разливки металла на МНЛЗ.

Ключевые слова: разливаемость стали, зарастание канала, стопор-моноблок, неметаллические включения, уровень металла в кристаллизаторе.

Стопор-моноблок является важной функциональной частью промежуточного ковша МНЛЗ, обеспечивающей дозированную подачу стали в кристаллизатор, перекрытие канала стакана-дозатора в случае технологической необходимости [1]. Точный расчет геометрии головки стопора-моноблока и подбор материала требуемого качества крайне важны с точки зрения стабильности дозирования металла в течение длительного времени.

При разливке стали наиболее уязвимым местом стопора является его головная часть, подвергающаяся механическому износу и химической эрозии. Поэтому традиционно головка стопора выполняется из более прочного материала. Для изготовления головной части стопора используют материал на основе оксида магния, графита и углеродного связующего или на основе оксида алюминия, графита и углеродного связующего. Оба материала вполне совместимы с материалом основного тела стопора и поэтому прессуются совместно.

Стопоры с головной частью из материала на основе Al_2O_3 обладают большей прочностью при изгибе при температурах окружающей среды (около 9 МПа) по сравнению с этим показателем материала на основе MgO (около 7 МПа). Однако при температурах применения стопоров

преимущество в прочности материала корундографитового состава исчезает, стойкость при этом определяется химическим составом разливаемых сталей. Снижение стойкости корундографитовых головных частей стопора особенно значительно при разливке сталей, раскисленных кальцийсодержащими материалами [2]. Поэтому при продолжительных сериях разливки сталей, обработанных кальцием, предпочтение отдается стопорам-моноблокам с головной частью из материала на основе оксида магния. Следует отметить, что производство стопоров, которые могут выдерживать нагрузки при высоких массовых скоростях разливки, требует высокотехнологичного оборудования и наличия высококачественного магнезиального сырья, а также применения эффективных способов защиты графита от окисления как при эксплуатации изделия, так и при его производстве (при термической обработке). Из свойств магнезиальноуглеродистых изделий особое значение имеют высокие механическая прочность при повышенных температурах и стойкость к химической эрозии [3–5]. Это связано с высокой огнеупорностью периклаза, наличием эффективной углеродистой матрицы, укрепленной введением комплексных добавок антиоксидантов. Наибольшим недостатком магнезиальноуглеродистых изделий является чувствительность к внутренним механическим напряжениям, вызванным преимущественно термическим ударом. Однако данный фактор легко устраняется за счет постоянного выполнения рекомендаций по разогреву изделий перед началом разливки.

В современном сталеплавильном производстве внепечная обработка кальцийсодержащими материалами неотъемлемая часть технологии и занимает ведущее положение в связи с много-

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (7–8 апреля 2016 г., Москва).



А. А. Коростелёв
E-mail: koral-00@mail.ru

факторностью влияния кальция на физико-химическое состояние расплава, макро- и микроструктуру заготовки, качество и свойства металлопродукции [6]. При этом обработка расплава кальцийсодержащими материалами в зависимости от количества и вида добавок влияет на срок службы огнеупоров, находящихся в контакте с расплавленной сталью.

На металлургических заводах при разливке стали на заготовки малых сечений происходит зарастание [7] сталеразливочного канала, которое может привести к аварийной остановке ручья; при разливке на заготовки больших сечений наблюдается повышенный износ головной части стопора. Такое положение наблюдается при разливке металла с использованием стопоров, голов-

ная часть которых изготовлена из материала на основе Al_2O_3 . Как правило, это характерно также для разливки сталей, обрабатываемых кальцием.

При разливке заготовок малых сечений тугоплавкие неметаллические включения (НВ), находящиеся в стали, взаимодействуют с материалом головной части стопора и, осаждаясь на ней, препятствуют прохождению жидкого металла (рис. 1, а). При низкой массовой скорости потока металла это может привести к полному зарастанию сталепроводящего канала и аварийной остановке ручья.

При разливке заготовок больших сечений тугоплавкие НВ, находящиеся в стали, также взаимодействуют с материалом головной части стопора и осаждаются на ней, но так как массовая скорость потока металла при этом высокая, осевшие на поверхности головной части стопора неметаллические включения не могут на ней удержаться и уносятся с потоком, увлекая с собой элементы головной части стопора и способствуя ее повышенному износу (рис. 1, б).

Содержащийся в головной части стопора оксид алюминия реагирует с кальцием стали и неметаллическими включениями, образуя различные соединения, в том числе алюминаты и алюмосиликаты кальция с разными температурами плавления. Усиленное химическое воздействие не только повышает затраты на расходные материалы, но и ведет к техническому риску, который снижает уровень системы безопасности МНЛЗ, ставит под вопрос способность пары стопор-моноблок – стакан-дозатор в нужный момент обеспечить точный контроль потока стали из промежуточного ковша и безаварийно перекрыть поток жидкой стали. Это также подтверждает преимущество использования материала на основе оксида магния для изготовления головной части стопора.

Применение технологии обработки стали кальцием требует особой тщательности при выборе огнеупорных материалов для стопоров, стаканов-дозаторов, погружаемых стаканов и др. На основании вышеизложенного задачей данной работы была оценка эффективности применения на металлургических предприятиях стопоров-моноблоков с магнезиальноуглеродистой головной частью. Огнеупоры на основе оксида магния отличаются повышенным термохимическим сопротивлением к воздействию стали, обработанной кальцием. В ПАО «Таганрогский металлургический завод» длительное время успешно используют стопоры-моноблоки компании «Corwintec» с головной частью на основе MgO [8].

На листопрокатном комплексе АО «ОМК-Сталь» в 2012–2015 гг. была проведена работа по подбору огнеупорного материала для головной части стопора с целью обеспечения стабильной и безаварийной разливки стали. На данном предприятии разливка стали из промежуточно-

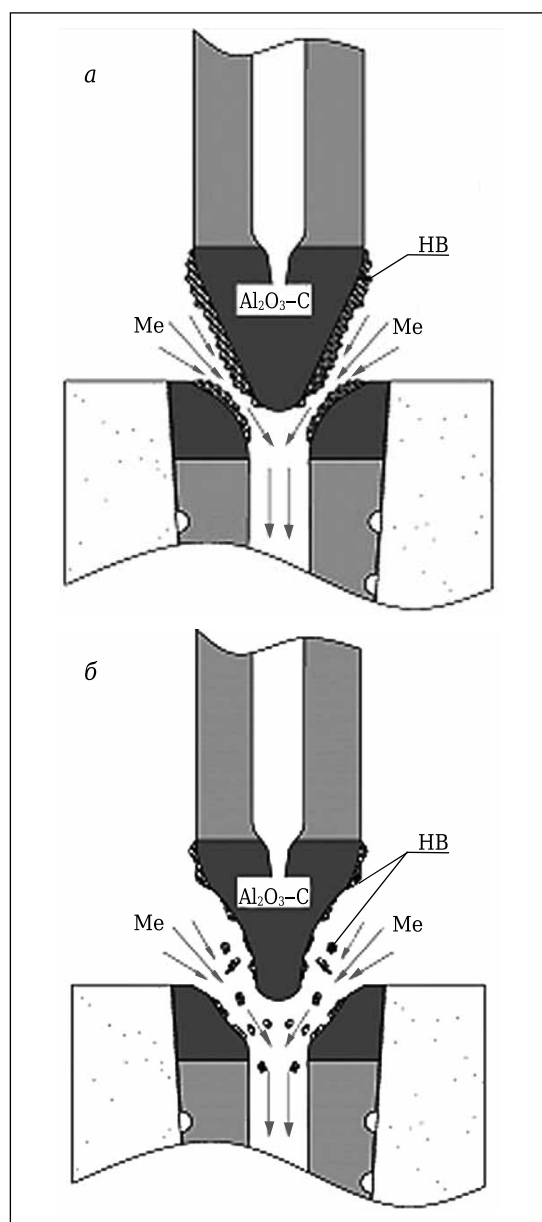


Рис. 1. Система дозирования металла стопор-моноблок – стакан-дозатор при разливке заготовок: а — малых сечений; б — больших сечений

го ковша в кристаллизатор осуществляется через один ручей. Масса одной плавки составляет примерно 160 т. Серийность разливки на МНЛЗ может достигать 15 плавков (10–15 ч в зависимости от сечения заготовки). В этом случае весь объем металла, а это около 2400 т стали, проходит через единственный разливочный узел системы стопор-моноблок – погружаемый разливочный стакан. Пропускная способность узла в этом случае доходит до 4 т стали в минуту. При этом стопор-моноблок испытывает сильнейшие физико-химические воздействия, связанные с течением потоков металла в промежуточном ковше, колебанием самого стопора и влиянием неметаллических включений в разливаемой стали. Учитывая массу потока, проходящего через сталеразливочный канал, можно предположить, что случаи зарастания каналов сталепроводки в условиях АО «ОМК-Сталь» маловероятны.

На рис. 2 для сравнения показаны головные части стопоров, изготовленные из материалов на основе оксида алюминия и оксида магния после разливки стали 22ГЮ.

Следует отметить, что во время разливки серии плавков наблюдается стабильный уровень положения стопора, имеющего головную часть из материала на основе оксида магния. Это свидетельствует о том, что пропускное сечение для металла остается постоянным в течение разливки, а значит, и уровень металла в кристаллизаторе не имеет значительных колебаний, которые могли бы привести к аварийной остановке ручья.

В октябре – ноябре 2015 г. в ЭСПЦ Волжского трубного завода была проведена работа с использованием магнезиальных стопоров-моноблоков с целью снижения количества зарастаний сталепроводящего канала на сортовой МНЛЗ.

Ранее на этом предприятии проводилась работа по снижению количества зарастаний сталепроводящего канала на участке промежуточный ковш – кристаллизатор. Зарастание было связано с налипаниями тугоплавких неметаллических включений на основе оксида алюминия на стенки огнеупора в канале [9] и на головную корундовую часть стопора. В результате работы удалось

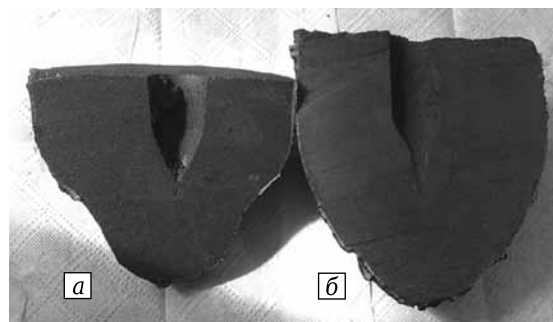


Рис. 2. Головные части стопоров после эксплуатации при разливке стали 22ГЮ: *а* — на основе оксида алюминия после разливки 6 плавков; *б* — на основе оксида магния после разливки 7 плавков

уменьшить зарастание сталепроводки с помощью подачи аргона в сталепроводящий канал стакана-дозатора и повысить уровень разливаемости стали. На втором этапе было принято решение испытать стопоры-моноблоки с магнезиальной головной частью с целью обеспечения более стабильной разливки и снижения амплитуды колебания уровня металла в кристаллизаторе при разливке стали. Предположительно, колебания уровня металла в кристаллизаторе обусловлены налипанием неметаллических включений на головной части стопора, изготовленной из материала на основе оксида алюминия. Изменение положения стопора во время разливки обеспечивает постоянный уровень металла в кристаллизаторе и является показателем его стабильности.

На рис. 3 выборочно представлены типовые графики положения уровня стопора в течение разливки стали марки 06ГФБА при использовании разных стопоров.

Для оценки проведенной работы к анализу было представлено 19 разлитых плавков стали марок 13ХФА, 06ГФБА с использованием опытных стопоров с головной частью на основе ок-

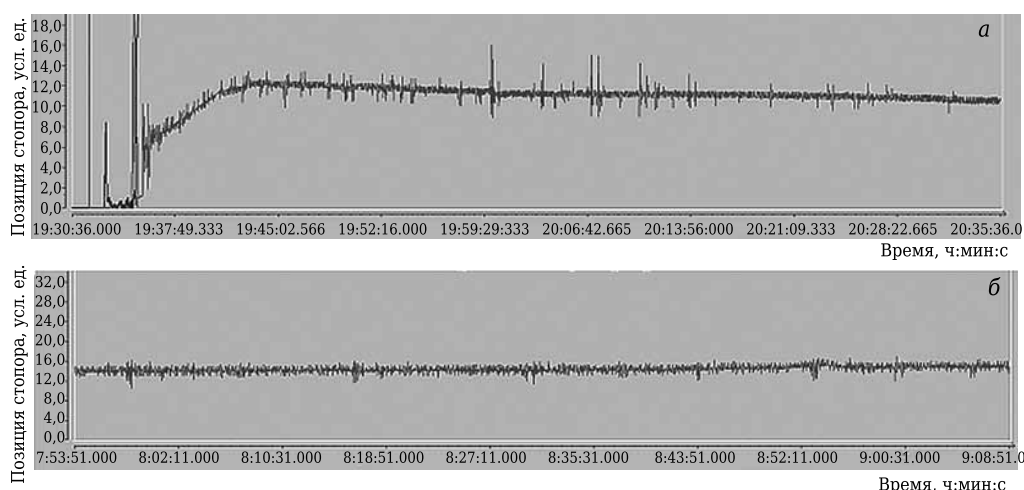


Рис. 3. Положение уровня стопора в течение разливки стали марки 06ГФБА: *а* — серийно применяемый стопор ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{--C}$); *б* — стопор с магнезиальной головной частью (MgO--C)

сида магния и 20 разлитых плавков стали марок 13ХФА, 06ГФБА с использованием серийно применяемых стопоров с головной частью на основе оксида алюминия.

В таблице представлены данные о максимальном изменении (интервале) положения стопора во время разливки плавки, а также указано количество значительных изменений (скачков) положения стопора при использовании при разливке стопоров с разными головными частями.

Критерием оценки работы стопоров с головной частью из разных материалов послужили изменение амплитуды положения стопора (стабильности уровня металла в кристаллизаторе) при разливке и количество значительных изменений (скачков) положения стопора во время разливки. Из представленных данных видно, что при использовании стопоров-моноблоков с магниальной головной частью изменение амплитуды положения стопора меньше, чем при использовании стопоров с головной частью на основе оксида алюминия, на 7 %. Следовательно, амплитуда колебаний металла в кристаллизаторе также меньше, что свидетельствует о

более стабильном уровне разливки стали. Число значительных скачков стопора при использовании стопоров с магниальной головной частью также уменьшилось — в среднем на 34 %.

Данные таблицы были систематизированы и представлены в виде гистограммы на рис. 4.

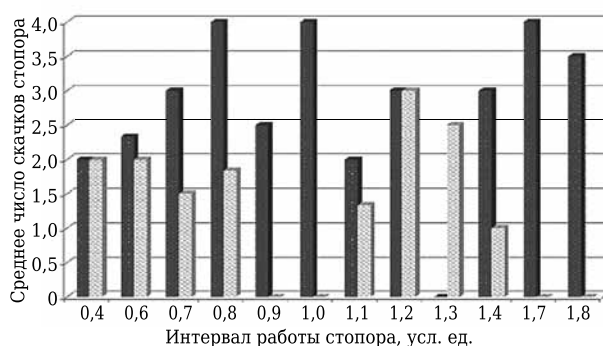


Рис. 4. Среднее число скачков стопора при разных интервалах (разнице между минимальными и максимальными положениями) его работы. Стопоры с головной частью из материалов на основе Al_2O_3 (■) и MgO (□)

Данные по максимальному изменению положения стопора (интервалу) во время разливки при использовании стопоров с разными материалами головной части (в условных единицах) и количество скачков стопора за плавку

Стопоры с головной частью из материала на основе Al_2O_3			Стопоры с головной частью из материала на основе MgO		
Номер плавки	разница между максимальным и минимальным положением стопора (интервал), усл. ед.	число скачков стопора за плавку	Номер плавки	разница между максимальным и минимальным положением стопора (интервал), усл. ед.	число скачков стопора за плавку
260084	1,4	3	256200	1,1	2
260085	1,8	4	256201	1,4	1
260086	1,7	4	256202	0,8	2
260087	1,8	3	256203	1,1	1
260088	0,6	2	256204	0,7	2
260089	0,4	2	256205	0,7	1
260090	0,6	2	256210	1,3	2
260091	0,7	3	256211	0,6	2
260095	1,2	2	256212	1,1	1
260096	0,9	3	256213	0,8	2
260097	0,9	2	256214	0,4	2
260098	1,2	4	260137	1,2	3
260099	0,6	3	260138	0,8	2
260100	1,1	2	260139	1,2	3
260101	0,9	2	260140	0,8	2
260102	1,0	4	260141	0,8	1
260115	0,9	3	260142	1,3	3
260116	0,7	3	260143	1,2	3
260117	0,8	4	260144	0,8	2
260118	1,2	3	Среднее	0,95	1,9
Среднее	1,02	2,9			

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, отмечено преимущество стопоров-моноблоков с головной частью из материала на основе MgO перед стопорами на основе Al_2O_3 , которое позволило:

- обеспечить более стабильную разливку стали, снизив число скачков уровня металла в кристаллизаторе и уменьшив амплитуду колебания в нем металла;
- исключить зарастание сталеразливочного канала (при получении заготовок малых сечений);
- уменьшить износ головной части стопора (при получении заготовок больших сечений).

В первую очередь преимущество достигается при разливке сталей, обрабатываемых кальцием.

Библиографический список

1. **Смирнов, А. Н.** Непрерывная разливка сортовой заготовки / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, А. Л. Подкопытов [и др.]. — [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://steeltimes.ru/books/casting/sortccm/sortccm.php>. Дата доступа 17.12.2015.
2. **Дюдкин, Д. А.** Взаимодействие кальцийсодержащих материалов с огнеупорами при внепечной обработке и разливке стали / Д. А. Дюдкин, В. В. Куценко. — [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://steeltimes.ru/conferences/conferences/2012/sovremenniegneupori/4/4.php>
3. **Алленштейн, Й.** Огнеупорные материалы. Структура, свойства, испытания : справочник / Й. Алленштейн [и др.] ; под ред. Г. Роуча, Х. Ватнау. — М. : Интернет Инжиниринг, 2010. — 392 с.
4. **Гузман, И. Я.** Химическая технология керамики / И. Я. Гузман. — М. : ООО РИФ «Стройматериалы», 2003.
5. **Кащеев, И. Д.** Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кащеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. — М. : Интернет Инжиниринг, 2007. — 748 с.
6. **Поволоцкий, Д. Я.** Внепечная обработка стали / Д. Я. Поволоцкий, В. А. Кудрин, А. Ф. Вишкарёв. — М. : МИСиС, 1995. — 256 с.
7. **Аксельрод, Л. М.** Разработка и внедрение комплекса мероприятий по снижению интенсивности формирования отложений в сталеразливочном тракте при непрерывной разливке металла на МНЛЗ / Л. М. Аксельрод. — [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.dissercat.com/content/razrabotka-i-vnedrenie-kompleksa-meropriyatii-po-snizheniyu-intensivnosti-formirovaniya-otlo>. Дата доступа 22.02.2016.
8. **Коростелёв, А. А.** Применение новых разработок компании Corwintec для разливки стали в ОАО «Таганрогский металлургический завод / А. А. Коростелёв, Н. С. Съёмщиков, А. А. Чернышев [и др.] // Новые огнеупоры. — 2014. — № 9. — С. 10–13.
9. **Божесков, А. Н.** Применение стаканов-дозаторов с продувкой аргоном для повышения уровня разливаемости сталей / А. Н. Божесков, В. В. Казаков, А. А. Коростелёв, Н. С. Съёмщиков // Сталь. — 2015. — № 7. — С. 13–16. ■

Получено 11.04.16

© А. А. Коростелёв, Н. С. Съёмщиков,
А. А. Чернышев, А. Е. Сёмин, К. Н. Бельмаз,
А. Н. Божесков, В. В. Казаков, А. В. Косоногов, 2016 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Министерство образования и науки Украины
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»
ПАО «УкрНИИОгнеупоров имени А. С. Бережного»



Международная научно-практическая конференция

**«Пятые научные чтения имени
академика НАНУ А. С. Бережного
«Физико-химические проблемы
в технологии тугоплавких
и неметаллических материалов»**

к 90-летию кафедры технологии керамики,
огнеупоров, стекла и эмалей»

11–14 октября 2016 г.

г. Харьков, Украина



Тематика конференции:

Секция 1. Керамические материалы и огнеупоры: от теории к практике

Секция 2. Химия и технология вяжущих и композиционных материалов

Секция 3. Физико-химические основы технологии конструкционных, в том числе наноструктурных материалов

Секция 4. Стеклоэмали и стеклокомпозиционные материалы и покрытия.

Контактная информация:

Федоренко Елена Юрьевна fedorenko_e@ukr.net
+380507130335, +380632970313

Саввова Оксана Викторовна savvova_oksana@ukr.net
+380502010444

Корогодская Алла Николаевна korogodskaya@yandex.ru
+380662296068

Воронов Геннадий Константинович voronov1976@ukr.net
+380661449973