

К. т. н. А. С. Тимофеева¹ (✉), В. Д. Шишкин², Н. А. Морозова²

¹ Старооскольский технологический институт имени А. А. Угарова (филиал ФГАОУ ВО НИТУ «МИСИС»), г. Старый Оскол, Россия

² ЗАО «ПКФ «НК», г. Старый Оскол, Россия

УДК 666.762.1:666.974.2]:621.746.047

ПОДБОР ОГНЕУПОРНОГО БЕТОНА ДЛЯ СТАКАНОВ-ДОЗАТОРОВ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ

Представлены экспериментальные исследования по выбору огнеупорного бетона для стакана-дозатора промежуточного ковша при непрерывной разливке стали. В экспериментах рассмотрены три вида огнеупорного бетона, определены их основные теплофизические свойства и выбран огнеупорный бетон с наилучшими рабочими характеристиками. Из выбранного огнеупорного бетона были изготовлены и апробированы в производственных условиях стаканы-дозаторы, которые показали хорошие результаты при непрерывной разливке стали.

Ключевые слова: стакан-дозатор, непрерывная разливка стали, МНЛЗ, зарастание канала, огнеупорный бетон, наполнитель.

В мире более 80 % стали получают на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). По сравнению с разливкой в изложницы этот метод наиболее эффективен по длительности процесса разливки и экономии металла. Однако для МНЛЗ необходимы высококачественные сложнофасонные огнеупорные изделия, такие, например, как стаканы-дозаторы.

Одной из проблем, возникающих при использовании стакана-дозатора при непрерывной разливке стали, является затягивание его канала, ограничивающее количество разливаемого металла и снижающее качество заготовки [1]. Причина затягивания стакана-дозатора — «намерзание» стали в канале в результате снижения ее температуры и высокой теплопроводности материала стакана-дозатора. К тому же часто происходит прилипание к стенкам неметаллических и шлаковых включений в процессе разливки. При этом прожигание канала стакана-дозатора кислородом отрицательно сказывается на процессе разливки в целом из-за ухудшения организации струй, поступающих в кристаллизаторы, вследствие нарушения геометрии внутренней полости стакана-дозатора.

Соответственно, это значительно увеличивает степень вторичного окисления стали.

С другой стороны, в результате взаимодействия жидкого металла с материалом стакана-дозатора может происходить его пропитка оксидами железа, марганца, кремния и алюминия, а в случае образования легкоплавких фракций на границе металл-огнеупор — размывание стенки стакана (рис. 1).

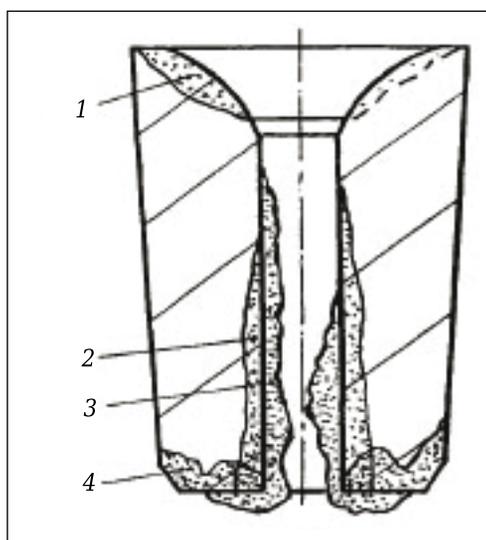


Рис. 1. Схематический износ стакана-дозатора в процессе разливки: 1 — разрушение в зоне контакта с головкой стопора; 2 — эрозия вследствие разрушения при контакте со струей металла; 3 — зарастание внутренней полости; 4 — разрушение в зоне контакта с погружаемым стаканом



А. С. Тимофеева
E-mail: uked@yandex.ru

Особенностью разливки стали открытой струей через стакан-дозатор является малое сечение его внутренней полости в зависимости от скорости разливки и сечения заготовки. При этом поддержание уровня металла в кристаллизаторе осуществляется за счет изменений скорости вытягивания заготовки и уровня металла в промежуточном ковше. Возможности таких методов регулирования расхода металла крайне ограничены в сравнении с разливкой через стопор-моноблок или шиберный затвор. Соответственно, стабильность разливки в течение всего цикла работы промежуточного ковша может быть достигнута только при условии сохранения постоянного сечения стакана-дозатора [2].

Выбор конструкции и материала стакана-дозатора для промежуточного ковша при разливке на сортовых МНЛЗ представляется весьма важным с точки зрения разливки стали длинными сериями. Огнеупоры для производства стаканов-дозаторов должны соответствовать следующим требованиям:

- температура применения не ниже 1600 °С, высокая прочность, хорошая термостойкость, минимальная усадка;

- чистый химический состав заполнителя огнеупорного материала, фракция заполнителя не крупнее 6 мм;

- максимально допустимая температура плавления вяжущего.

Таким требованиям может соответствовать огнеупорный бетон, так как он больше подходит для получения сложнофасонных изделий с низкой пористостью, чего практически невозможно добиться при формовании обычных огнеупоров из полусухих масс. Однако состав и свойства огнеупорных масс и бетонов, применяемых для производства таких изделий, как стаканы-дозаторы, мало освещены в литературе. В этой связи актуальны исследования, направленные на выбор оптимального состава стакана-дозатора для непрерывной разливки стали.

В настоящий момент на рынке основная часть стаканов-дозаторов изготавливается из дорогих магнезиальных материалов. Однако теоретические исследования показали, что их можно заменить более дешевыми алюмосиликатными материалами с высоким содержанием Al_2O_3 , в частности корундовыми. Их температура применения зависит от содержания Al_2O_3 и может составлять от 1600 до 1850 °С, корундовых до 2000 °С.

Корундовые бетоны на глиноземистом и высокоглиноземистом цементе при нагреве от 700 до 1000 °С разупрочняются; их прочность при этом составляет 70 % исходной. Заполнителями для получения таких бетонов служат электроплавленный и спеченный корунд, бой корунда. Рабочая температура и механические характеристики электрокорунда и периклазовых мате-

риалов примерно одинаковы, что позволяет заменить их на более дешевый электрокорунд. В настоящей работе в качестве заполнителя бетона использовали материалы алюмосиликатной группы. Состав бетонных образцов исследовали на спектрометре «Спектроскан МАКС-GV» в лаборатории ЗАО «ПКФ «НК».

Для сравнительной характеристики огнеупорных бетонов были выбраны 3 образца огнеупорного бетона с одинаковым химическим составом (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, MgO и незначительное количество других компонентов). В качестве заполнителя для образца огнеупорного бетона № 1 был взят муллит (Al_2O_3 от 60 %), для образца № 3 — электрокорунд (Al_2O_3 от 95 %). Огнеупорная бетонная масса для образца № 2 была изготовлена на основе электрокорунда КС-95.

На основе анализа публикаций [2–7] был выбран состав огнеупорного бетона № 3 (основной заполнитель — электрокорунд, вяжущее — цемент СМА-72). Образцы трех видов бетона были получены методом виброформования. Компоненты огнеупорного материала взвешивали в необходимых пропорциях, засыпали в бетоносмеситель принудительного действия и перемешивали в течение 1 мин. Затем к сухой смеси добавляли воду и полученную массу перемешивали 6 мин до оптимальной консистенции. Далее формы, закрепленные на вибростоле, заполняли массой, вибрировали в течение 1 мин и устанавливали в увлажняющую камеру на 3 сут для равномерного схватывания. Полученные образцы извлекали и определяли их массу и размеры.

Все образцы были проверены на остаточное изменение размеров при нагреве согласно стандартной методике — по разности объема образцов до и после нагрева по заданному режиму с пересчетом полученной объемной усадки (или роста) на линейную усадку. Эксперименты были проведены с двумя образцами-кубами с ребром 70 мм каждого вида бетона. Образцы измеряли, помещали в печь, выдерживали в ней в течение 2 ч при 1300 °С и охлаждали до 100 °С в печи. Затем образцы извлекали и снова определяли их размеры. По стандартной методике оценивали также открытую пористость образцов (табл. 1).

Образцы бетона № 1 имели высокую усадку из-за меньшего содержания Al_2O_3 в составе заполнителя. Образцы бетона № 2 показали наибольшую пористость, поскольку при виброформовании зерна заполнителя не полностью прилегают друг к другу и остаются поры.

Термостойкость определяли на двух образцах-кубах с ребром 50 мм каждого из трех образцов бетона после обжига в камерной электропечи ТК.15.1300.1Ф. Предел прочности при сжатии определяли на образцах-кубах с ребром 70 мм по стандартной методике. Образцы, прошедшие сушку и обжиг, испытывали на прессе ИП-1А-1000 ПК. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 1. Результаты определения усадки и пористости образцов

Образец бетона	Номер образца-куба	Усадка, %			Открытая пористость, %
		по высоте	по ширине	среднее значение	
№ 1	1	0,52	0,57	0,55	19
	2	0,68	0,51	0,6	18,5
№ 2	1	0,4	0,4	0,4	25,5
	2	0,35	0,5	0,42	24,7
№ 3	1	0,4	0,3	0,35	15,5
	2	0,2	0,2	0,2	15,9

Образцы бетона № 2 показали наихудшие результаты, что обусловлено методом их изготовления. Все образцы имели приемлемую термостойкость, но лучший результат показал бетон № 3.

Таким образом, образцы бетона № 1 не подходят для изготовления стаканов-дозаторов из-за их химического состава. Высокое количество низкоплавких соединений и низкое содержание Al_2O_3 приводят при взаимодействии с жидкой сталью к размыванию или залипанию изделия. Следовательно, изготавливать стаканы-дозаторы с муллитовым наполнителем, а также с наполнителем с меньшим содержанием Al_2O_3 нецелесообразно. Кроме того, этот вид огнеупорного бетона имеет высокую открытую пористость и небольшую прочность, что очень важно для службы стакана-дозатора. Образцы бетона № 2 также не подходят для производства стаканов-дозаторов, поскольку имеют самую низкую прочность и высокую открытую пористость. Образцы бетона № 3 показали наилучшие результаты и являются наиболее эффективными для изготовления ответственных огнеупорных изделий. Свойства полученного огнеупорного бетона № 3 полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к огнеупорным бетонам для изготовления стаканов-дозаторов.

К стаканам-дозаторам, применяемым для непрерывной разливки стали, предъявляются следующие требования к внешнему виду:

- Глубина раковин, мм, не более:
 - на рабочей поверхности.....3
 - на нерабочей поверхности.....5
- Диаметр раковин, мм, не более:
 - на рабочей поверхности.....3
 - на нерабочей поверхности.....5
- Отбитость углов и ребер:
 - на рабочей поверхности:
 - глубиной, мм, не более.....3
 - длиной, мм, не более.....5
 - на нерабочей поверхности:
 - глубиной, мм, не более.....7
 - длиной, мм, не более.....15
- Трещины..... Не допускаются

На основе проведенных экспериментов был подобран состав огнеупорного бетона для производства стаканов-дозаторов. Рассчитан диаметр канала стакана-дозатора: от 0,034 (минимальный) до 0,058 м (максимальный). При этом скорость вытягивания заготовки составляет 1,36 т/мин. Диаметр канала принят равным

Таблица 2. Результаты определения прочности и термостойкости образцов

Образец бетона	Номер образца-куба	Предел прочности при сжатии*, Н/мм ²	Термостойкость, тепло-смены
№ 1	1	56,4 / 65,3	56
	2	46,2 / 59,1	50
№ 2	1	39,3 / 45,4	37
	2	37,1 / 49,0	29
№ 3	1	69,6 / 90,1	72
	2	72,3 / 89,2	81

* В числителе — до обжига образцов, в знаменателе — после обжига.

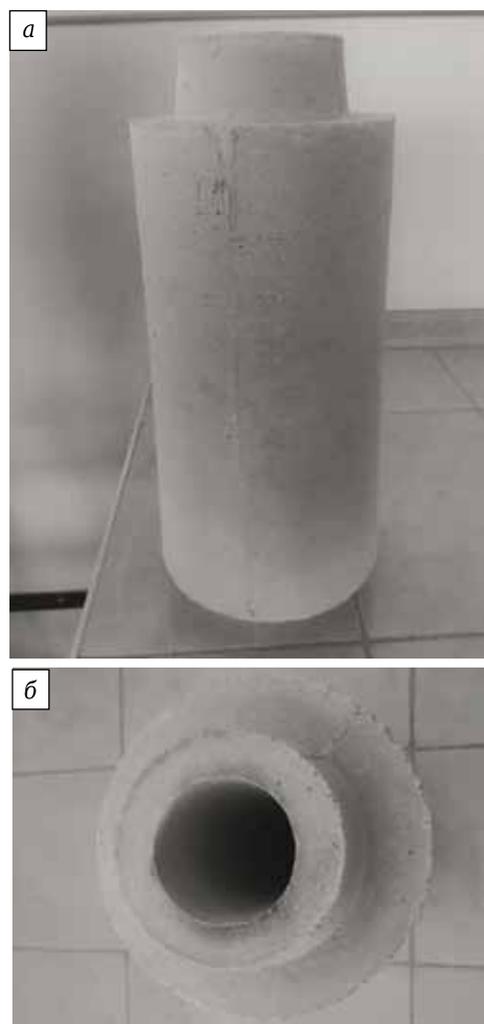


Рис. 2. Общий (а) и внешний вид стакана-дозатора (б)

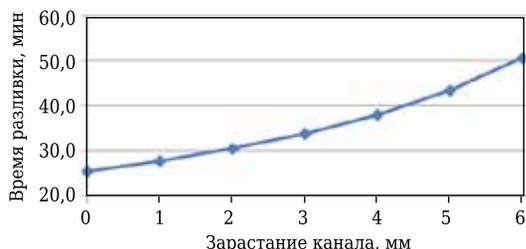


Рис. 3. Влияние зарастания канала стакана-дозатора из огнеупорного бетона № 3 на время одной разливки

40 мм. На основе расчетов были изготовлены стаканы-дозаторы, которые соответствуют требованиям, предъявляемым к их внешнему виду.

Библиографический список

1. **Пройдак, Ю. С.** Влияние некоторых технологических факторов на разливаемость электростали на МНЛЗ / Ю. С. Пройдак, И. В. Деревянченко, Л. В. Камкина [и др.] // Міжнародні конференції: Литьє. Металургія. — Запорожье : Запорожская торговельно-промислова палата, 2013. — С. 281–283.

2. **Кащеев, И. Д.** Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок : справочник. Т. 1 / И. Д. Кащеев. — М. : Интермет Инжиниринг, 2018. — 347 с.

3. **Абдрахманов, Е. С.** Огнеупоры для металлургических и литейных печей : уч. пособие / Е. С. Абдрахманов, М. Ж. Тусулбекова. — М. : ПГУ им. С. Торайгырова, 2016. — 92 с.

4. **Кащеев, И. Д.** Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок : справочник. Т. 2 / И. Д. Кащеев. — М. : Интермет Инжиниринг, 2015. — 458 с.

В зависимости от зарастания канала стакана-дозатора из огнеупорного бетона № 3 было рассчитано время одной разливки (рис. 3).

Скорость разливки стали через стакан-дозатор из огнеупорного бетона № 3 максимальна, поскольку после одной разливки канал стакана зарастает на 1 мм, а при разливке через стаканы-дозаторы из других видов бетона этот показатель составляет от 3 до 5 мм. В результате производительность разливки увеличивается на 15 %. Кроме того, стоимость таких стаканов-дозаторов по сравнению со стаканами-дозаторами фирм Kun Steel Refractories Co., IFGL Refractories, Ltd, Ropczyce, S. A. меньше на 30 %.

5. **Честерс, Д. Х.** Огнеупоры в сталеплавильном производстве / Д. Х. Честерс. — М. : Metallurgizdat, 1961. — 262 с.

6. **Тюлькин, Д. С.** Разработка составов и технологии получения огнеупорных материалов на основе корунда и муллита с повышенной стойкостью к высокотемпературным деформациям : дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск, 2016. — 186 с.

7. **Кащеев, И. Д.** Химическая технология огнеупоров : уч. пособие / И. Д. Кащеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. — М. : Интермет Инжиниринг, 2007. — 752 с. ■

Получено 29.09.19
 © А. С. Тимофеева, В. Д. Шишкин,
 Н. А. Морозова, 2020 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



Открыт прием заявок для участия в отборе программы «УМНИК» (Фонда содействия инновациям) на площадке НИТУ «МИСиС». Станьте победителем и получите 500 тысяч рублей в течение двух лет на развитие своей идеи. (Участник может стать победителем программы «УМНИК» только один раз вне зависимости от места выступления и конкретного проекта). К участию в отборе программы «УМНИК» допускаются граждане Российской Федерации возрастом от 18 до 30 лет включительно, у которых имеется в разработке собственный научно-инновационный проект.

Заявку на участие в конкурсе можно оставить на сайте <https://umnik.fasie.ru/> до 25.10.2020.

Куратор программы «УМНИК» в НИТУ «МИСиС»
 Емелина Надежда Борисовна
 Тел. +7 (926) 569-31-35
 e-mail: nadyafx@mail.ru