



НОВЫЕ

ISSN 1683-4518

ОГНЕУПОРЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

14-17 ноября 2017

Москва, ВДНХ, павильон 75

23-я

**Международная
промышленная
выставка**

МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



Поддержка:



Организатор:



Металл Экспо'2017

www.metal-expo.ru

Оргкомитет выставки:
тел./факс +7 (495) 734-99-66



Металлопродукция и металлоконструкции
для строительной отрасли
МеталлСтройФорум'2017



Оборудование и технологии
для металлургии и металлообработки
МеталлургМаш'2017



Транспортные и логистические услуги
для предприятий ГМК
МеталлТрансЛогистик'2017

Генеральный
информационный партнер:



Специализированный журнал
**Металлоснабжение
и сбыт**



Ежегодный
выставочный
аудит с 2006 г.



11

НОЯБРЬ 2017

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор **КАЩЕЕВ И. Д.**
Зам. главного редактора **АКСЕЛЬРОД Л. М.**

БЕЛЕНЬКИЙ А. М.	МОЖЖЕРИН В. А.	ШУБИН В. И.
БЕЛЯКОВ А. В.	ПЕРЕПЕЛИЦЫН В. А.	ЮРКОВ А. В.
ВЕРЕЩАГИН В. И.	ПИВИНСКИЙ Ю. Е.	
ВИСЛОГУЗОВА Э. А.	ПЫРИКОВ А. Н.	ANEZIRIS CHRISTOS G. (ГЕРМАНИЯ)
ВОРОНИНА О. Б.	СМИРНОВ А. Н.	EMAD M. M. EWAIS (ЕГИПЕТ)
ГОРБАНЕНКО В. М.	СОКОВ В. Н.	GARTEN VICTORIA (ГЕРМАНИЯ)
ГОРОХОВСКИЙ А. В.	СОКОЛОВ В. А.	JACEK SZCZERBA (ПОЛЬША)
ГОРОХОВСКИЙ А. М.	СОСКОВЕЦ О. Н.	MARTYNENKO VALERY (УКРАИНА)
ДАВЫДОВ С. Я.	СТОЛИН А. М.	PISCHEK STEFAN PAUL (АВСТРИЯ)
ДОРОГАНОВ В. А.	СУВОРОВ С. А.	RASCHMAN PAVEL (СЛОВАКИЯ)
КАЛЕНДА А. В.	СУЗДАЛЬЦЕВ Е. И.	STONYS RIMVYDAS (ЛИТВА)
КУЗНЕЦОВ Д. В.	ТАРАСОВСКИЙ В. П.	WOHRMEYER CHRISTOPH (ГЕРМАНИЯ)
ЛЕБЕДЕВ Ю. Н.	ФИЛОНОВ М. Р.	
ЛУКИН Е. С.	ШЕВЧИК А. П.	
	ШЕШУКОВ О. Ю.	

Научный редактор *Г. Г. Гаврик, Е. В. Костицына*
Художник-дизайнер *Т. П. Кошкина*
Компьютерная верстка *Т. П. Кошкиной*
Корректор *Ю. И. Королёва*

Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-65789 от 20.05.2016 г.

Адрес редакции:
119049, Москва, Ленинский проспект, д. 4 (п/я № 217)
Тел.: (495) 955-01-83, (495) 955-01-82
E-mail: ogneupor@imet.ru, ognemet@mis.ru



Статьи из журнала переводятся на английский язык и публикуются
в журнале «**Refractories and Industrial Ceramics**»,
издаваемом международным информационно-издательским
консорциумом «Springer»

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «Первая оперативная типография»
115114, Москва, 2-й Кожевнический пер., д. 12, стр. 5
Тел.: 8 (495) 604-41-54, 8 (495) 994-49-94

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ РАН, в каталог российских электронных периодических изданий. Журнал входит также в систему РИНЦ, а его переводная версия (Refractories and Industrial Ceramics) — в международные базы цитирования Web of Science (раздел Science Citation Index Expanded) и Scopus.

Ответственность за достоверность информации в публикуемых
материалах и рекламе несут авторы и рекламодатели.
Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов
опубликованных материалов

Подписано в печать 10.11.17. Формат 60х84 1/8.
Бумага мелованная.
Цифровая печать. Усл. печ. л. 9,00.
Заказ

Аксельрод Л. М. Черная металлургия, огнеупорные материалы. Реальность и прогнозы.....3

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

Бухебнер Г., Ханна А., Хохеггер М., Цеттль К.-М. Последние достижения в области периклазоуглеродистых огнеупоров для современных электродуговых печей.....15

Числавлев В. В., Фейлер С. В., Бойков Д. В., Неунывахина Д. Т. Разработка конструкции огнеупорных элементов для рафинирования стали при непрерывной разливке.....22

ПРОИЗВОДСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ

Харитонов Д. В., Беляков А. В., Анашкин Д. А. Применение инструментов «бережливого производства» для оптимизации выпуска мелких серий изделий из стеклокерамики. 1. Общие сведения о принципах «бережливого производства».....27

Беляев И. В., Степнов А. В., Киреев А. В., Павлов А. А. Огнеупорные керамические изделия из чистых оксидов с геттерным покрытием.....31

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Памяти **Вячеслава Николаевича Чернышева**.....34

Плетнев П. М., Погребенков В. М., Верещагин В. И., Тюлькин Д. С. Муллитокорундовые материалы на основе муллитовой связки, стойкие к высокотемпературным деформациям.....36

Комоликов Ю. И., Кашеев И. Д., Пудов В. И. Влияние способа получения высокодисперсной добавки на свойства корундовой керамики.....45

Корчун А. В., Трофимович М. А., Галигузов А. А., Малахо А. П., Авдеев В. В., Октябрьская Л. В. Кинетика окисления композиционных материалов на основе дискретного углеродного волокна.....49

Марков М. А., Красиков А. В., Геращенко Д. А., Быкова А. Д., Орданьян С. С., Федосеев М. Л. Формирование защитных металлокерамических покрытий на стальных материалах микродуговым оксидированием с электрохимическим осаждением никеля.....53

Соков В. Н. Высокопористый гранулированный корундовый наполнитель из глиноземополистирольных масс. Часть 4. Определение оптимальных составов смесей.....59

Тимофеева А. С., Никитченко Т. В., Шишкин В. Д. Влияние различных факторов на свойства огнеупорного бетона.....62

Кузин В. В., Фёдоров С. Ю., Григорьев С. Н. Технологическое обеспечение качества кромок колец пары трения из карбида кремния для торцевых уплотнений насосов.....65

ИНФОРМАЦИЯ И ХРОНИКА

«Термообработка-2017» — успехи прошедшей выставки...70

Abstracts.....71

Aksel'rod L. M. Iron and steel industry, refractory materials: reality and estimates.....3

REFRACTORIES IN THE HEAT UNITS

Buchebner G., Hanna A., Hohegger M., Zettl K.-M. Latest developments in magnesia-carbon bricks for modern electric arc furnaces.....15

Chislavlev V. V., Feiler S. V., Boikov D. V., Neunyvakhina D. T. The design engineering of the refractory components for the steel refining under the continuous casting.....22

MANUFACTURING AND EQUIPMENT

Kharitonov D. V., Belyakov A. V., Anashkin D. A. The application of «lean production» capabilities for improvement of the glass-ceramics production by small batches. 1. The general data on the "lean production" principles.....27

Belyaev I. V., Stepnov A. V., Kireev A. V., Pavlov A. A. Pure oxide ceramic refractory wares with getter coating.....31

SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT

In memory of **Vyacheslav Nikolaevich Chernyshev**.....34

Pletnev P. M., Pogrebenkov V. M., Vereshchagin V. I., Tyul'kin D. S. Mullite-bonded mullite-corundum materials resistant against the high-temperature deformation.....36

Komolikhov Yu. I., Kashcheev I. D., Pudov V. I. Effect of the highly-dispersed additives production method on the corundum ceramics properties.....45

Korchun A. V., Trofimovich M. A., Galiguzov A. A., Malakho A. P., Avdeev V. V., Oktyabr'skaya L. V. The oxidation kinetics for the discontinuous carbon fibers composite materials.....49

Markov M. A., Krasikov A. V., Gerashchenkov D. A., Bykov A. D., Ordan'yan S. S., Fedoseev M. L. Protective ceramic-metal coatings forming on the steel surfaces by means of the micro-arc oxidizing with the electro-chemical nickel deposition.....53

Sokov V. N. Highly porous granulated corundum aggregate prepared out of alumina-polystyrene-foam mixture. Part 4. The optimum compositions definition.....59

Timofeeva A. S., Nikitchenko T. V., Shishkin V. D. Studying of various effects influence on the refractory concrete's properties.....62

Kuzin V. V., Fedorov S. Yu., Grigor'ev S. N. The engineering quality support for the silicon carbide ring's edges which are the friction pair of the pump's face seal.....65

INFORMATION

«Heat Treatment-2017» — achievements of the exhibition.....70

Abstracts.....71

В. В. Числавлев¹ (✉), к. т. н. С. В. Фейлер¹, к. т. н. Д. В. Бойков²,
Д. Т. Неунывахина¹

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

² АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк, Россия

УДК 666.76:669.18:046.518

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ОГНЕУПОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РАФИНИРОВАНИЯ СТАЛИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ

Проведено физическое и математическое моделирование гидродинамических процессов в промежуточном ковше 4-ручьевого блюмовой МНЛЗ для условий ЕВРАЗ ЗСМК. Выполнена качественная оценка процессов перемешивания расплава с использованием физической модели промежуточного ковша. Дана количественная оценка эффективности рафинирования металла от неметаллических включений в промежуточном ковше при использовании моделей огнеупорных элементов различной конфигурации. Разработаны рекомендации по конструктивным параметрам полнопрофильных огнеупорных перегородок промежуточного ковша.

Ключевые слова: рафинирование стали, неметаллические включения, огнеупорные элементы, физическое моделирование, математическое моделирование, промежуточный ковш, непрерывная разливка стали.

Успех в реализации металлопродукции определяется не только ее соответствием государственным и международным стандартам, но и дополнительными требованиями, предъявляемыми заказчиками к качеству стали ответственного назначения, в частности к рельсовому металлу. В работах, выполненных специалистами ОАО ВНИИЖТ, ИМЕТ РАН и ОАО УИМ [1–5], отмечается, что эксплуатационная стойкость рельсов в пути значительно зависит от чистоты стали по неметаллическим включениям. Причиной образования контактно-усталостных дефектов, как правило, служат крупные оксидные и нитридные недеформируемые неметаллические включения [5]. Рафинирование расплава от неметаллических включений осуществляется в процессе внепечной обработки и непрерывной разливки стали. При этом эффективность мероприятий, реализуемых в процессе внепечной обработки, может быть повышена при обеспечении условий рафинирования стали в процессе непрерывной разливки [6].

В связи с тем, что промежуточный ковш является последней футерованной емкостью, в которой металл находится в жидком состоянии, в ковше целесообразно осуществлять рафинирование металла от докристаллизационных не-

металлических включений. Условия рафинирования металла в промежуточном ковше во многом определяются гидродинамическими процессами, которые обуславливают распределение и динамику движения металлического расплава и неметаллических включений. Гидродинамические процессы, в свою очередь, определяются конфигурацией внутреннего объема промежуточного ковша, которую можно изменять, устанавливая специальные огнеупорные элементы с определенными геометрическими параметрами, оптимизированными под условия и параметры процесса непрерывной разливки стали.

Для оценки эффективности и совершенствования конфигурации внутреннего объема промежуточного ковша 4-ручьевого МНЛЗ электроплавильного цеха ЕВРАЗ ЗСМК разработан лабораторно-экспериментальный комплекс (рис. 1) [7], основным элементом которого является физическая модель промежуточного ковша, выполненная из прозрачного органического стекла в масштабе 1,0 : 2,5 с обеспечением подобия исследуемых процессов. В качестве моделирующей жидкости используется вода, поскольку кинематические вязкости воды при комнатной температуре и жидкой стали при температуре разливки близки. Визуализация потоков жидкости осуществляется введением в струю воды индикатора (красителя), в качестве которого используется водный раствор KMnO_4 концентрацией 3 г/л. Информацию о направлении и скорости движения потоков жидкости в различных зонах промежуточного ковша и о минимальной длительности пребывания моде-



В. В. Числавлев
E-mail: chisl.vv@yandex.ru

лирующей жидкости при различных технологических параметрах процесса разлива стали и конструкции промежуточного ковша получали путем обработки видеоматериала с показом кинограмм. Оценка степени гомогенизации жидкости, уточнение минимальной длительности пребывания моделирующей жидкости в промежуточном ковше и определение объема застойных зон осуществлялись кондуктометрическим методом. В качестве индикатора использовался раствор хлорида натрия. Электрическую проводимость и содержание NaCl в воде измеряли солемером PS202, датчики которого установлены в разливочных стаканах модели промежуточного ковша. При этом показания солемера непрерывно регистрировались.

Физические модели огнеупорных элементов были реализованы методом послойного моделирования (FDM) с помощью технологии 3D-печати (рис. 2), что позволило обеспечить точность геометрических параметров моделей. Гидродинамику металла исследовали при разливе стали со скоростью 0,7 м/мин с подачей металла в промежуточный ковш через защитную трубу и получении заготовки сечением 300×360 мм. Моделирование проводили при различных вариантах конструкции промежуточного ковша: 1 — без огнеупорных элементов (базовый вариант); 2 — с установкой струегасителей, различной высоты (рис. 2, а); 3 — с установкой полнопрофильных перегородок с переливными отверстиями, направляющими поток моделирующей жидкости к поверхности под углом 30°, различных конфигураций (рис. 2, б):

А — диаметр всех отверстий 20 мм, Б — отверстия нижнего ряда диаметром 20 мм, верхнего — 32 мм, В — отверстия нижнего ряда диаметром 32 мм, верхнего — 40 мм.

Оценку эффективности конфигурации промежуточного ковша для рафинирования металлического расплава от неметаллических включений осуществляли при использовании метода

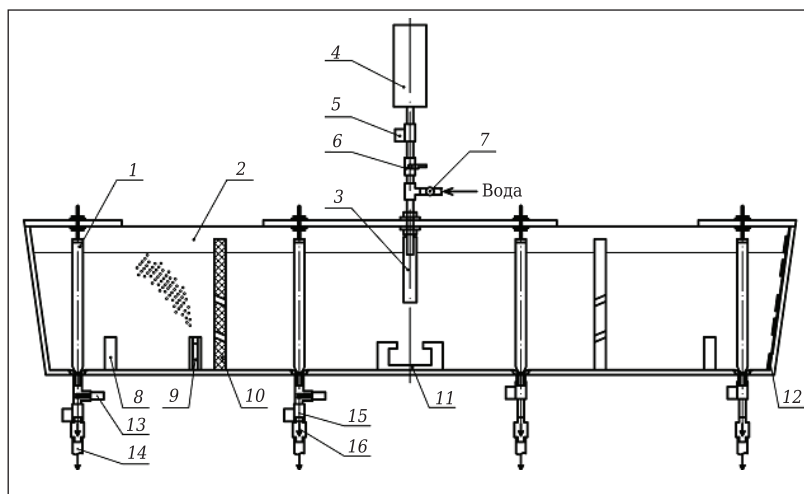


Рис. 1. Схема лабораторно-экспериментального комплекса для исследования гидродинамических процессов в промежуточном ковше: 1 — стопор; 2 — модель промежуточного ковша; 3 — труба подвода моделирующей жидкости; 4 — резервуар для красителя (солевого раствора); 5 — электромагнитный клапан (нормально закрытый) для подачи красителя; 6 — кран; 7 — вентиль, регулирующий расход моделирующей жидкости; 8–11 — модели рафинирующих устройств; 12 — датчики уровня моделирующей жидкости; 13 — датчики солемера; 14 — линии отвода моделирующей жидкости; 15 — электромагнитный клапан (нормально открытый) для отвода моделирующей жидкости; 16 — расходомеры

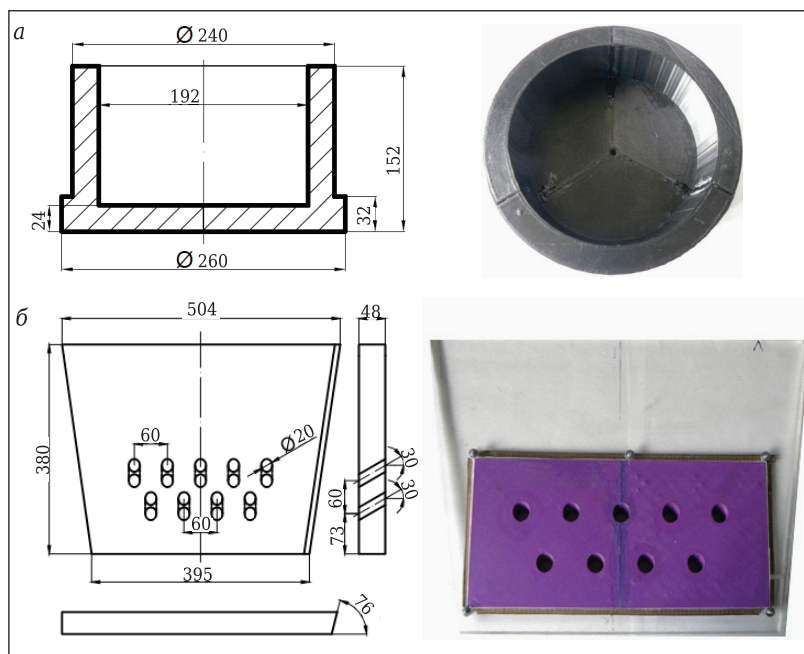


Рис. 2. Модели огнеупорных элементов промежуточного ковша: а — струегаситель; б — полнопрофильные перегородки

исследования распределения времени пребывания жидкости в агрегате (RTD). Для определения скорости потоков металлического расплава в объеме промежуточного ковша использовали методы вычислительной гидродинамики на разработанной математической модели [8, 9], при этом в качестве индикатора использовали жидкость с физическими характеристиками, анало-

гичными жидкой стали. По условиям моделирования введение индикатора осуществлялось в течение 5 с, затем непрерывно поступал поток жидкой стали. Установлено, что при базовом варианте конструкции промежуточного ковша

время достижения центрального и периферийного разливочных стаканов составляет 4 и 33 с соответственно (рис. 3). Достижение потока центральных разливочных стаканов осуществляется за короткий временной интервал, образуя

при этом «короткие» пути, что в промышленных условиях приводит к попаданию докристаллизационных неметаллических включений, транспортируемых потоком металла, в кристаллизатор и далее в непрерывнолитую заготовку.

Дальнейшие исследования гидродинамики металла в промежуточном ковше проводили с использованием струегасителей и полнопрофильных перегородок различной конфигурации. Результаты исследований в характерные моменты времени (достижение разливочных стаканов) показаны на рис. 4. При попадании моделирующей жидкости в объем струегасителя происходит подавление части энергии струи за счет циркуляции (см. рис. 4, 5), после чего поток направляется к поверхности, отражается и поступает к разливочным стаканам (см. рис. 4, а). В результате циркуляции в ограниченном объеме скорость гидропотоков в объеме промежуточного ковша уменьшается. При таком режиме течения наблюдаются уменьшение области с активными завихрениями, снижение турбулентности и, как следствие, увеличение минимальной длительности пребывания металла в промежуточном ковше.

При установке полнопрофильных перегородок происходит разделение промежуточного ковша на три камеры (одну приемную и две разливочные). В приемной камере происходит активная циркуляция моделирующей жидкости, через переливные отверстия поток поступает в разливочные камеры (см. рис. 4, б). Струи, проходящие через отверстия в перегородках, направляются к поверхности и достигают ее в зоне центральной части разливочной камеры между стопорами. При достижении поверхности происходит условное разделение основного потока на

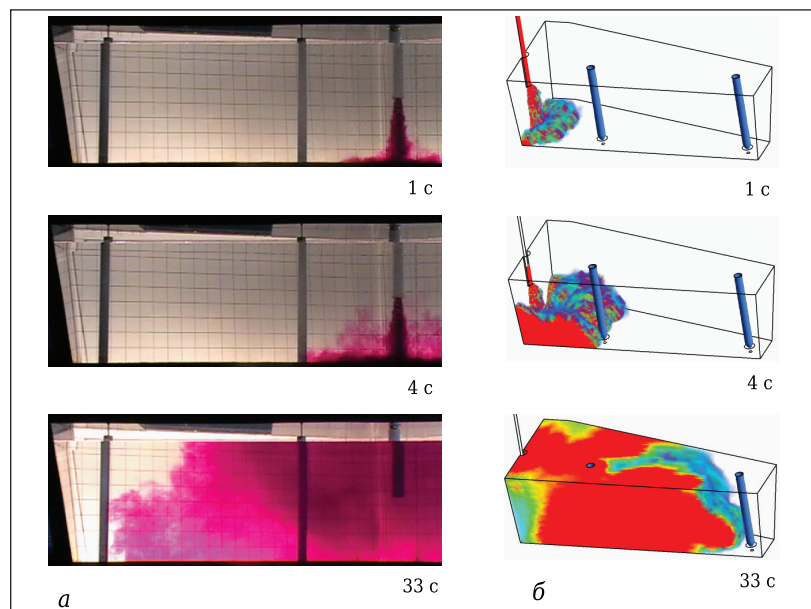


Рис. 3. Гидродинамическая картина в промежуточном ковше базовой конструкции, полученная методами физического (а) и математического моделирования (б)

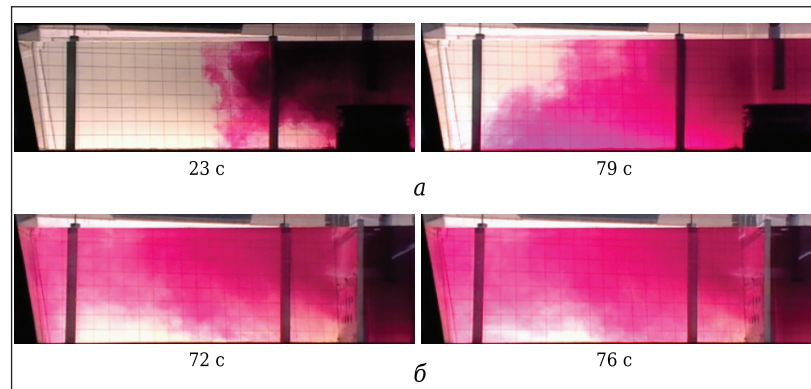


Рис. 4. Гидродинамическая картина в промежуточном ковше: а — с использованием струегасителя; б — с использованием полнопрофильных перегородок

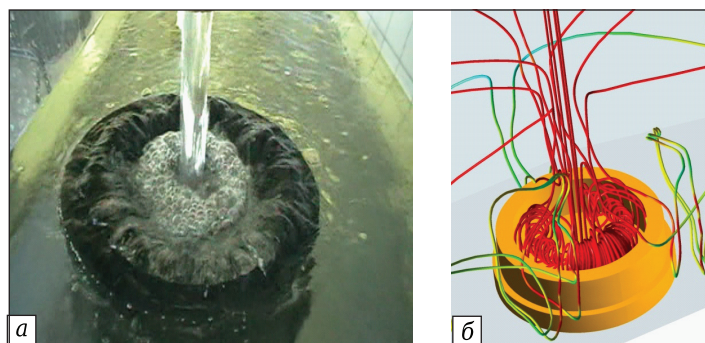


Рис. 5. Гидродинамические процессы в объеме струегасителя при физическом (а) и математическом (б) моделировании

две части. Одна часть движется вдоль поверхности и, доходя до торцевых стенок, устремляется к периферийным разливочным стаканам и далее движется с меньшей скоростью в придонных слоях вблизи задних стенок к центральным разливочным стаканам. Другая часть, отраженная от поверхности основного потока, направляется к центральному разливочному стакану.

На рис. 6 показано время достижения порции модельной жидкости центральных и периферийных разливочных стаканов для исследуемых вариантов. Видно, что при использовании моделей полнопрофильных перегородок с отверстиями нижнего ряда диаметром 20 мм и верхнего ряда диаметром 32 мм (вариант 3Б) время достижения центральных и периферийных разливочных стаканов различается на 4 с, что свидетельствует об активной циркуляции моделирующей жидкости, ее гомогенизации и отсутствии «коротких» путей.

Анализ результатов моделирования, полученных кондуктометрическим методом, позволяет сделать вывод о том, что объем застойных зон в промежуточном ковше базового варианта 1 конструкции составляет около 28 % (рис. 7), а наличие «короткого» пути к центральным разливочным стаканам не позволяет в полной мере обеспечить гомогенизацию металлического расплава по химическому составу и температуре, а также рафинирование металлического расплава от неметаллических включений; требуется применение дополнительных огнеупорных элементов для организации движения потоков металла, увеличения минимального времени пребывания порции металла в промежуточном ковше и создания зон активной циркуляции расплава, уменьшения объема застойных зон.

Использование струегасителя позволяет значительно увеличить время пребывания порции моделирующей жидкости в объеме модели промежуточного ковша до 23 и 79 с для центральных и периферийных ручьев соответственно (см. рис. 4, а и б). При этом увеличение высоты модели струегасителя до 128 мм способствует уменьшению объема застойных зон до 25 % (см. рис. 7). Однако эффективность применения струегасителя имеет кратковременный характер: поток расплава, отражаясь от поверхности, ниспадает; образуются придонные потоки.

По результатам моделирования установлено, что наилучшие результаты достигаются при использовании полнопрофильных перегородок с двумя рядами отверстий — диаметром 20 мм для нижнего ряда и 32 мм для верхнего. В этом случае моделирующая жидкость направляется к поверхности, создавая замкнутый контур циркуляции, охватывающий практически весь объем промежуточного ковша (см. рис. 4, б). Кроме того, при использовании перегородок время достижения потоком моделирующей жидко-

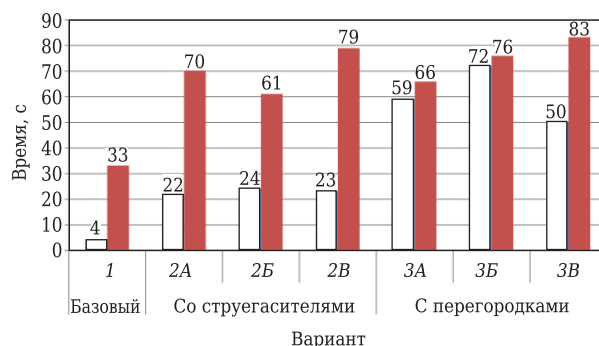


Рис. 6. Минимальное время достижения потока моделирующей жидкости центральных (□) и периферийных (■) разливочных стаканов при использовании различных моделей огнеупорных элементов

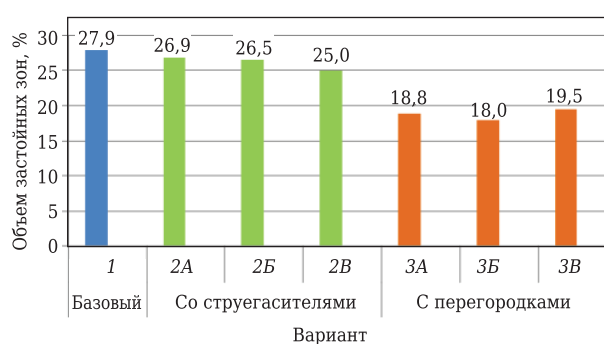


Рис. 7. Объем застойных зон в промежуточном ковше

сти центральных и периферийных разливочных стаканов максимально и составляет 72 и 76 с соответственно (см. рис. 4, б и 6), что подтверждается анализом данных, полученных кондуктометрическим методом (рис. 8). В промышленных условиях такое распределение потоков будет способствовать удалению неметаллических включений путем их коагуляции и дальнейшей ассимиляции покровным рафинировочным шлаком. При этом объем застойных зон составляет менее 18 % (см. рис. 7).

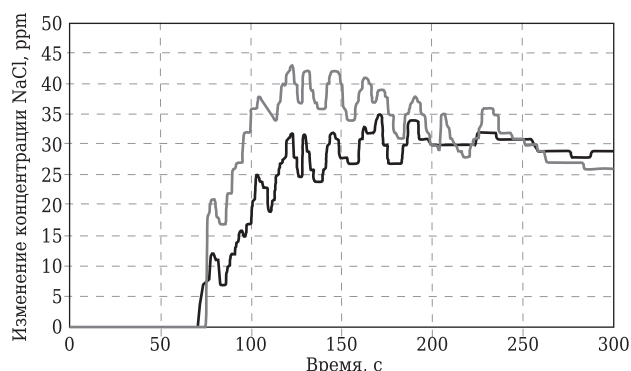


Рис. 8. Изменение концентрации NaCl по ходу процесса при использовании в промежуточном ковше полнопрофильных перегородок (вариант Б): — — центральный ручей; — — периферийный ручей

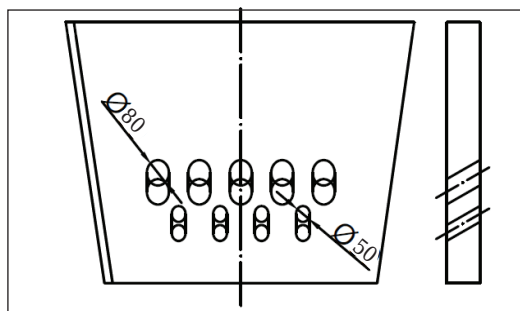


Рис. 9. Геометрические параметры полнопрофильной перегородки для промежуточного ковша МНЛЗ-1 ЕВРАЗ ЗСМК

Библиографический список

1. **Григорович, К. В.** Применение фракционного газового анализа для оценки эксплуатационных свойств рельсовой стали / Повышение качества и эксплуатационной стойкости рельсовой продукции : сб. докладов / К. В. Григорович, А. М. Арсенкин, С. С. Шибяев. — М. : Интекст, 2005. — 168 с.
2. **Дерябин, А. А.** Исследование эффективности процессов раскисления, модифицирования и микролегирования рельсовой стали / А. А. Дерябин, А. В. Добужская // Сталь. — 2000. — № 11. — С. 38–43.
3. **Дерябин, А. А.** Повышение требований к качеству железнодорожных рельсов в новом национальном стандарте / А. А. Дерябин, В. А. Рабовский, Е. А. Шур // Сталь. — 2000. — № 11. — С. 82–85.
4. **Линчевский, Б. В.** Влияние раскисления кордовой стали на природу оксидных неметаллических включений / Б. В. Линчевский, С. Н. Варпнатрикова, В. Я. Дашевский [и др.] // Изв. вузов. Черная металлургия. — 2002. — № 5. — С. 14–18.
5. **Добужская, А. Б.** Исследование неметаллических включений в рельсах и очагах контактно-усталостных дефектов / Неметаллические включения в рельсовой стали : сб. науч. тр. / А. Б. Добужская, А. А. Дерябин, В. И. Сырейщикова. — Екатеринбург : ГНЦ РФ ОАО «УИМ», 2005. — 152 с.
6. **Казаков, А. А.** Управление процессами образования неметаллических включений при производстве конвер-

Таким образом, для обеспечения рафинирования металлического расплава от неметаллических включений и гомогенизации расплава по химическому составу и температуре рекомендуется оснастить промежуточный ковш МНЛЗ двумя перегородками (рис. 9), установленными на расстоянии 360 мм от оси защитной трубы.

Работа выполнена в СибГИУ по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых, проект МК-1191.2017.8.

терной стали / А. А. Казаков, П. В. Ковалев, С. В. Рябошук [и др.] // Черные металлы. — 2014. — № 4. — С. 43–48.

7. **Числавлев, В. В.** Лабораторно-экспериментальный комплекс для изучения процессов гидродинамики при непрерывной разливке стали / В. В. Числавлев, С. В. Фейлер // Современные вопросы теории и практики обучения в вузе : сб. науч. тр. — 2015. — Вып. 18. — С. 60–72.

8. **Числавлев, В. В.** Моделирование процессов гидродинамики при непрерывной разливке стали / В. В. Числавлев, С. В. Глушков ; науч. рук. С. В. Фейлер // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : тр. Всероссийской науч. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 1–3 июня 2016 г. — Новокузнецк : СибГИУ, 2016. — Вып. 20. Ч. 3 : Естественные и технические науки. — С. 175–178.

9. **Протопопов, Е. В.** Разработка математической модели гидродинамики металлического расплава в промежуточном ковше четырехручьевого машины непрерывного литья заготовок / Е. В. Протопопов, В. В. Числавлев [и др.] // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии : сб. науч. тр. — М. — Новокузнецк : СибГИУ, 2015. — Вып. 34. — С. 24–29. ■

Получено 19.07.17

© В. В. Числавлев, С. В. Фейлер, Д. В. Бойков, Д. Т. Неунывахина, 2017 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

2-я Глобальная конференция и выставка Cemprocess
Оптимизация в цементной промышленности

global PROCESS OPTIMISATION
IN CEMENT MANUFACTURE
cemprocess
CONFERENCE & EXHIBITION

23–24 мая 2018 г.

Лондон, Великобритания



www.globalcement.com