

Д. Т. Н. К. Н. Вдовин, д. т. н. В. В. Точилкин (✉), д. т. н. И. М. Ячиков

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

УДК 666.76:[621.746.047:669.18.046.518

РАЗРАБОТКА ОГНЕУПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША СОРТОВОЙ МНЛЗ

Рассмотрено оборудование, устанавливаемое в камерах промежуточных ковшей машин непрерывного литья заготовок. Совершенствование оборудования обеспечивает эффективное формирование потоков металла и создает условия для повышения его качества.

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), промежуточный ковш (ПК), моделирование, неметаллические включения (НВ), рабочая жидкость (РЖ), система распределения потоков (СРП), коэффициент точечной загрязненности (КТЗ).

ВВЕДЕНИЕ

Промежуточный ковш (ПК) и его устройства, формирующие потоки жидкого металла в ковше и истечения его в кристаллизатор, являются важными технологическими элементами машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) [1, 2]. При разливке стали они обуславливают стабильность процесса разливки, оказывая большое влияние на повышение качества разливаемого металла [3, 4]. Важным показателем, определяющим качество непрерывнолитой заготовки, является содержание неметаллических включений (НВ) в стали [5–7]. Существует ряд способов, позволяющих повысить чистоту металла по НВ. Один из них — рафинирование стали в ПК.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При разработке оборудования ПК сортовой МНЛЗ должны учитываться следующие основные факторы [2, 5]:

- число и расположение ручьев МНЛЗ;
- число последовательно разливаемых плавок;
- оснащенность рафинирующими устройствами;
- характер конвективных потоков металла, способствующих отделению включений;
- достаточная вместимость, позволяющая осуществлять замену сталеразливочных ковшей во время серийной разливки и обеспечивающая необходимое время для всплытия НВ;

- особенности начала разливки и метод удаления шлака и остатков металла после окончания разливки;

- способ регулирования истечения металла из ПК;

- возможность корректирующей доводки химического состава стали посредством ввода порошковой проволоки специального состава;

- дно и стенки ПК должны иметь ровные поверхности, чтобы не препятствовать движению потока стали. Выступающие углы футеровки подвергаются большому износу, сокращая срок службы ковша и затрудняя удаление настылей;

- для многоручьевых МНЛЗ с помощью специальных устройств и приемов необходимо выравнивать химический состав и температуру стали по ручьям;

- подогрев ПК, что обеспечивает всплытие НВ и поддержание необходимой для разливки температуры стали;

- герметизация ПК для предотвращения вторичного окисления стали воздухом;

- ограничение попадания шлака из разливочного ковша в промежуточный;

- застойные зоны в объеме ПК не должны присутствовать, поскольку они вызывают неравномерное распределение концентрации и температуры стали.

Современные ПК снабжаются оборудованием для регулирования потоков металла [8–12]. В настоящее время в электросталеплавильном цехе (ЭСЦ) ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) функционируют две сортовые 5-ручьевые МНЛЗ с расстоянием между ручьями 1250 мм. На введенных в эксплуатацию машинах используют 5-ручьевой Т-образный ПК. В связи с конструктивными особенностями этого ПК затруднено исполь-



В. В. Точилкин
E-mail: toch56@mail.ru

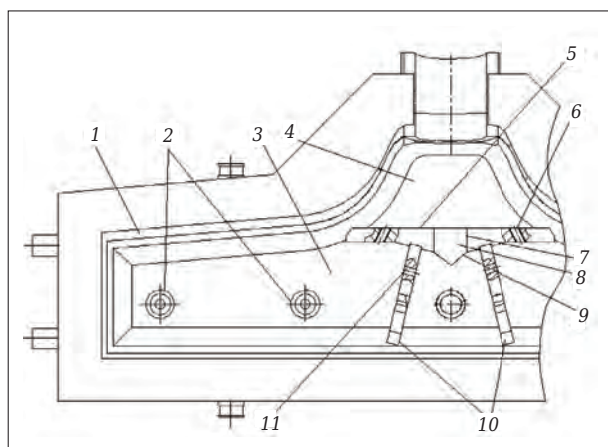


Рис. 1. Компонка ПК сортовой МНЛЗ ЭСПЦ ОАО ММК

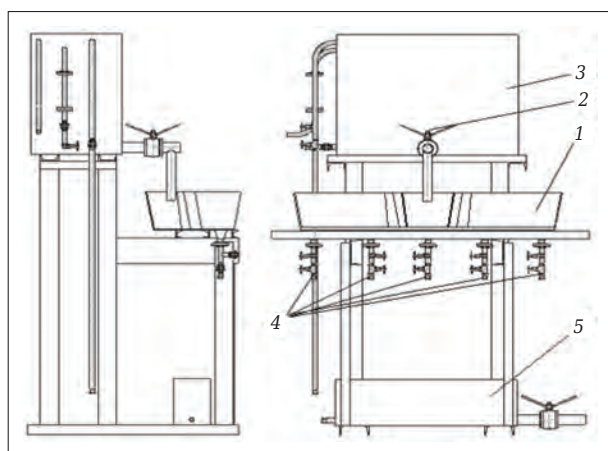


Рис. 2. Компонка экспериментальной модельной установки: 1 — модель ПК; 2 — воронка для подачи индикатора; 3 — напорный бак; 4 — разливочные отверстия; 5 — приемный бак

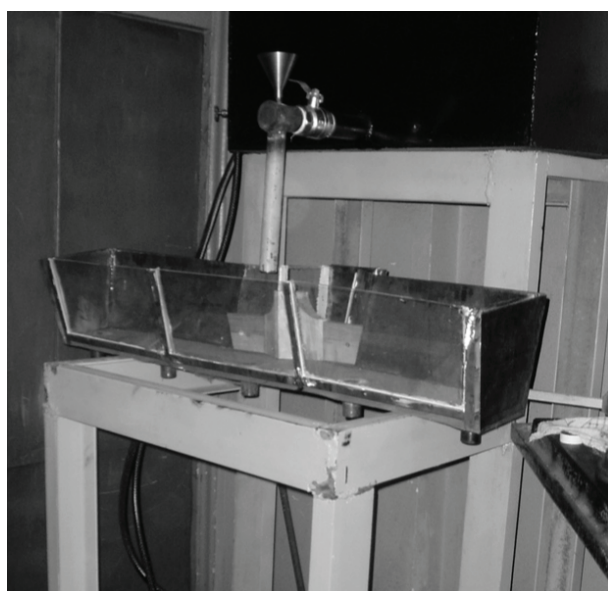


Рис. 3. Экспериментальная установка физического моделирования

зование типичных рафинирующих устройств, поэтому возникла необходимость в разработке специальных рафинирующих устройств [2, 12], создающих благоприятные условия для всплытия НВ.

На рис. 1 показан ПК, в конструкции элементов которого учитываются особенности движения потоков стали в его рабочем пространстве [9]. Разработанные элементы ПК позволяют более эффективно формировать восходящие потоки стали, что и обеспечивает быстрое всплытие НВ и увеличение времени пребывания стали перед истечением из ПК.

ПК содержит корпус 1, внутри которого установлены разливочные стаканы 2. Корпус 1 разделен на разливочную 3 и приемную 4 камеры вертикально установленной поперечной перегородкой (турбостопом) 5 с отверстиями 6 для прохода металла. Со стороны разливочной камеры 3 на боковой поверхности перегородки 5 выполнен на всю ее высоту центральный выступ 7. Выступ 7 перегородки 5 имеет в поперечном сечении форму двугранного угла. На верхней торцевой поверхности 8 перегородки 5 в средней ее части выполнен торцевой выступ 9. ПК снабжен установленными в разливочной камере 3 опорными элементами 10 с отверстиями 11 для прохода металла. Перед использованием ПК турбостоп 5 устанавливается в полости корпуса ковша. Опорные элементы монтируют в разливочной камере 3. Металл из сталеразливочного ковша поступает в ПК, в котором перемещается из приемной камеры 4 в разливочную 3 и далее через разливочные стаканы 2 в кристаллизатор. При поступлении металла в приемную камеру 4 часть его потока перемещается ко дну камеры и через отверстия 6 турбостопа 5 поступает в разливочную камеру 3. Вторая часть потока металла, перемещаясь в сторону турбостопа 5, распределяется торцевым выступом 9 на два потока.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для оценки работы турбостопа и сопутствующего оборудования, определения его рациональных размеров были проведены экспериментальные исследования на модели ПК.

Во многих сталелитейных компаниях в разное время были созданы в различных масштабах водяные модели ПК [1, 2]. В экспериментах на моделях используют обычно метод индикатора, который позволяет быстро получать требуемую информацию по распределению потоков металла в системе ПК. Определяются условия, приводящие к возникновению более

коротких контуров циркуляции. Водяные модели полезны на разных этапах исследования и создания элементов МНЛЗ, в том числе и ПК. Хотя им и присущи определенные недостатки [6] (в частности, невозможность получить подробную информацию о поле скоростей в потоке жидкости, а также данные о структуре турбулентных вихрей), они широко используются при создании и модернизации различного металлургического оборудования.

Исследования проводили на физической модели течения потоков в ПК с использованием воды в качестве рабочей жидкости (РЖ). Принят масштаб модели ПК относительно реального ковша $M = 1 : 4$. На рис. 2 показана компоновка созданной экспериментальной установки, моделирующей работу ПК сортовой МНЛЗ, на рис. 3 — сама установка.

Эффективность создаваемых конструкций, расположенных в полости ПК, оценивали по величине средней продолжительности пребывания элементарного объема металла в ковше и объема застойных зон. Поведение металла и продолжительность пребывания элементарного объема металла в ПК определяли путем ввода в истекающую жидкость из модели сталеразливочного ковша — напорного бака — индикатора через воронку (см. рис. 2). Течение металла в модели ПК исследовали фиксированием перемещения границы РЖ с индикатором и движения частиц фото- и киносъемкой из характерных точек (рис. 4).

На рис. 5 отмечены основные этапы подачи РЖ в модель ПК: наполнение приемной камеры РЖ; начало подачи РЖ через боковые выступы турбостопа; подача РЖ во всю полость ПК. В ПК, оборудованном турбостопом, можно наблюдать, как входная струя РЖ (см. рис. 5, а), ударяясь о дно ПК, устремляется в сторону турбостопа. На экспериментальной модели видно, что происходит отсечка входного потока от центрального отверстия ПК. Применение в поперечной перегородке центрального выступа способствует гашению нестабильных

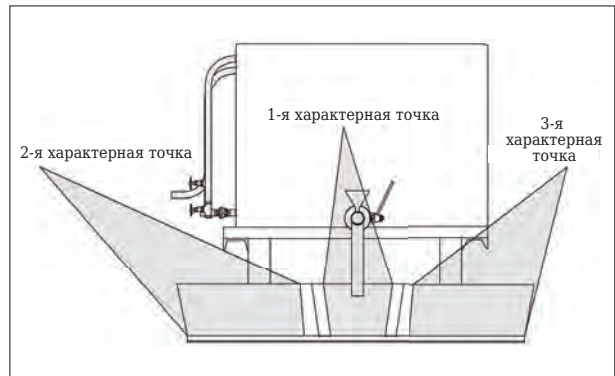


Рис. 4. Характерные точки проведения видеосъемки при исследовании гидродинамики модели ПК

потоков металла, протекающих в приемной камере ПК при подаче его из сталеразливочного ковша, в процессе всего цикла подачи РЖ. В результате проведенных экспериментов установлено, что как в приемной, так и в разливочной секции существует развитая циркуляция жидкости.

По мере наполнения приемной камеры ПК потоки РЖ распределяются через боковые выступы турбостопа (см. рис. 5, б). По мере выхода жидкости на рабочую высоту (см. рис. 5, в) потоки распределяются по всему объему разливочной камеры в зависимости от применяемого оборудования полости ПК. Эти результаты позволили для реального ПК выбрать рациональную компоновку оборудования полости ковша, что обеспечило снижение НВ в разливаемом металле в процессе всего цикла работы и, как следствие, повышение качества стали.

СОЗДАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В результате проведенных экспериментальных исследований разработан комплект элементов оборудования системы распределения потоков стали (СРП), который устанавливается в ПК сортовой МНЛЗ (рис. 6) [10]. На рис. 7 показаны созданные отдельные элементы СРП [9, 10]:



Рис. 5. Основные этапы подачи РЖ при моделировании работы ПК: а — наполнение приемной камеры РЖ; б — начало подачи РЖ через боковые выступы турбостопа; в — подача РЖ в полость ПК

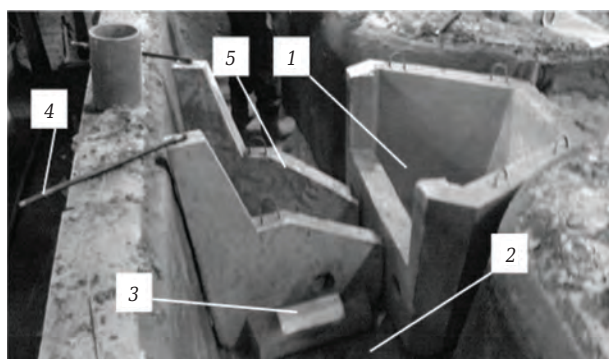


Рис. 6. Комплект элементов СРП стали Т-образного ПК сортовой МНЛЗ: 1 — приемная камера; 2 — разливочная камера; 3 — боковой элемент аргонового блока, закрытый защитной пленкой перед торкретированием; 4 — трубопровод для подачи аргона; 5 — комплект элементов СРП

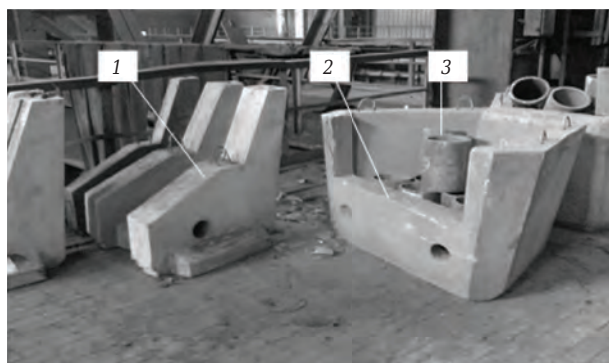


Рис. 7. Элементы СРП стали Т-образного ПК сортовой МНЛЗ: 1 — комплект аргоновых блоков; 2 — фасонный огнеупор — турбостоп; 3 — стартовые трубы

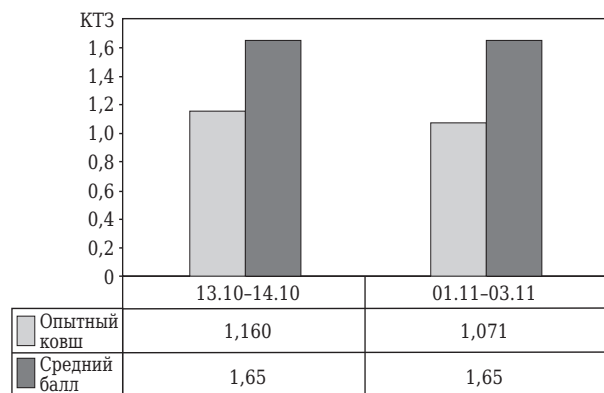


Рис. 8. Баллы дефекта КТЗ непрерывнолитых заготовок, отлитых при использовании СРП с подачей аргона (сравнение со средними показателями КТЗ)

защита — турбостоп; аргоновые блоки, которые в настоящее время выпускаются серийно в ООО «Огнеупор». На сортовые МНЛЗ были поставлены комплекты турбостопов, боковых перегородок, аргоновых блоков. Все элементы турбостопа выполнены с использованием высокоглиноземистого бетона СКБ-93.

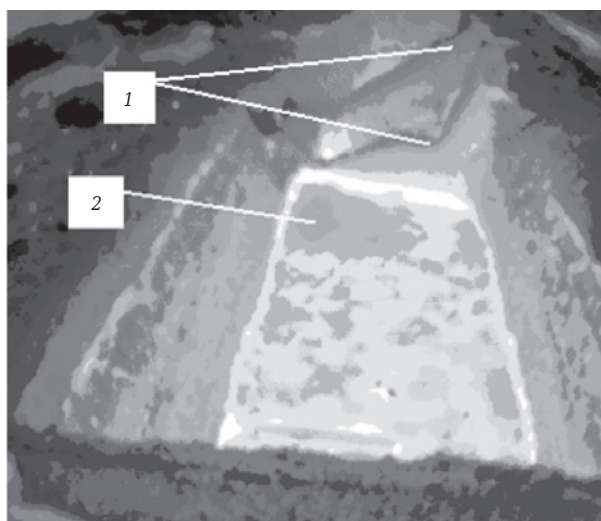


Рис. 9. Комплект СРП в пространстве ковша после выполнения цикла разливки: 1 — элементы комплекта СРП после выполнения цикла разливки на МНЛЗ; 2 — остатки жидкого шлака и стали

Установка комплекта (см. рис. 5) в ПК осуществлялась на стендах футеровки до нанесения на арматурную футеровку ковша торкрет-массы [2]. Сушку и разогрев ПК перед разливкой с опытными комплектами турбостопов — поперечных перегородок (с подачей аргона) осуществляли по действующей в ЭСПЦ технологии [2, 3]. Оценку качества металла производили с использованием балла коэффициента точечной загрязненности (КТЗ). Результаты показаны на рис. 8. Видно, что при применении аргоновых блоков в ПК КТЗ снизился в 1,47 раза, стойкость элементов СРП оказалась сопоставима с серийностью разливки. На рис. 9 показан комплект СРП в пространстве ковша после разливки металла в течение всего цикла разливки (~30 ч) [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено экспериментальное исследование конструкции и компоновки оборудования ПК посредством моделирования на водяной модели ПК МНЛЗ. Сделан анализ конструкций рафинирующих устройств модернизируемых ПК МНЛЗ. Выбраны конструкции турбостопа и дополнительного оборудования полости ПК, что обеспечило систему рационального распределения потоков металла в процессе его разливки.

Результатом проведенных модельных и промышленных исследований и их внедрения явилось снижение количества НВ в разливаемом металле в процессе всего цикла работы ПК и, как следствие, повышение качества разливаемого металла.

Библиографический список

1. **Исаев, О. Б.** Моделирование современных процессов внепечной обработки и непрерывной разливки стали / О. Б. Исаев [и др.] ; под общей ред. Е. Х. Шахпазова. — М. : Metallurgizdat, 2008. — 376 с.
2. **Вдовин, К. Н.** Рафинирование стали в промежуточном ковше МНЛЗ : монография / К. Н. Вдовин, М. В. Семёнов, В. В. Точилкин. — Магнитогорск : МГТУ, 2006. — 118 с.
3. **Вдовин, К. Н.** Непрерывная разливка стали : монография / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, И. М. Ячиков. — Магнитогорск : Изд-во Магнитогорского гос. техн. ун-та, 2012. — 540 с.
4. **Вдовин, К. Н.** Непрерывная разливка стали. Гидромеханика машин непрерывного литья заготовок : монография / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, И. М. Ячиков. — Магнитогорск : Изд-во Магнитогорского гос. техн. ун-та, 2014. — 348 с.
5. **Вдовин, К. Н.** Разработка элементов приемной камеры промежуточного ковша слябовой МНЛЗ / К. Н. Вдовин, Е. А. Мельничук, А. В. Неведов, В. В. Точилкин // Изв. вузов. Черная металлургия. — 2014. — № 3. — С. 23–27.
Vdovin, K. N. Intake Chamber of the Tundish in a Continuous Slab-Casting Machine / K. N. Vdovin, E. A. Melnichuk, A. V. Nefedov, V. V. Tochilkin // Steel in translation. — 2014. — Vol. 44, № 3. — P. 186–189.
6. **Зекели, Дж.** Компьютерное конструирование (CAD – САМ-метод) промежуточного разливочного устройства / Дж. Зекели, Н. Эль-Кадах // Инжекционная металлургия'86 : труды конференции ; пер. с англ. под ред. В. А. Кудрина. — М. : Металлургия, 1990. — С. 134–146.
7. **Вдовин, К. Н.** Создание имитатора рабочей среды для повышения износостойкости огнеупоров при разливке стали на сортовых МНЛЗ / К. Н. Вдовин, О. А. Марочкин, В. В. Точилкин // Новые огнеупоры. — 2013. — № 11. — С. 10–13.
Vdovin, K. N. Creating a stream simulator to improve the wear resistance of refractories during the casting of steel on continuous section casters / K. N. Vdovin, O. A. Marochkin, V. V. Tochilkin // Refractories
- and industrial ceramics. — 2014. — Vol. 54, № 6. — P. 435–437.
8. **Вдовин, К. Н.** Совершенствование процесса разливки стали на сортовых МНЛЗ / К. Н. Вдовин, О. А. Марочкин, В. В. Точилкин // Металлург. — 2014. — № 4. — С. 80–82.
Vdovin, K. N. Improvement of Steel Pouring in Section CBCM / K. N. Vdovin, O. A. Marochkin, V. V. Tochilkin // Metallurgist. — Vol. 58, № 3/4. — P. 306–309.
9. **Патент на полезную модель RUS 60411.** Ковш промежуточный для непрерывной разливки металла / Сеничев Г. С., Точилкин В. В., Вдовин К. Н., Корнеев В. М., Осипов В. А., Сарычев А. В., Ведешкин Н. В., Ушаков С. Н., Хоменко А. А. ; опубл. 14.09.2006.
10. **Патент на полезную модель RUS 91016.** Промежуточный ковш для непрерывной разливки металла / Ушаков С. Н., Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Прохоров С. В., Хоменко А. А., Филатова О. А., Артюшин В. А., Шайгулин И. Р., Чеусов И. С. ; опубл. 12.10.2009.
11. **Вдовин, К. Н.** Новые вставки из пластичных огнеупоров для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, О. А. Марочкин [и др.] // Новые огнеупоры. — 2014. — № 7. — С. 41–43.
Vdovin, K. N. New Plastic Refractory Linings for Protecting a Metal Stream During Pouring into a CBCM / K. N. Vdovin, V. V. Tochilkin, O. A. Marochkin [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 55, № 4. — P. 318–320.
12. **Семёнов, М. В.** Методика расчета работоспособности элементов промежуточного ковша МНЛЗ / М. В. Семёнов, В. В. Точилкин // Вестник машиностроения. — 2007. — № 6. — С. 41–43.
Semenov, M. V. Technique for calculating the effectiveness of the elements of the intermediate ladle of a CBCM / M. V. Semenov, V. V. Tochilkin // Russian Engineering Research. — 2007. — Vol. 27, № 6. — P. 347–349. ■

Получено 11.09.15

© К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин,
И. М. Ячиков, 2015 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



ICASS 16 – 40-я Международная конференция по высокотехнологичной керамике и композитам

24–29 января 2016 г. г. Дейтона-Бич, Флорида, США