

Д. Т. Н. К. Н. Вдовин, д. т. н. В. В. Точилкин (✉), к. т. н. О. А. Филатова

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

УДК 666.76:[621.746.329.047:669.18.046.518]

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОГНЕУПОРОВ РАЗЛИВОЧНОЙ КАМЕРЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША СОРТОВОЙ МНЛЗ

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

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), промежуточный ковш, потоки металла, математическое моделирование.

Постоянно растущие требования к качеству стали, получаемой при разливке на сортовых МНЛЗ, приводит к необходимости разработки специальных конструкций огнеупорных изделий промежуточного ковша (ПК). Особое внимание при этом уделяется конструкциям, обеспечивающим хорошую организацию потоков жидкого металла на участке ПК – кристаллизатор. Характер потока жидкого металла в ПК при непрерывной разливке является определяющим фактором, влияющим на распределение неметаллических включений в заготовке [1]. Для ограничения прямого потока металла в сталеразливочное отверстие в разливочной камере ПК устанавливают специальные устройства, отделяющие неметаллические включения за счет организации потоков металла в нужном направлении [2].

Основным элементом, обеспечивающим дозирование истечения стали из ПК в кристаллизатор на сортовых МНЛЗ, является комплект стаканов-дозаторов с сопутствующим оборудованием [2, 3], который устанавливается в дно ПК. К стаканам-дозаторам предъявляются следующие требования: равномерная подача металла в кристаллизатор в течение всего процесса разливки; формирование компактной струи без брызг металла; исключение дефекта разливки типа «веер». При разливке открытой струей для сохранения постоянного расхода металла стремятся поддерживать постоянное ферростатическое давление металла в ПК при условии [4, 5], что внутренний диаметр ста-

кана-дозатора не изменяется. Это относится главным образом к разливке металла на сортовых МНЛЗ.

Характерной особенностью разливки стали открытой струей через стакан-дозатор является малое сечение его внутренней полости, составляющее обычно 10–18 мм в зависимости от скорости разливки и сечения заготовки. Стабильность разливки в течение всего цикла работы ПК достигается только при сохранении постоянного сечения стаканов-дозаторов. Внутренняя вставка такого стакана-дозатора выполняется из дорогостоящего диоксида циркония. Следовательно, вопрос выбора конструкции комплектов оборудования и материала стаканов-дозаторов для ПК при разливке на сортовых МНЛЗ длинными сериями представляется актуальным [5].

В настоящей работе рассматриваются варианты конструкции комплекта стаканов-дозаторов с сопутствующим оборудованием, устанавливаемого в разливочных камерах ПК [5]. Акцентировано внимание на зависимости качества стали, поступающей в кристаллизатор, от конструкции комплекта стаканов-дозаторов с сопутствующим оборудованием в ПК. На рис. 1

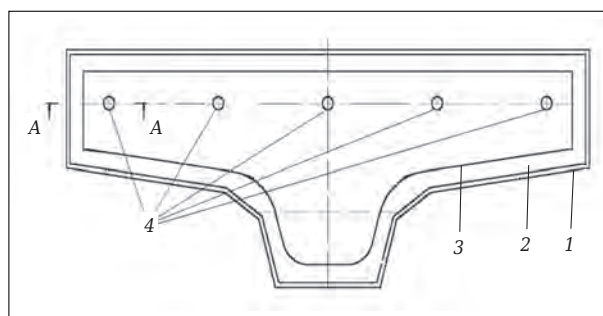


Рис. 1. Компоновка ПК: 1 – корпус; 2 – футеровка; 3 – дно ПК; 4 – разливочные отверстия

✉
В. В. Точилкин
E-mail: toch56@mail.ru

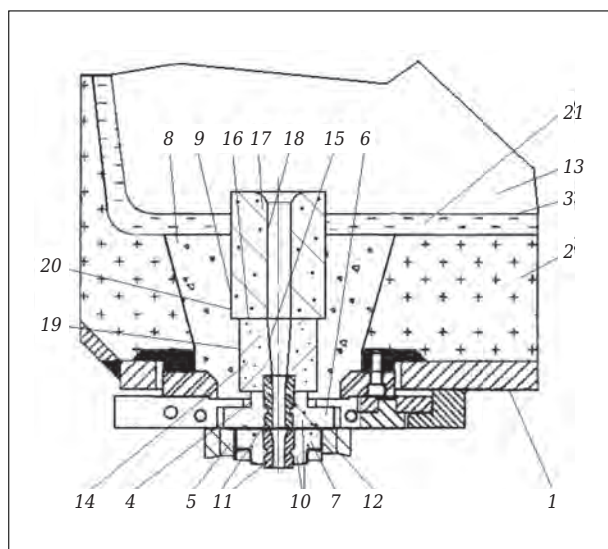


Рис. 2. Компоновка стаканов-дозаторов в разливочном отверстии ПК

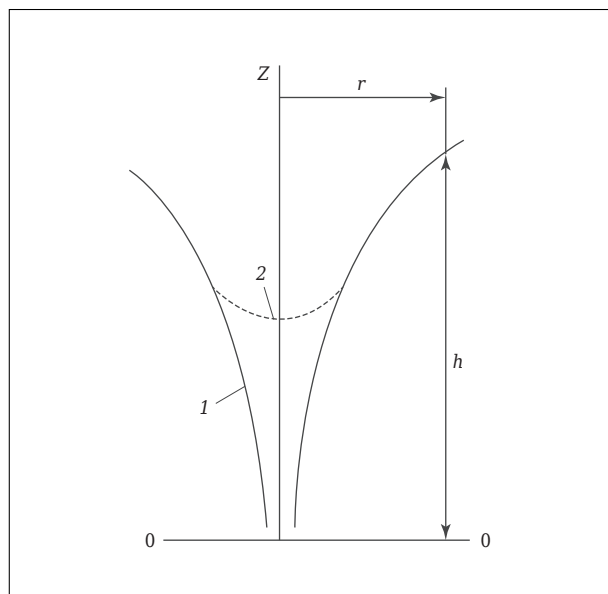


Рис. 3. Схема вращательного движения жидкого металла в разливочном отверстии: 1 — свободная поверхность при безвихревом вращательном движении; 2 — свободная поверхность при перекрытии разливочного отверстия; 0-0 — плоскость сравнения

показан ПК, оснащенный комплектом стаканов-дозаторов с дополнительным оборудованием [3, 5]. Компоновка стаканов-дозаторов в разливочном отверстии ПК показана на рис. 2. В ПК для непрерывной разливки металла имеется корпус 1 с футеровкой 2. В дне 3 корпуса 1 выполнены разливочные отверстия 4, каждое из которых снабжено шиберным затвором 5 с верхним 6 и нижним 7 стаканами-дозаторами и гнездовым блоком 8 с отверстием 9. Каждый из стаканов-дозаторов 6 и 7 выполнен в виде опорного блока 10 и вставки 11 с конусообраз-

ной полостью 12. На торце каждого опорного блока 10 верхнего стакана-дозатора 6, направленного в полость 13 корпуса 1 ковша, закреплен направляющий элемент 14 с внутренней полостью 15, сопрягаемой с конусообразной полостью 12 вставки 11 стакана-дозатора 6. Направляющий элемент 14 охватывает наружную поверхность вставки 11 верхнего стакана-дозатора 6. На торце 16 направляющего элемента 14, направленного в полость 13 ковша, установлен цилиндрический блок 17 с полостью 18, сопрягаемой с полостью 15 направляющего элемента 14. Наружная поверхность 19 направляющего элемента 14 и наружная поверхность 20 цилиндрического блока 17 охватываются гнездовым блоком 8. На внутреннюю поверхность ковша нанесен слой огнеупорной футеровки — торкрет-массы 21.

Работает ПК при непрерывной разливке металла следующим образом. Предварительно готовят комплекты стаканов-дозаторов 6 (см. рис. 2) и направляющих элементов 14. На торце каждого опорного блока 10 верхнего стакана-дозатора 6 устанавливают направляющий элемент 14. При этом форма выполнения сопрягаемых поверхностей и соответствие геометрических размеров конструктивных элементов позволяют не только обеспечить надежную фиксацию направляющего элемента 14 относительно вставки 11 в стаканах-дозаторах 6, но и осуществить осевую центровку их полостей. На торце 16 направляющего элемента 14 устанавливают цилиндрический блок 17. После установки гнездового блока 8 на внутреннюю поверхность корпуса 1 ковша наносят слой футеровки — торкрет-массы 21, которой дополнительно фиксируют цилиндрический блок 17. При этом верхний торец цилиндрического блока 17, направленного в полость 13 корпуса 1 ковша, выступает над поверхностью футеровки. После окончательной подготовки в ПК подают жидкий металл. Струи металла равномерно распределяются по объему ковша и при открытых шиберных затворах 5 через полость цилиндрического блока 17, полость направляющего элемента 14 и конусообразную полость 12 вставки 11 стакана-дозатора 6 поступают в кристаллизатор МНЛЗ.

Рассматривая движение стали [4, 6] в разливочной камере ПК как установившееся безвихревое вращение несжимаемой жидкости в цилиндрических координатах r, θ, z с осью z вдоль вектора угловой скорости вращения жидкости (рис. 3), проходящей через центр сталеразливочного отверстия, можно отметить, что полный напор по всему полю течения — величина постоянная [4], т. е.

$$\frac{p}{\rho g} + z + \frac{v_{\theta}^2}{2g} = \text{const}, \quad (1)$$

где p — давление в жидкости; ρ — плотность жидкого металла; g — ускорение силы тяжести; z — высота центра сечения; v_{θ} — компонента скорости.

Дифференцируя это выражение по r , получаем

$$\frac{\partial p}{\partial r} = -\rho v_{\theta} \frac{\partial v_{\theta}}{\partial r}. \quad (2)$$

Рассматривая уравнения Навье – Стокса [5] для данного случая движения жидкости, можно отметить, что компоненты скорости v_r и v_z равны нулю, градиент давления в окружном направлении отсутствует, а v_{θ} не зависит от z :

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \rho \frac{v_{\theta}^2}{r}. \quad (3)$$

Из уравнений (2) и (3) получаем зависимость

$$v_{\theta} r = \text{const}. \quad (4)$$

При этом тангенциальная скорость растет с уменьшением r , но практически основная область ограничена радиусом r_m , на котором давление становится равным давлению окружающей среды.

Положение свободной поверхности при безвихревом вращательном движении в разливочной камере будет определяться гиперболоидом вращения

$$h = h_0 - \frac{v_{\theta}^2}{2g}, \quad (5)$$

где h — положение свободной поверхности жидкого металла над разливочным отверстием; h_0 — максимальная высота уровня жидкости в разливочной камере ПК.

При перекрытии отверстия в дне ПК движение жидкости постепенно затухает под действием вязкости (см. рис. 3, кривая 2). На ход кривой 2 влияет также присутствие на поверхности металла покровного шлака.

Из анализа уравнений (4) и (5) следует, что в конструкции комплекта стаканов-дозаторов с сопутствующим оборудованием, устанавливаемого в разливочных камерах ПК, определяющую роль играют [7, 8]:

- конструкция направляющего элемента и его фиксация относительно корпуса верхнего стакана-дозатора;
- конфигурация внутренней полости 15 направляющего элемента 14 и ее сохранность в течение всего цикла разливки металла из ПК;

- высота цилиндрического блока 17 с полостью 18 относительно поверхности зеркала металла.

Надежная фиксация направляющих [2, 9] элементов 14 относительно вставок стаканов-дозаторов 6, а также осевая центровка их полостей с полостью цилиндрического блока 17 обеспечивают в процессе разливки формирование струй металла технологически заданной конфигурации без нарушения ее сплошности, исключая при этом боковые смещения струй металла в сторону гнездового блока 8. Это позволяет повысить качество разливаемого металла за счет исключения попадания в него частиц гнездового блока и огнеупорной футеровки. При этом исключаются нарушения сплошности струи металла, что обеспечивает стабильную безаварийную работу ПК и всей МНЛЗ в процессе всего цикла разливки.

Из уравнений (4) и (5) следует, что при перемещении потоков стали над сталеразливочным отверстием ПК определяющую роль играют стартовые элементы специального профиля. На рис. 4 показана модернизированная конструкция разливочного инструмента ПК [5] сортовой МНЛЗ с использованием стартовых труб специального профиля, обеспечивающих старт и номинальный режим подачи жидкого металла. Отличительной особенностью конструкции является применение комплекта цилиндрических вставок. По числу разливочных отверстий 1 установлены трубы 2, выполненные из огнеупорного материала и размещенные нижним концом 3 на торце 4 гнездового

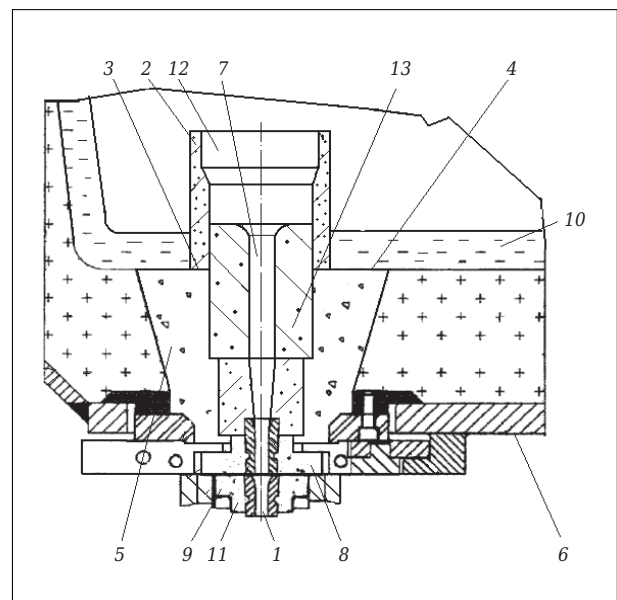


Рис. 4. Установка оборудования разливочного отверстия со специальными стартовыми элементами стакана-дозатора

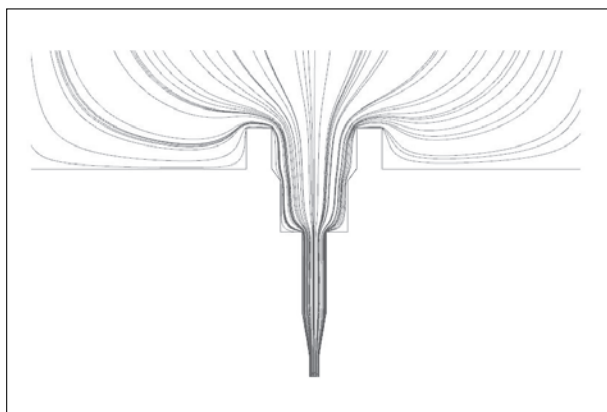


Рис. 5. Результаты моделирования движения металла в разливочной камере ПК, оснащенного комплектом созданных элементов



Рис. 6. Установка оборудования разливочного отверстия в ПК сортовой МНЛЗ

блока 5, направленного в полость корпуса 6 ковша. Специальная форма полости труб 2 позволяет в процессе разливки металла формировать в каждой из них струю металла технологически заданной конфигурации без нарушения ее сплошности, а также обеспечить осевую центровку струй металла в полости 7 стаканов-дозаторов 8 и 9. Это предотвращает размыв футеровки, исключает возможность попадания частиц разрушенной футеровки в разливаемый металл, в результате чего качество металла повышается. Работает ПК с данным устройством следующим образом. Предварительно трубы 2 устанавливают посредством оправки на гнездовом блоке 5. После установки труб 2 на внутреннюю поверхность корпуса 6 ковша наносят слой огнеупорной футеровки 10, которым дополнительно фиксируют трубы 2.

Струи металла равномерно распределяются по объему ковша и при открытых шиберных затворах 11 через полость 12 труб 2 и полость 7 стаканов-дозаторов поступают в кристалли-

заторы сортовой МНЛЗ. При этом обеспечивается надежная фиксация труб 2 относительно полости 7. Это позволяет также повысить качество разливаемого металла за счет исключения попадания в него частиц футеровки. По окончании процесса разливки металла шиберные затворы 11 закрываются и ковш с остатками металла и шлака переносится на рабочее место для подготовки ПК к последующей работе. Данная конструкция комплектов огнеупорных изделий разливочной камеры ПК позволяет повысить качество разливаемого металла за счет уменьшения попадания неметаллических включений в процессе всего цикла работы ПК на МНЛЗ.

Было проведено численное моделирование представленных конструкций оборудования [1, 5]. Полученные в результате численного моделирования линии тока показаны на рис. 5 [5]. Созданные комплекты огнеупорных изделий обеспечивают движение потоков металла из средней части ковша без вовлечения значительного числа неметаллических включений со дна ПК.

Изготовлены конструкции комплектов огнеупорных изделий (рис. 6). Комплекты были установлены в промежуточный ковш 5-ручьева сортовой МНЛЗ. Использование созданного комплекта огнеупорных изделий [5, 9] в производстве показало, что наряду с повышением стойкости всего комплекта оборудования разливочной камеры эффективно гасятся возникающие над разливочными отверстиями воронки. Благодаря хорошей организации струи обеспечивается повышение качества разливаемого металла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При дальнейшем совершенствовании процессов непрерывной разливки стали нового поколения одним из вариантов в конструкции более совершенного ПК является создание комплектов стаканов-дозаторов с сопутствующим оборудованием. Применение созданных огнеупорных изделий комплекта разливочного отверстия позволяет наряду с повышением их стойкости эффективно гасить возникающие над разливочными стаканами воронки, что обеспечивает повышение качества разливаемого металла благодаря хорошей организации струи.

Возрастает качество стали при разливке длинными сериями за счет уменьшения содержания неметаллических включений, попадающих в кристаллизатор МНЛЗ.

Библиографический список

1. **Вдовин, К. Н.** Рафинирование стали в промежуточном ковше МНЛЗ : монография / К. Н. Вдовин, М. В. Семёнов, В. В. Точилкин. — Магнитогорск : МГТУ, 2006. — 118 с.
2. **Ушаков, С. Н.** Разработка оборудования системы распределения потоков стали для промежуточного ковша / С. Н. Ушаков, А. А. Хоменко, К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин // *Сталь*. — 2009. — № 3. — С. 13–17.
3. **Точилкин, В. В.** Модернизация промежуточного ковша МНЛЗ для обеспечения повышения качества разливаемой стали / В. В. Точилкин // *Ремонт, восстановление, модернизация*. — 2007. — № 2. — С. 5–7.
4. **Дейли, Д.** Механика жидкости / Д. Дейли, Д. Харлеман. — М. : Энергия, 1971. — 480 с.
5. **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 им. Г. И. Носова, 2014. — 348 с.
6. **Точилкин, В. В.** Пневмопривод металлургических манипуляторов : монография / В. В. Точилкин, А. М. Филатов. — Магнитогорск : МГТУ, 2005. — 211 с.
7. **Вдовин, К. Н.** Совершенствование процесса разливки стали на сортовых МНЛЗ / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, О. А. Марочкин // *Металлург*. — 2014. — № 4. — С. 80–82.
8. **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. 14–17.
9. **Семёнов, М. В.** Методика расчета работоспособности элементов промежуточного ковша МНЛЗ / М. В. Семёнов, В. В. Точилкин // *Вестник машиностроения*. — 2007. — № 6. — С. 41–43. ■

Получено 10.04.15

© К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин,
О. А. Филатова, 2015 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



Ассоциация производителей и потребителей огнеупоров
«Санкт-Петербургский научно-технический центр»
Ассоциация «СПб НТЦ»

VI Научно-практическая конференция Актуальные проблемы огнеупорного производства

г. Санкт-Петербург, 29–30 октября 2015 г.

Тематика конференции: огнеупорное сырье, современные технологии в производстве и эксплуатации огнеупоров, технологическое и лабораторное оборудование, подтверждение качества огнеупоров/независимая экспертиза, стандартизация и информационное обеспечение в области огнеупоров.

190013, г. Санкт-Петербург, Загородный пр., д. 66, а/я 44

Тел: (812) 310-42-00, факс: (812) 310-42-01,

E-mail: asspbntc@nm.ru, refinfo@mail.ru, www.ogneupor-spb.ru



第九届先进陶瓷国际研讨会

The Ninth International Conference on High-Performance Ceramics

9-я Международная конференция по высокотехнологичной керамике (CICC)

4–7 ноября 2015 г.

г. Гуйлинь, Китай

www.ccs-cicc.com/CICC-9