

С. В. Сухарев¹ (✉), К. Т. Н. А. В. Заболотский², П. В. Котровский³,
К. Т. Н. М. Ю. Турчин³

¹ ООО «Группа «Магнезит», Москва, Россия

² ООО «Группа «Магнезит», Санкт-Петербург, Россия

³ ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

УДК 621.746.047.001.57

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ МЕТАЛЛОПРИЕМНИКА СЛЯБОВЫХ МНЛЗ НА ДВИЖЕНИЕ ПОТОКА В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ СТРУИ МЕТАЛЛА ОТ ТРЕБУЕМОГО ПОЛОЖЕНИЯ. Часть III. Результаты исследования*

Статья посвящена оценке влияния конструкции металлоприемника в промежуточном ковше большой вместимости слабовых МНЛЗ на снижение турбулентности потоков при отклонении струи металла в процессе разливки от требуемого положения. Приведены результаты компьютерного моделирования встречающихся в производственной практике вариантов смещения струи металла из сталеразливочного ковша в промежуточный ковш от целевой точки ввода. Проведено сравнение распределения потоков металла в промежуточном ковше с разными конструкциями металлоприемников. Даны рекомендации по снижению турбулентности потоков для рассмотренных случаев.

Ключевые слова: МНЛЗ, промежуточный ковш, металлоприемник, неметаллические включения (НВ), турбулентность, защитная труба, смещение струи металла.

В настоящей работе моделирование потоков жидкой стали было проведено при наличии в промежуточном ковше только металлоприемника. В литературе встречается значительное количество работ, в которых моделирование (физическое и/или математическое) выполняют при наличии в промежуточном ковше дополнительных объектов, влияющих на характер движения потоков в объеме промежуточного ковша: перегородок различных типов, в том числе с отверстиями для перетока, продувочных порожков и их различных комбинаций. При этом, как правило, повышенное внимание уделяется не конструкции металлоприемника, а взаимному расположению перегородок и порожков, комбинации их количества, распределению и форме отверстий в них, режимам продувки и т. д. Однако металлоприемник является первым объектом конструкции промежуточного ковша на пути падающей струи жидкой стали, и именно он су-

щественно влияет на серийность непрерывной разливки. После наполнения промежуточного ковша расплавом до рабочего уровня и перехода струи, формируемой погружаемой трубой, в затопленный режим размеры металлоприемника и расположенный непосредственно над ним объем расплава фактически определяют границы так называемой «приемной зоны» промежуточного ковша. Очень важно максимально снизить турбулентность падающей струи металла уже в приемной зоне промежуточного ковша, обеспечив дальнейшее движение потока в объеме промежуточного ковша до сталевыпускных отверстий за время, достаточное для удаления (всплытия и ассимиляции шлаком) неметаллических включений (НВ). Это время определяют два параметра: скорость движения потока и его траектория. По нашему мнению, перегородки и пороги (в том числе с продувкой) являются в этом отношении полезными, но второстепенными устройствами управлением потоками стали в промежуточном ковше, и целесообразность их применения необходимо рассматривать и моделировать непосредственно для каждого конкретного случая. Конструкция металлоприемника становится определяющей сразу для двух направлений разливки: с точки зрения технологии — это обеспечение требуемой серийности разливки, с точки зрения качества стали — это способствование удалению НВ [1].

* Окончание. Части I и II статьи опубликованы в журнале «Новые огнеупоры» № 11 и 12 за 2019 г.



С. В. Сухарев

E-mail: ssuharev@magnezit.com

В данной — завершающей — части работы рассмотрен вариант наиболее значительного отклонения защитной трубы от вертикального положения (см. рис. 1, *е* статьи [2]). В моделируемой ситуации наименее желательным с точки зрения снижения турбулентности расплава стало использование металлоприемника с прямыми стенками без крышки при значительном наклоне трубы сразу в двух плоскостях (т. е. при падении струи в угол изделия). Этот вариант показал максимальную скорость выхода расплава из рассмотренных конструкций металлоприемников для всего изученного перечня вариантов смещения струи металла — до 4,5 м/с (рис. 1). Из рис. 1, *а*, *б* видно, что отражение струи из угла металлопри-

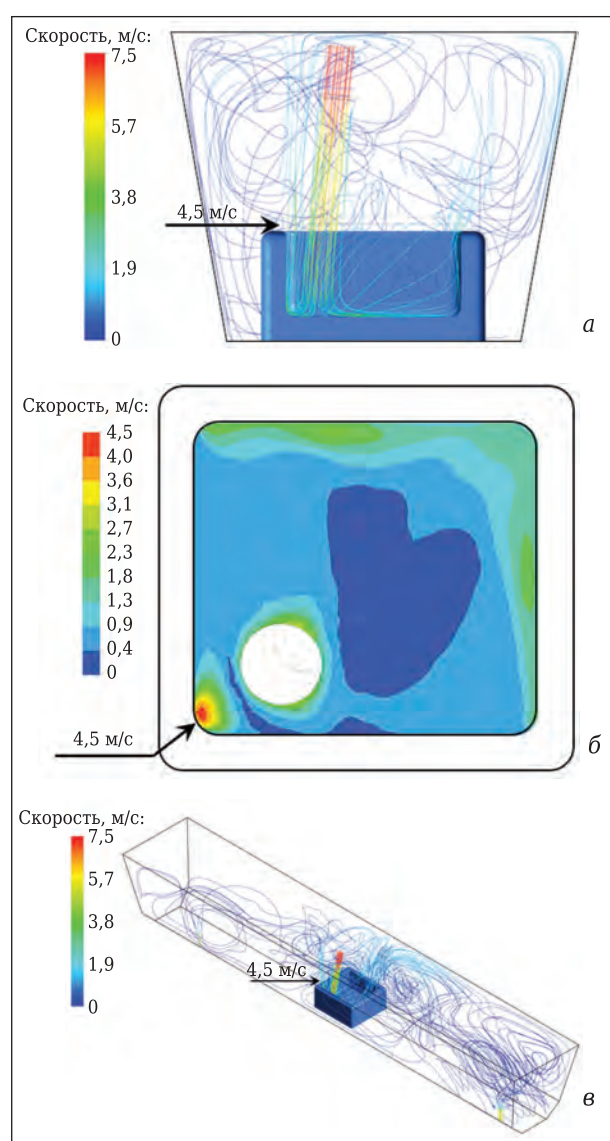


Рис. 1. Движение потоков металла при расположении защитной трубы (см. рис. 1, *е* статьи [2]) для металлоприемника № 1 (с прямыми стенками без крышки): *а* — поперечный разрез промежуточного ковша в приемной зоне; *б* — плоскость выхода потоков из металлоприемника; *в* — промежуточный ковш в аксонометрии

емника идет вверх (достигая максимальной скорости 4,5 м/с), а также по дну изделия с выходом вдоль противоположных от этого угла стенок металлоприемника также с высоким диапазоном скоростей (см. рис. 1, *в*). В результате помимо нарушения режима движения расплава в промежуточном ковше в целом в области с высокими скоростями в металлоприемнике будет иметь место существенный износ огнеупора за счет механического воздействия стального потока.

На рис. 2 и 3 показано распределение скоростей для металлоприемников № 2 и № 3 с прямыми стенками с крышкой и с волнообразным профилем внутренней поверхности (см. рис. 1, *е* статьи [2]). Сравнение рис. 1–3 показывает преимущества формы металлоприемника № 3 с точки зрения снижения турбулентности в объеме изделия: этот металлоприемник имеет наиболее спокойный режим выхода расплава без возникновения застойных зон в объеме промежуточного ковша. Как показало проведенное моделирование, застойные зоны наиболее часто возникают в объеме промежуточного ковша, оборудованного металлоприемником № 1 с прямыми стенками. Такая ситуация привела к расчетному увеличению среднего времени пребывания металла в промежуточном ковше при любом отклонении защитной трубы

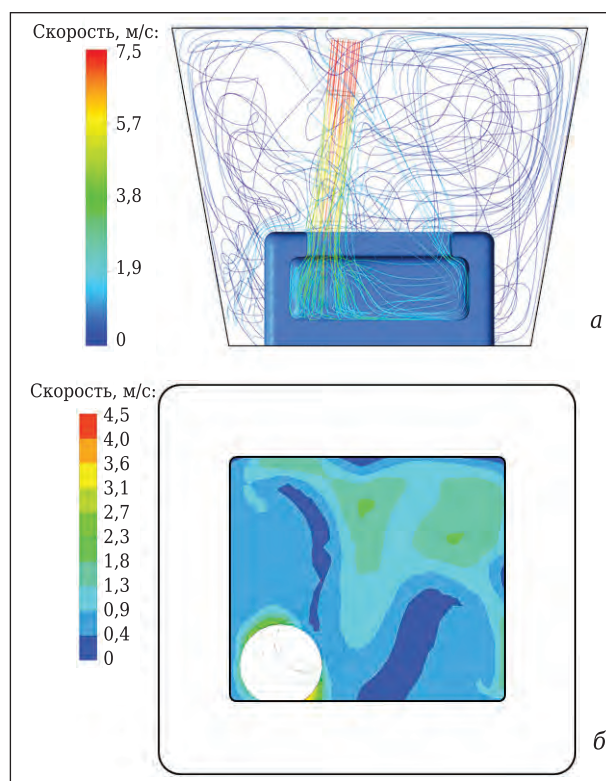


Рис. 2. Движение потоков металла при расположении защитной трубы (см. рис. 1, *е* статьи [2]) для металлоприемника № 2 (с прямыми стенками с крышкой): *а* — поперечный разрез промежуточного ковша в приемной зоне; *б* — плоскость выхода потоков из металлоприемника

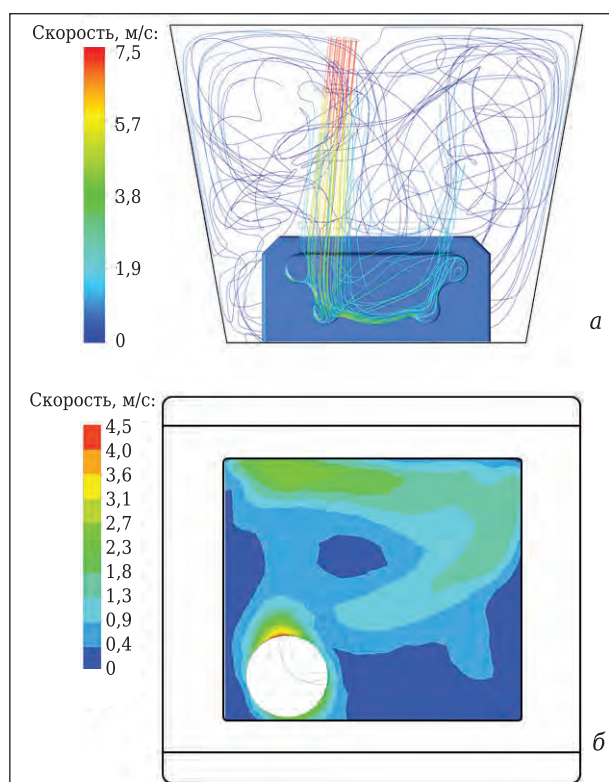


Рис. 3. Движение потоков металла при расположении защитной трубы (см. рис. 1, е статьи [2]) для металлоприемника № 3 (с волнообразным профилем внутренней поверхности): а — поперечный разрез промежуточного ковша в приемной зоне; б — плоскость выхода потоков из металлоприемника

от оптимального положения (вертикального, совмещенного с геометрическим центром металлоприемника), что показано на гистограммах для всех рассмотренных случаев позиционирования защитной трубы (см. рис. 1, е статьи [2]). Однако для промежуточного ковша с металлоприемником № 1 такие результаты являются следствием нарушения нормального режима движения металла в объеме промежуточного ковша, что не повышает эффективность удаления НВ.

Изучение результатов моделирования показывает, что для рассмотренных условий металлоприемник № 3 с волнообразным профилем внутренней поверхности создает наиболее благоприятные условия для удаления НВ в промежуточных ковшах большой вместимости слабовых МНЛЗ, соответствуя концепции «чистая сталь» [3]. По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- в конструкции металлоприемников важным элементом является наличие крышки по периметру стенок изделия (рис. 4); этот конструктивный элемент позволяет эффективно отражать поднимающиеся вдоль стенки металлоприемника потоки в объем изделия, снижая тем самым турбулентность стального расплава уже в самом металлоприемнике;

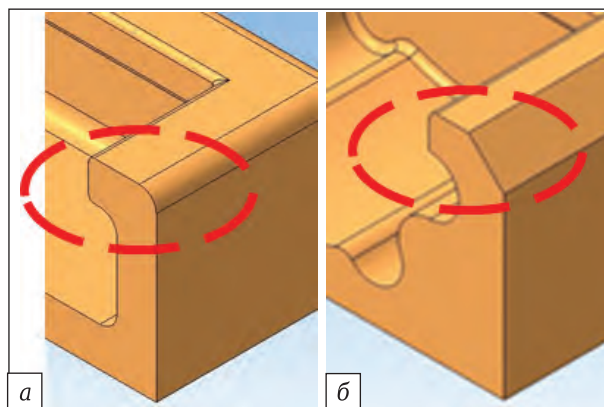


Рис. 4. Варианты исполнения крышки в верхней части стенки металлоприемника: а — изделие с прямой стенкой; б — изделие с волнообразным профилем внутренней поверхности

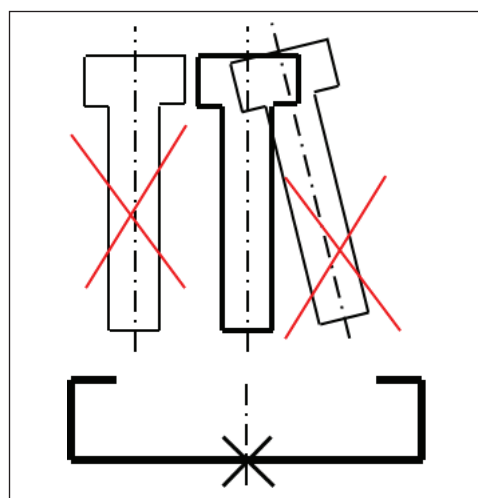


Рис. 5. Защитная труба — важный элемент непрерывной разливки, требующий правильного позиционирования относительно металлоприемника

- конструкция металлоприемника с волнообразным профилем внутренней поверхности обеспечивает существенное снижение турбулентности струи металла даже в случае значительных отклонений защитной трубы от стандартного положения;

- при отсутствии отклонений в положении защитной трубы, а также при одинаковых вариантах отклонений в зависимости от конструкции металлоприемника скорости выхода металла из изделия, а также средние длины траектории пути в промежуточном ковше могут различаться в 1,5–2 раза;

- несмотря на результаты моделирования, показывающие преимущества металлоприемника с волнообразным профилем внутренней поверхности при значительных отклонениях защитной трубы от стандартного положения, основной рекомендацией, преследующей цель получения стабильных и удовлетворяющих потребителя резуль-

татов (с точки зрения эффективности удаления НВ), является строгое позиционирование защитной трубы (рис. 5) как важного элемента разливки, влияющего на движение потоков металла в металлоприемнике и промежуточном ковше в целом.

Библиографический список

1. **Сухарев, С. В.** Влияние конструкции металлоприемника слябовых МНЛЗ на движение потока в промежуточном ковше при отклонении струи металла от требуемого положения. Часть I. Постановка задачи / С. В. Сухарев, А. В. Заболотский, П. В. Котровский, М. Ю. Турчин // Новые огнеупоры. — 2019. — № 11. — С. 11–14.

2. **Сухарев, С. В.** Влияние конструкции металлоприемника слябовых МНЛЗ на движение потока в промежуточном ковше при отклонении струи металла от требуемого положения. Часть II. Методика моделирования / С. В. Сухарев, А. В. Заболотский, П. В. Котровский [и др.] // Новые огнеупоры. — 2019. — № 12. — С. 3–6.

3. **Аксельрод, Л. М.** Производство чистой стали и современные огнеупорные технологии / Л. М. Аксельрод, И. В. Кушнерев, С. В. Сухарев, А. В. Заболотский // Новые огнеупоры. — 2017. — № 7. — С. 3–11. ■

Получено 04.09.19

© С. В. Сухарев, А. В. Заболотский, П. В. Котровский, М. Ю. Турчин, 2020 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



CIMTEC 2020 — 15-й конгресс керамики

15–23 июня 2020 г.
г. Монтекатини-Терме, Италия



Тематика

- ▶ Достижения в области обработки и производства высокоэффективной керамики и композитов
- ▶ Количественная оценка микроструктуры с использованием различных методов анализа и компьютерной обработки данных
- ▶ Иммитационное моделирование и тестирование механических и термомеханических свойств пористой керамики, покрытий и композитов
- ▶ Высоко- и сверхвысокотемпературная керамика и композиты для использования в экстремальных условиях
- ▶ Достижения в наноразмерных тройных карбидах, нитридах и боридов (MAX / МАВ-фазы) и их производных (MXenes)
- ▶ Успехи в функциональных материалах, используемых для сбора и хранения солнечной энергии
- ▶ Керамические тонкие пленки и покрытия для защитных, трибологических и многофункциональных применений
- ▶ Пористая керамика для защиты окружающей среды, энергетики и передовых технологических процессов
- ▶ Успехи в исследовании электрокерамики
- ▶ Материалы и требования к следующим поколениям электрохимических систем для сохранения солнечной энергии
- ▶ Твердоокисные топливные элементы: проблемы материалов и технологий
- ▶ Системы неорганических материалов для современной фотоники
- ▶ Разработка и применение функциональных прозрачных проводящих и полупроводниковых оксидов
- ▶ Геополимеры, неорганические полимеры и устойчивые материалы
- ▶ Наука и технология силикатной керамики
- ▶ Огнеупорные материалы для удовлетворения текущих и будущих потребностей
- ▶ Наука и техника новых сверхпроводников

<http://2020.cimtec-congress.org/>