

Г. Г. Немсадзе¹, Р. А. Джоджуа¹, д. т. н. А. Н. Смирнов²,
Д. В. Рябый^{2,3} (✉), К. Н. Шарандин³

¹ ПАО «ЗНВКИФ» «General Investment Resources», г. Киев, Украина

² Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН,
г. Киев, Украина

³ Компания GIR-ENGINEERING Ltd, г. Днепр, Украина

УДК 666.76:621.746.047

СОВРЕМЕННЫЕ ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ БЫСТРОЙ СМЕНЫ СТАКАНОВ-ДОЗАТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА КОМПАНИИ GIR-ENGINEERING

Рассмотрены закономерности развития дефекта струи металла типа «веер» по ходу разливки серии на МНЛЗ. Приведены результаты исследований природы неметаллических включений, которые отлагаются на внутренней полости калибровочной вставки стакана-дозатора. С учетом выявленных закономерностей и ключевых факторов развития нарушения компактности струи металла испытана опытная партия стаканов-дозаторов систем CNC и MNC, позволяющих добиться стабильного процесса разливки.

Ключевые слова: стакан-дозатор, калибровочная вставка, МНЛЗ, дефект струи типа «веер», «стартовый веер», промежуточный ковш, компактность струи.

Компания «General Investment Resources» (GIR), включающая группу огнеупорных заводов, активно осваивает новые виды продукции для комплексных поставок огнеупорных материалов. В компании GIR-ENGINEERING, которая входит в структуру компании GIR, успешно освоена технология производства стаканов-дозаторов для непрерывной разливки стали, в которой применяются механизмы быстрой смены стаканов-дозаторов систем CNC и MNC. Известно, что все современные сортовые МНЛЗ оборудованы устройствами быстрой смены стаканов-дозаторов (рис. 1). Это позволяет обеспечить гибкое управление процессом разливки стали [1] и осуществлять разливку в течение нескольких десятков часов за счет быстрой замены стакана-дозатора. На практике калибровочные отверстия стаканов-дозаторов изготавливают горячим прессованием или по технологии шликерного литья из диоксида циркония (содержание $ZrO_2 \geq 85\%$), обладающего высокой эрозионной и термической стойкостью, что обеспечивает стаканам-дозаторам высокую эксплуатационную стойкость [2, 3]. Стойкость современных стаканов-дозаторов колеблется в значительных пределах и составляет для верхнего (постоянного) стакана-дозатора 40–80 ч непрерывной разливки в зависимости от условий эксплуатации, для нижнего (сменного)

стакана-дозатора 6–18 ч непрерывной разливки в зависимости от условий эксплуатации и марки разливаемых сталей.

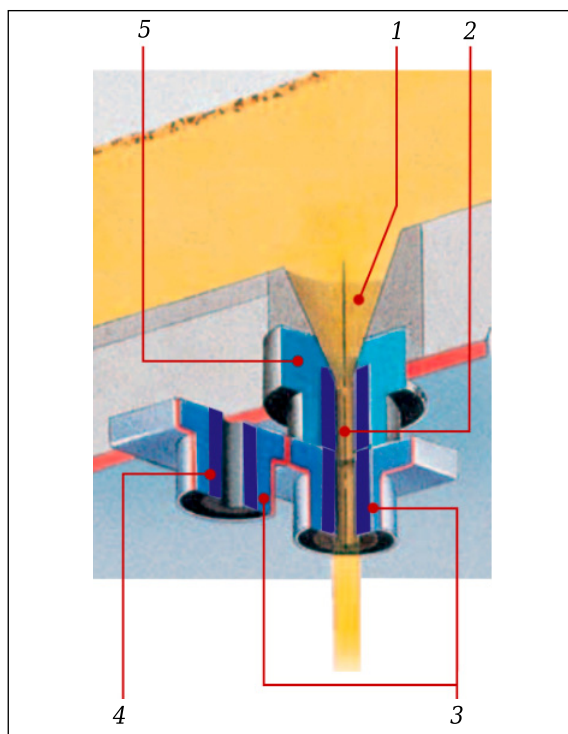


Рис. 1. Принципиальная схема быстрой смены стаканов-дозаторов промежуточного ковша сортовой МНЛЗ: 1 — воронка из набивной массы или формованный гнездовой блок; 2 — калиброванная струя металла; 3 — нижний (сменный) стакан-дозатор; 4 — ZrO_2 -вставка стакана-дозатора; 5 — верхний стакан-дозатор типовой конструкции



Д. В. Рябый
E-mail: dmitriy.ryabyi@gir.ua

С учетом проведенного теоретического и практического анализа вопросов, связанных с проблемой разливки стали, было установлено, что одной из ключевых проблем разливки металла открытой струей является зарастание сменных стаканов-дозаторов системы [4]. Это, в свою очередь, приводит к снижению скорости истечения металла через разливаемый дозатор ввиду уменьшения «калибровочного» диаметра вследствие его зарастания, к нарушению геометрии (компактности) струи металла (дефект типа «веер») ввиду трансформации калибровочного отверстия стакана-дозатора, а также травмирования внутренней полости стакана-дозатора вследствие прожигания его канала кислородом.

На практике установлено, что с момента запуска сортовой МНЛЗ начало цикла литья открытой струей, в особенности среднеуглеродистого сортамента, характеризуется неудовлетворительной разливкой металла ввиду спонтанного образования настелей на стенках калибровочных каналов стаканов-дозаторов и снижения скорости разливки [5]. Операция замены стакана-дозатора на новый не всегда приводит к стабилизации скорости разливки. Установлено, что достаточно часто для нового стакана-дозатора характерно также наличие дефекта типа «веер», или зарастаний, что следует связывать со спецификой развития гидродинамических явлений в области верхнего стакана. В крайнем случае такое развитие процесса разливки приводит к вынужденной остановке соответствующего ручья.

На рис. 2 показаны примеры зарастания внутренней полости нижних стаканов-дозаторов. Доминирующими причинами такого затягивания внутренней полости являются, по-видимому, снижение жидкотекучести стали и образование отложений неметаллических включений в каналах стаканов-дозаторов (см. рис. 2, Б). Химический анализ отложений показал, что в них содержится 12–15 % MgO (методика определения согласно ГОСТ 30511.5, весы лабораторные электронные АН-50). Для условий сталеплавильного передела это следует связывать с восстановлением Mg из футеровки промежуточного ковша и шлака с получением стали, содержащей Mg на уровне тысячных долей процента. При таких концентрациях восстановленный Mg способен участвовать в образовании неметаллических включений типа алюминатов ($MgO-Al_2O_3$, $FeO-Al_2O_3$, $CaO-Al_2O_3-MgO$), силикатов ($2FeO-SiO_2$, $2MgO-SiO_2$) и др.

По нашему мнению, наиболее вероятной причиной затягивания стакана-дозатора является проявление совокупности нескольких неблагоприятных технологических факторов. Например, характерное для начала серии уменьшение отверстия стакана-дозатора (затягива-

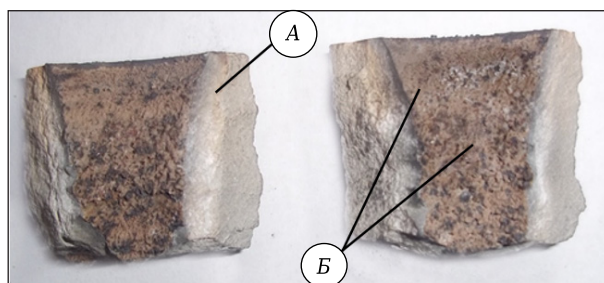


Рис. 2. Фрагменты калибровочной вставки стакана-дозатора с отложениями неметаллических включений: А — тело калибровочной вставки; Б — отложения неметаллических включений

ние), обусловленное «приработкой» (износом) высокоосновного торкрет-покрытия промежуточного ковша с изменением химического состава поверхностного слоя и снижением равновесного с ним содержания кислорода в стали на первых плавках (обычно от 1 до 6). В сочетании с нарушением режима продувки или попаданием ковшевого шлака в жидкую ванну металла, в которой в качестве раскислителей применяли кальцийсодержащие материалы, это может значительно увеличить интенсивность затягивания стакана-дозатора.

Отложения, показанные на рис. 2, вызывают гидродинамические возмущения в струе металла, приводят к нарушению ее компактности, что выражается в отклонении ее от вертикали, деформации продольного и поперечного профиля струи вплоть до образования дефекта литья типа «веер» (рис. 3) в виде поверхностных дефектов заготовки типа «заливина», «заворот корки», брызги и т. п., являющихся причиной аварийных прорывов металла под кристаллиза-



Рис. 3. Дефект типа «веер» струи металла вследствие наличия отложений на внутренней поверхности калибровочной вставки стакана-дозатора

тором [6]. Установлено, что максимальное число нарушений компактного характера истечения струи приходится на начало разливки первой плавки в серии, что обусловлено фактором развития так называемых «стартовых вееров». В ходе разливки серии металла наблюдается монотонное снижение возникающих «вееров», что, предположительно, обусловлено уменьшением эрозии футеровки промежуточного ковша по мере увеличения толщины спеченного слоя футеровки [7].

Между тем для «стартовых вееров» экзогенные неметаллические включения, обна-



Рис. 4. Фрагменты (1) рабочего слоя футеровки промежуточного ковша, отложившейся на калибровочной вставке нижнего стакана-дозатора, и металлические включения (2)



Рис. 5. Циркониевая вставка с неравномерным размытием калибровочного канала



Рис. 6. Нижние (сменные) стаканы-дозаторы системы CNC производства компании GIR-ENGINEERING

руживаемые в каналах стаканов-дозаторов, имеют вид относительно рыхлых, отслоившихся фрагментов футеровки промежуточного ковша (рис. 4). Обычно это частицы рабочего торкрет-покрытия или набивной массы, используемой для формирования воронки над верхним стаканом-дозатором в разливочном узле промежуточного ковша. Нередко эти фрагменты представляют собой мелкие капли стали сфероидальной формы. По результатам химического анализа экзогенных включений установлено, что в них преобладают частицы MgO (~50 %) и SiO_2 (20–25 %), а также капли стали. Это примерно соответствует соотношению этих фаз в используемых торкрет-массах [5].

Кроме того, одной из значимых проблем высокоскоростной разливки металла является неравномерный износ калибровочного отверстия циркониевой вставки (рис. 5), что приводит к изменению геометрии струи истекающего металла из стакана-дозатора с образованием возмущений на мениске металла в кристаллизаторе. В результате этого возрастает вероятность получения заготовок с повышенными кривизной и ромбичностью, что также приводит к росту скорости износа гильз и дополнительным потерям металла в виде брака заготовок.

Для увеличения компактности истечения струи металла в процессе разливки компания производит стаканы-дозаторы систем CNC и MNC (рис. 6) с применением высококачественных циркониевых вставок (содержание ZrO_2 не менее 93 %), что, в свою очередь, позволяет снизить взаимодействие калибровочной вставки с продуктами плавки (металл, шлак). Типичные физико-химические показатели нижних стаканов-дозаторов марок GIR-LP-MNC и GIR-LP-CNC производства компании GIR-ENGINEERING приведены ниже:

Содержание, %:	
($ZrO_2 + HfO_2$), не менее.....	93
Al_2O_3 , не менее.....	85
CaO.....	0,8–1,5
Открытая пористость, %, не более:	
для блока.....	15,0
для вставки.....	5,0
Кажущаяся плотность, г/см ³ , не менее:	
для блока.....	2,90
для вставки.....	4,90

Стаканы-дозаторы системы CNC марки GIR-LP-CNC испытывали на металлургическом предприятии с конвертерным производством, в составе которого имеется высокоскоростная многоручьевая сортовая МНЛЗ. По результатам испытаний было отмечено повышение стойкости экспериментальных стаканов-дозаторов по сравнению со стойкостью используемых стаканов-дозаторов базового поставщика. Максимально достигнутая стойкость стаканов-дозаторов в период испытаний составила 10 ч 15 мин.

Основной причиной замены опытных стаканов-дозаторов являлась корректировка скоростного режима разливки. Кроме того, на одном из предприятий, включающем дуговую сталеплавильную печь и сортовую МНЛЗ, были произведены опытные испытания стаканов-дозаторов системы MNC марки GIR-LP-MNC. За весь период испытаний наблюдалась стабильная разливка металла с обеспечением необходимого скоростного режима. Стойкость изделий марки GIR-LP-MNC составила 6,5–9,0 ч непрерывной разливки металла. Испытания показали, что применение стаканов-дозаторов производства компании GIR позволяет достичь стабильного процесса разливки в течение длительного периода (9–10 ч) и снизить вероятность нарушения компактности истечения металла, что можно объяснить снижением взаимодействия калибровочной вставки стакана-дозатора с продуктами плавки (металл, шлак).

Еще одной достаточно частой причиной дефекта струи типа «веер» после длительной разливки является попадание в канал нижнего стакана-дозатора фрагментов от разрушения калибровочной ZrO_2 -вставки верхнего стакана-дозатора. Разрушение начинается в части, выступающей из массива формованного огнеупора, и, как правило, связано с использованием кислорода для открытия ручьев в начале разливки или при перезапусках ручьев по ходу разливки. При контакте с реакционной зоной взаимодействия струи кислорода с металлом, имеющей температуру 2200–2800 °С, огнеупоры подвергаются интенсивному термическому и физико-химическому воздействию. Возникающие в них значительные градиенты температур приводят к возникновению термических напряжений, которые могут превышать предел прочности материала [4, 5]. Поэтому для устранения дефекта струи типа «веер» из-за разрушения верхнего стакана-дозатора рекомендуется усиление его конструкции.

На основании вышеизложенного компания GIR изготовила и поставила на одно из предприятий отрасли опытную партию верхних стаканов-дозаторов усиленной конструкции для проведения испытаний. Следует отметить, что приоритетной задачей нашей компании является обеспечение комплексных поставок огнеупорной продукции с высокими эксплуатационными характеристиками. Витринные образцы верхнего и нижнего стакана-дозатора системы CNC показаны на рис. 7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Известно, что все современные сортовые МНЛЗ оборудованы устройствами быстрой смены стаканов-дозаторов. Это позволяет обеспечить гибкое управление процессом разливки



Рис. 7. Витринные образцы верхнего и нижнего стаканов-дозаторов системы CNC производства компании GIR-ENGINEERING

стали и осуществлять разливку в течение нескольких десятков часов за счет быстрой замены стакана-дозатора.

2. Установлено, что максимальное количество нарушений компактного характера истечения струи приходится преимущественно на начало разливки первой плавки в серии, что обусловлено фактором развития «стартовых вееров». Распределение количества возникающих «вееров» по серии имеет монотонно убывающий характер, что, предположительно, обусловлено увеличением толщины спеченного слоя футеровки, снижающим вероятность ее эрозии.

3. Для так называемых «стартовых вееров», наблюдаемых в начале разливки серии плавов, экзогенные неметаллические включения, обнаруживаемые в каналах стаканов-дозаторов, имеют вид относительно рыхлых, отслоившихся фрагментов рабочего слоя футеровки промежуточного ковша. Обычно это частицы рабочего торкрет-покрытия или набивной массы, используемой для формирования воронки над верхним стаканом-дозатором в разливочном узле промежуточного ковша. По результатам химического анализа экзогенных включений установлено, что в них преобладают частицы MgO (~50 %) и SiO_2 (20–25 %), что примерно соответствует соотношению этих фаз в используемых торкрет-массах разных производителей.

4. Для предотвращения вероятности развития нарушения компактности истечения струи металла в процессе разливки серии металла на МНЛЗ компания GIR ENGINEERING внедрила производство сменных стаканов-дозаторов систем CNC и MNC с применением высококачественных циркониевых вставок (содержание ZrO_2 не менее 93 %), что позволяет снизить взаимодействие калибровочной вставки с продуктами плавки (металл, шлак).

5. Результаты испытаний показали, что применение нижних (сменных) стаканов-дозаторов позволяет достичь стабильного процесса разлива в течение продолжительного периода (9–10 ч)

Библиографический список

1. **Смирнов, А. Н.** Непрерывная разливка сортовой заготовки / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, А. Л. Подкорытов [и др.]. — Донецк : Цифровая типография, 2012. — 417 с.
2. **Смирнов, А. Н.** Технологическое развитие параметров высокоскоростной разливки стали на сортовых МНЛЗ / А. Н. Смирнов, Е. В. Штепан, Г. И. Касьян, А. Я. Минц // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 2004. — № 8. — С. 140–143.
3. **Jain, Neha.** RHI zirconia nozzles in tundish application / Neha Jain, Florian Barthmann, Ghufan Ansari // *RHI Bulletin*. — 2016. — № 1. — Р. 45–50.
4. **Писарский, С. Н.** Оценка технологических возможностей стабилизации скорости разливки открытой струей на современной сортовой МНЛЗ. Сообщение 1 / С. Н. Писарский, А. Н. Смирнов, Д. А. Лавренко, Д. В. Рябый // *Металл и литье Украины*. — 2018. — № 3/4 (298/299). — С. 28–33.

и уменьшить вероятность нарушения компактности истечения металла. Это можно объяснить снижением взаимодействия калибровочной вставки стакана-дозатора с продуктами плавки.

5. **Писарский, С. Н.** Оценка технологических возможностей стабилизации скорости разливки открытой струей на современной сортовой МНЛЗ. Сообщение 2 / С. Н. Писарский, А. Н. Смирнов, Д. А. Лавренко, Д. В. Рябый // *Металл и литье Украины*. — 2018. — № 4/5 (298/299).
6. **Ерньоко, С. П.** Совершенствование конструкции устройства для быстрой смены стаканов-дозаторов промковша МНЛЗ / С. П. Ерньоко, А. Н. Смирнов, Д. А. Яковлев [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 2006. — № 8. — С. 107–109.
7. **Писарский, С. Н.** Оценка гидродинамических факторов повышения эффективности разливки стали на многоручьевых сортовых МНЛЗ / С. Н. Писарский, А. Н. Смирнов, Д. В. Рябый // *Процессы литья*. — 2018. — № 4/5 (298/299). ■

Получено 16.01.19

© Г. Г. Немсадзе, Р. А. Джоджуа, А. Н. Смирнов, Д. В. Рябый, К. Н. Шарандин, 2019 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



UNITECR 2019

Refractories for the Future:
Collaboration among Customers, Manufactures and Academia in Pursuit of Further High-Temperature Technology

Дата 13–16 октября 2019 г.

Место Pacifico Yokohama
г. Йокогама, Япония

Темы:

- Огнеупоры для производства:
 - железа и стали
 - стекла
 - цемента
- Огнеупоры для цветной металлургии
- Огнеупоры для нефтехимических процессов
- Огнеупоры для сжигания отходов
- Сырье
- Экологическая устойчивость и переработка сырья
- Достижения в области производства и оборудования
- Огнеупорные инженерные системы и дизайн
- Новые разработки
- Базовая наука
- Энергосбережение и теплоизоляция
- Тестирование огнеупоров
- Образование
- Промышленное применение огнеупоров
- Высокотемпературная инженерная керамика
- Сотрудничество между клиентами, производствами и научными организациями

Hosted by TARJ. Technical Association of Refractories, Japan

<http://unitecr2019.org/index.html>