

А.Н. Смирнов, д-р техн. наук, проф., ведущ. науч. сотр., e-mail: stalevoz@i.ua

Д.В. Рябый, аспирант

А.П. Верзилов, канд. техн. наук, науч. сотр.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СТАРТОВЫХ ВЕЕРОВ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ СОРТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ОТКРЫТОЙ СТРУЕЙ

Спецификой разливки сортовой заготовки на многоручьевых сортовых машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) является отсутствие возможности контроля качества каждой заготовки, в том числе и ее поверхности. В данной работе представлены результаты промышленных исследований условий возникновения поверхностных дефектов, связанных с разбрызгиванием стали на участке стакан-дозатор промковша и кристаллизатор сортовой машины непрерывного литья заготовок, а также оценка возможности уменьшения явления веерения в период старта машины непрерывного литья заготовок. Также в данной публикации представлены результаты применения «калибровочных» вставок для стаканов-дозаторов с альтернативным химическим составом. Результаты работы свидетельствуют о перспективности исследований, направленных на применение «калибровочных» стаканов-дозаторов с альтернативным химическим составом, позволяющих обеспечить стабильное истечение струи металла на старте серии машины непрерывного литья заготовок.

Ключевые слова: сортовая машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), компактность открытой струи, поверхностные дефекты, «калибровочные» стаканы-дозаторы, веерение, промежуточный ковш, футеровка промковша.

Развитие рынка сортовой металлопродукции за последние 5–10 лет привело к заметному ужесточению требований, предъявляемых к качеству металлопродукции, необходимости дифференциации выплавляемого сортамента, а также повышению производительности уже имеющихся МНЛЗ при обеспечении низкой себестоимости готовой продукции.

Необходимо отметить, что большинство металлургических предприятий, где установлены современные многоручьевые сортовые МНЛЗ в основном уже достигли свои пиковых значений и функциональных технологических возможностей. Спецификой разливки сортовой заготовки на многоручьевых сортовых МНЛЗ является отсутствие возможности контроля качества каждой заготовки, в том числе и ее поверхности. Исходя из этого, дальнейшее развитие технологии разливки стали на сортовых МНЛЗ невозможно без поиска ключевых технологических показателей, которые обеспечивают гарантированное получение бездефектных непрерывнолитых заготовок и максимальную производительность при достижении низких удельных затрат [1, 2].

Целью настоящей работы является исследование условий возникновения поверхностных дефектов, связанных с разбрызгиванием стали на участке стакан-дозатор промковша и кристаллизатор сортовой МНЛЗ, а также оценка возможности уменьшения явления веерения в период старта МНЛЗ.

Известно, что все современные сортовые МНЛЗ оборудованы устройствами быстрой замены стаканов-дозаторов (БСС) (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 изготавливаются горячим прессованием из диоксида циркония (содержание ZrO_2 составляет $\geq 93\%$), обладающего высокой эрозионной и термической стойкостью, что обеспечивает данным изделиям высокую эксплуатационную стойкость [3].

Стойкость современных стаканов-дозаторов колеблется в значительных пределах и составляет: для верхнего (постоянного) 40–80 часов непрерывной разливки в зависимости от условий эксплуатации; для нижнего (сменного) 6–18 часов непрерывной разливки в зависимости от условий эксплуатации и марки разливаемого сталей.

С учетом выполненного теоретического анализа вопросов, связанных с проблемой разливаемости стали, было установлено, что одной из ключевых проблем разливки металла открытой струей является зарастание сменных стаканов-дозаторов системы БСС [4]. Это, в свою очередь, приводит к следующим негативным последствиям: снижение скорости истечения металла через разливаемый дозатор ввиду уменьшения «калибровочного» диаметра вследствие его зарастания; нарушение геометрии (компактности) струи металла (дефект «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 разливаемостью металла ввиду спонтанного образования настывшей на стенках калибровочных каналов стаканов-дозаторов и падения скорости разливки металла [5]. Выполнение операции замены стакана-дозатора на новый далеко не всегда приводит к стабилизации скорости разливки. В результате наблюдений установлено, что достаточно часто для нового стакана дозатора также характерно наличие веерения или зарастаний, что следует связывать спецификой развития гидродинамических явлений в области верхнего стакана. В крайнем случае такое развитие процесса разливки приводит к вынужденной остановке соответствующего ручья.

На рис. 2 приведены примеры зарастания внутренней полости нижних стаканов-дозаторов. Доминирующей причиной такого затягивания внутренней

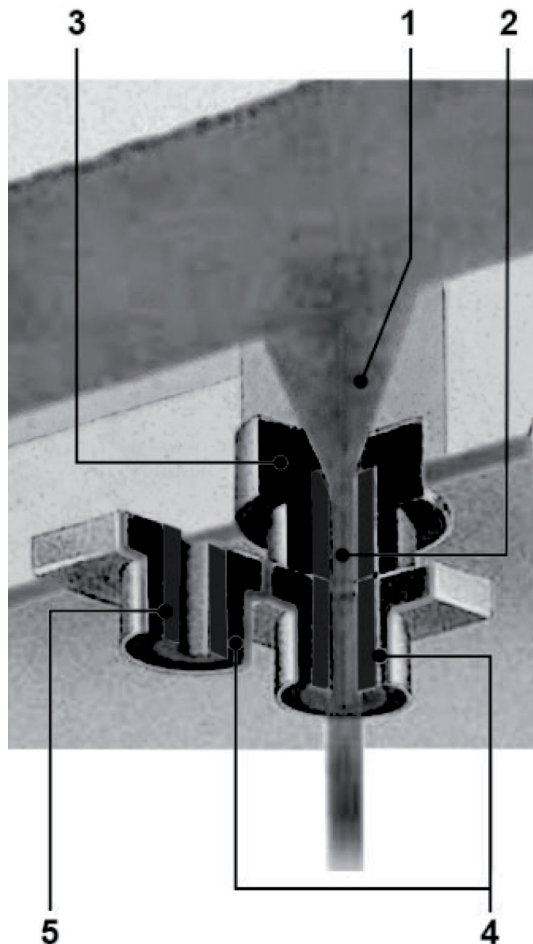


Рис. 1. Принципиальная схема быстрой замены стаканов-дозаторов промежуточного ковша сортовой МНЛЗ: 1 – воронка из набивной массы или формованный гнездовой блок; 2 – калиброванная струя металла; 3 – верхний стакан-дозатор типовой конструкции; 4 – нижний (сменный) стакан-дозатор; 5 – ZrO_2 -вставка стакана-дозатора

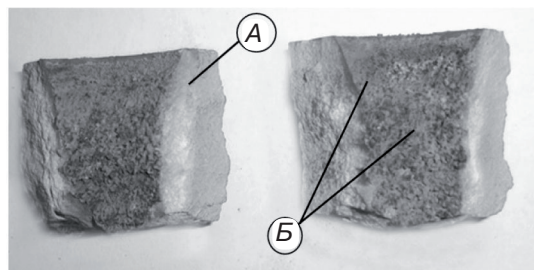


Рис. 2. Фрагменты «калибровочной» вставки стакана-дозатора с отложениями неметаллических включений: поз. А – тело «калибровочной» вставки; поз. Б – отложения неметаллических включений

полости является, видимо, снижение жидкотекучести стали и образование отложений неметаллических включений в каналах стаканов-дозаторов (поз. Б рис. 2).

Выполненный химический анализ отложений показал, что в них содержится около 12–15 % MgO (методика определения согласно ГОСТ 30511.5-97, весы лабораторные электронные АН-50). Для условий сталеплавильного передела это следует связывать с восстановлением Mg из футеровки промковша и шлака с получением стали, содержащей Mg на уровне тысячных долей процента. При таких концентрациях восстановленный магний способен участвовать в образовании неметаллических включений типа алюминатов ($\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$, $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ -MgO), силикатов (2FeO-SiO_2 , 2MgO-SiO_2) и др.

По мнению авторов, наиболее вероятной причиной затягивания стакана-дозатора является проявление совокупности нескольких неблагоприятных технологических факторов. Например, характерное для начала серии уменьшение отверстия стакана-дозатора (подтягивание), обусловленное «приработкой» (износом) высокоосновного торкрет-покрытия промковша с изменением химического состава поверхностного слоя и снижением равновесного с ним содержания кислорода в стали на первых плавках (обычно с 1 по 6). В сочетании с нарушением режима продувки или попаданием ковшевого шлака в жидкую ванну металла, где в качестве раскислителей применяли кальцийсодержащие материалы, это может значительно увеличить интенсивность затягивания стакана-дозатора.

Отложения, приведенные на рис. 2, вызывают гидродинамические возмущения в струе, приводят к нарушению ее компактности, что выражается в отклонение ее от вертикали, деформации продольного и поперечного профиля струи вплоть до образования дефекта литья типа «веер» (рис. 3). Следствием развития явления «веерения» струи является образование поверхностных дефектов заготовки типа «заливина», «заворот корки», брызги и т. п., являющиеся причиной аварийных прорывов металла под кристаллизатором [6].

Установлено, что максимальное количество случаев 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 снижением эрозии футеровки промковша по мере увеличения спеченного слоя футеровки [7].

Между тем, для «стартовых вееров» экзогенные неметаллические включения, обнаруживаемые в каналах стаканов-дозаторов, имеют вид относительно рыхлых, отслоившихся фрагментов футеровки промковша (рис. 4). Обычно, это частицы рабочего торкрет-покрытия или набивной массы, используемой для формирования воронки над верхним стаканом-дозатором в разливочном узле промковша. Нередко эти фрагменты имеют в своем составе мелкие капли стали сфероидальной формы.



Рис. 3. Веерение струи металла вследствие наличия отложений на внутренней поверхности калибровочной вставки стакана-дозатора



Фрагменты футеровки
рабочего слоя ПК

Металлические
отложения

Рис. 4. Фрагменты футеровки промежуточного ковша, отложившейся на калибровочной вставке нижнего стакана-дозатора

По результатам химического анализа (методика определения согласно ГОСТ 30511.5-97, весы лабораторные электронные АН-50) экзогенных включений установлено, что в них преобладают частицы MgO ($\approx 50\%$) и SiO_2 ($\approx 20-25\%$), а также капли стали. Это примерно соответствует соотношению этих фаз в используемых торкрет-массах [5].

Исходя из вышеизложенного, для снижения вероятности развития «стартовых вееров» целесообразно применять в начале разливки серии стаканы-дозаторы с «калибровочными» вставками из материала, который не подвержен взаимодействию с продуктами

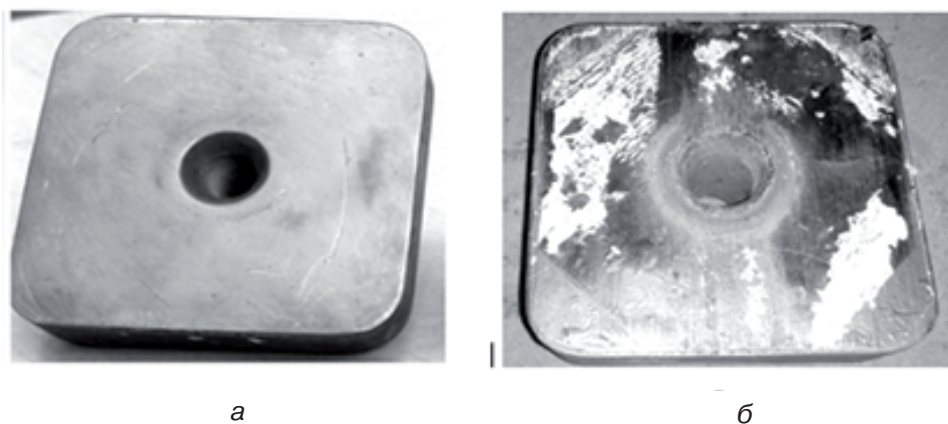
плавки, а вследствие чего – зарастанию канала.

К таким материалам можно отнести карбонитрид бора, который обладает высокой термостойкостью и химической устойчивостью. Карбонитрид бора – композиционный материал, состоящий из исходных компонентов BN и B_4C , а также «вторичного» нитрида бора с ромбоэдрической кристаллической решеткой, полученной при азотировании B_4C в процессе реакционного спекания в азоте [8].

Так, на одном из металлургических предприятий с конвертерным производством, в составе которого есть установки ковш-печь без вакуумирования, при разливке рядового сортамента открытой струей на сортовой МНЛЗ в качестве «стартового» нижнего стакана-дозатора были установлены опытные образцы с калибровочной вставкой из карбонитрида бора. Общий вид стакана-дозатора со вставкой из карбонитрида бора приведен на рис. 5.

Опытные образцы были установлены в качестве «стартовых» стаканов-дозаторов на первом (крайнем) и третьем (среднем) ручье на двух подряд сериях разливки металла.

Продолжительность разливки через опытные стаканы-дозаторы при разливке первой серии металла на первом и третьем ручье составила 21 и 24 минуты, соответственно. Разливка через опытные стаканы-дозаторы была прервана путем проведения операции замены штатных стаканов-дозаторов с циркониевой вставкой по причине увеличения скорости разливки.



а

б

Рис. 5. Опытный образец стакана-дозатора с экспериментальной вставкой из карбонитрида бора (рабочая поверхность): а – перед разливкой; б – после замены в ходе разливки

При разливке первой серии на опытных ручьях было отмечено стабильное и компактное истечение струи металла (рис. 6). При этом для ручьев с циркониевыми вставками веерение наблюдалось на двух ручьях.

Продолжительность разливки через опытные стаканы-дозаторы при разливке второй серии металла на первом и третьем ручье составила 28 и 20 минут, соответственно. Разливка через опытные стаканы-дозаторы осуществлялась стабильно в течение всего периода проведения эксперимента. Наличие «веерений» и нарушений геометрии струи металла на экспериментальных стаканах-дозаторах не наблюдалось. В то же время, при использовании штатных стаканов один ручей из четырех имел сильное веерение и был остановлен в начале второй плавки. Окончание разливки через опытные стаканы-дозаторы было произведено посредством операции замены на традиционные стаканы-дозаторы с циркониевой вставкой по причине увеличения скорости разливки. Фото отработанного стакана-дозатора с экспериментальными вставками из карбонитрида бора приведено на рис. 5, б.

В таблице приведены результаты замера геометрии полостей опытных стаканов-дозаторов. При этом средняя скорость износа рабочего тела стакана дозатора составила 0,0995 мм/мин.

Причиной прекращения разливки через опытные стаканы-дозаторы явилось заметное увеличение скорости разливки стали. Причиной этому послужило высокая скорость износа рабочего слоя вставки из карбонитрида бора в условиях высокоскоростной непрерывной разливки стали. С целью улучшения прочностных свойств из карбонитрида бора в его состав могут



Рис. 6. Разливка металла через опытный стакан-дозатор со стабильной геометрией истекающей струи металла из промежуточного ковша

Результаты замера геометрии полостей опытных стаканов-дозаторов

Номер образца	Диаметр полости опытного стакана-дозатора перед разливкой, мм	Диаметр полости опытного стакана-дозатора после разливки, мм	Время разливки через опытный стакан-дозатор, мин	Износ мм/мин
1	17,0	19,4	21	0,114
2	16,5	18,6	24	0,087
3	16,0	18,3	28	0,082
4	17,5	19,8	20	0,115

вводиться добавки ZrO_2 и SiO_2 и тем самым обеспечивать повышение сопротивление износу вставок и повышать их эрозионную стойкость. Также необходимо отметить и то, что карбонитрид бора можно подвергать 100%-ному рециклингу, что значительно может снизить стоимость изготовления продукции.

Выполненные исследования показали, что применение стаканов-дозаторов с альтернативным химическим составом, в первую очередь, позволяет снизить вероятность развития «стартовых вееров», что связано с заметным снижением взаимодействия калибровочной вставки стакана-дозатора с продуктами плавки (металл, шлак). При этом более высокая скорость износа альтернативных калибровочных вставок обеспечит стабильный старт процесса литья и быстро выйти на оптимальные скоростные показатели истечения струи металла.

Выводы

- Большинство металлургических предприятий, где установлены современные высокопроизводительные сортовые МНЛЗ, в основном уже достигли своих пиковых технологических и производственных возможностей. Исходя из этого дальнейшее развитие технологии разливки стали на сортовых МНЛЗ невозможно без поиска ключевых показателей технологических аспектов, которые обеспечивают гарантированное получение бездефектных непрерывнолитых заготовок и максимальную производительность при обеспечении низких удельных затрат.

- Установлено, что максимальное количество случаев 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.

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

- Для предотвращения вероятности развития «стартовых вееров» целесообразно применять в начале разливки серии стаканы-дозаторы с «калибровочными» вставками из материала, который не подвержен взаимодействию с продуктами плавки, и, как следствие, зарастанию внутреннего канала (например, карбонитрид бора).

- Применение стаканов-дозаторов с альтернативным химическим составом, в первую очередь, позволяет снизить вероятность развития «стартовых вееров», что связано с заметным снижением взаимодействия калибровочной вставки стакана-дозатора с продуктами плавки (металл, шлак). Стоит отметить и то, что снижение скорости износа альтернативных «калибровочных» вставок позволяет обеспечить стабильный старт разливки металла и выйти на оптимальные скоростные показатели истечения струи металла.

Список литературы

1. Непрерывная разливка сортовой заготовки / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, А. Л. Подкорытов и др. – Донецк: Цифровая типография, 2012. – 417 с.
2. 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*. – Днепропетровск: Укрметаллургинформ, 2004. – № 8. – С. 140–143.
3. RHI Zirconia Nozzles in Tundish Application / Neha Jain, Florian Barthmann, Ghufuran Ansari // *RHI Bulletin* № 1, 2016, pp. 45–50.
4. 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. – С. 28–33.
5. 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 // *Там же*. – 2018. – № 5–6. – С. 3–9.
6. Совершенствование конструкции устройства для быстрой смены стаканов-дозаторов проковша МНЛЗ / С. П. Еронько, А. Н. Смирнов, Д. А. Яковлев и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Днепропетровск: Укрметаллургинформ, 2006. – № 8. – С. 107–109.
7. *Писарский С. Н., Смирнов А. Н., Рябый Д. В.* Оценка гидродинамических факторов повышения эффективности разливки стали на многоручьевых сортовых МНЛЗ // *Процессы литья*. – 2018. – № 5. – С. 19–29.
8. Исследование влияния оксидных добавок ZrO₂ и SiO₂ на процессы фазообразования и свойства горячепрессованных композитов на основании карбонитрида бора / О. Н. Григорьев, Н. Д. Бега, Т. В. Дубовик, О. Д. Щербина и др. // *Огнеупорная и техническая керамика*. – 2009. – № 3.

Поступила 05.11.2018

References

1. *Smirnov, A. N., Kuberskiy, S. V., Podkorytov, A. L.* et al. (2012) Continuous casting of billet. Donetsk: Tsifrovaya tipografiya, 417 p. [in Russian].
2. *Smirnov, A. N., Shtepan, Ye. V., Kasyan, G. I., Mints, A. Ya.* (2004) Technological development of the parameters of high-speed casting of steel on graded continuous casting machines. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost*. Dnepropetrovsk: Ukrmetallurginform, no. 8, pp. 140–143 [in Russian].
3. RHI Zirconia Nozzles in Tundish Application. Neha Jain, Florian Barthmann, Ghufuran Ansari. *RHI Bulletin* no. 1, 2016, pp. 45–50.
4. *Pisarskiy, S. N., Smirnov, A. N., Lavrenenko, D. A., Ryabyy, D. V.* (2018) Evaluation of the technological capabilities of stabilizing the rate of casting with an open stream on a modern varietal caster. Post 1. *Metall i lite Ukrainy*, no. 3–4, pp. 28–33 [in Russian].
5. *Pisarskiy, S. N., Smirnov, A. N., Lavrenenko, D. A., Ryabyy, D. V.* (2018) Evaluation of the technological capabilities of stabilizing the rate of casting with an open stream on a modern varietal caster. Post 2. *Tam zhe*, no. 5–6, pp. 3–9 [in Russian].
6. *Yeronko, S. P., Smirnov, A. N., Yakovlev, D. A.* et al. (2006) Improving the design of the device for quick change of dosing cups of tundish caster. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost*. Dnepropetrovsk: Ukrmetallurginform, no. 8, pp. 107–109 [in Russian].
7. *Pisarskiy, S. N., Smirnov, A. N., Ryabyy, D. V.* (2018) Evaluation of the hydrodynamic factors of increasing the efficiency of steel casting on multi-strand continuous caster. *Protsessy litya*, no. 5, pp. 19–29 [in Russian].
8. *Grigorev, O. N., Bega, N. D., Dubovik, T. V., Shcherbina, O. D.* et al. (2009) Investigation of the influence of ZrO₂ and SiO₂ oxide additives on phase formation processes and properties of hot-pressed composites based on boron carbonitride

Received 05.11.2018

О. М. Смірнов, д-р техн. наук, проф., провідн. наук. співр., e-mail: stalevoz@i.ua

Д. В. Рябий, аспірант

О. П. Верзілов, канд. техн. наук, наук. співр.

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

ОСОБЛИВОСТІ ВИНИКНЕННЯ СТАРТОВИХ ВІЯЛ ПРИ БЕЗПЕРЕРВНОМУ РОЗЛИВАННІ СОРТОВОЇ ЗАГОТІВКИ ВІДКРИТИМ СТРУМЕНЕМ

Специфікою розливання сортової заготовки на багатоструменевих сортових машинах безперервного лиття заготовок є відсутність можливості контролю якості кожної заготовки, в тому числі і її поверхні. У даній роботі представлено результати промислових досліджень умов виникнення поверхневих дефектів, пов'язаних з розбризкуванням сталі на ділянці стакан-дозатор промковша та кристалізатор сортової машини безперервного лиття заготовки, а також оцінка можливості зменшення явища «віяльності» в період старту машини безперервного лиття заготовок. Також у даній публікації представлено результати застосування «калібрувальних» вставок для стаканів-дозаторів з альтернативним хімічним складом. Результати роботи свідчать про перспективу досліджень, спрямованих на застосування «калібрувальних» стаканів-дозаторів з альтернативним хімічним складом, що дозволяють забезпечити стабільне витікання струменя металу на старті серії машини безперервного лиття заготовок.

Ключові слова: сортова машина безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), компактність відкритого струменя, поверхневі дефекти, «калібрувальні» стакани-дозатори, «віяльність», проміжний ківш, футерівка промковша.

A. N. Smirnov, Doctor of Technical Sciences, Prof., Leading Researcher,
e-mail: stalevoz@i.ua

D. V. Ryabiy, Postgraduate Student

A. P. Verzilov, Candidate of Engineering Sciences, Researcher
Physico-Technological Institute of Metals and Alloys NAS of Ukraine, Kyiv

FEATURES OF THE OCCURRENCE OF STARTING FANS IN THE CONTINUOUS CASTING OF BILLETS BY OPEN JET

The specificity of casting billet on multi-varietal continuous caster is the inability to control the quality of each billet, including their surface. This paper presents the results of industrial studies of the conditions for the occurrence of surface defects associated with spraying of steel at the site of the industrial-bucket batcher and the mold of the sectional caster, as well as an assessment of the possibility of reducing the phenomenon of rhenium during the start of the caster. This publication also presents the results of apply-ing «gauge» inserts for dosing glasses with alternative chemical composition. The results of the work testify to the prospect of research aimed at the use of «gauge» dosing glasses with alternative chemical composition, allowing for a stable outflow of the metal jet at the start of the continuous casting machine series.

Keywords: varietal continuous casting machine (CCM), open jet compactness, surface defects, «gauge», metering glasses, faith, tundish, tundish lining.