УДК 669.184.244

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВСПЛЫТИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ПРОДУВКЕ АРГОНОМ ЖИДКОЙ ВАННЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ. СООБЩЕНИЕ 3

А.Н. Смирнов[1], *д.т.н., профессор кафедры «Металлургия стали»*
В.Г. Ефимова[2], *к.т.н., кафедра «Физическая химия»*
А.В. Кравченко[1], *аспирант кафедры «Металлургия стали»*
К.Е. Писмарев[3], *к.т.н., главный инженер*

[1] Донецкий национальный технический университет (Донецк, Украина)
[2] Киевский политехнический институт (Киев, Украина)
[3] Алчевский металлургический комбинат (Алчевск, Украина)

Аннотация. Выполненные ранее исследования на физической модели, а также аналитические оценки были использованы при создании оригинального продувочного блока и проведения промышленных испытаний в условиях слябовой МНЛЗ Алчевского металлургического комбината. Особенностью конструкции продувочного блока является его геометрическая форма в виде кольца, охватывающего стакан-дозатор. При этом вдувание газа осуществляется через калиброванные отверстия, выполненные в специальных огнеупорных трубках. В результате проведенных испытаний установлено, что рафинирующий эффект достигается при расходе газа на уровне 10 – 12 л/мин.

Ключевые слова: неметаллические включения, промежуточный ковш, продувка аргоном, пузырек, фурма, моделирование.

E-mail: kravchenko@mail.ru

Образование неметаллических включений, происходящее в ходе внепечной обработки и непрерывной разливки стали, непосредственно связано с поведением кислорода, находящегося в металле, шлаке и футеровке сталеразливочного и промежуточного ковшей, а также с эмульгированием частиц шлака при принудительном перемешивании и технологических переливах металла [1, 2].

Благоприятные условия для всплытия и удаления неметаллических включений создаются во время пребывания стали в промежуточном ковше машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Современный промежуточный ковш, как правило, оснащен специальными приспособлениями, обеспечивающими всплытие и отделение неметаллических включений в результате правильной организации потоков движения металла, его фильтрации и продувки инертным газом [3, 4]. Вместе с тем, выбор рациональной конструкции элементов промежуточного ковша и оптимальных параметров продувки зависит от определенной совокупности критериев и технологических параметров, что обусловливает необходимость проведения исследований применительно к конкретной МНЛЗ и параметрам литья.

Известно, что неметаллические включения могут иметь размеры от нескольких сотен до нескольких микрометров. Они являются как продуктами раскисления и вторичного окисления стали, так и результатом захвата частиц шлака и огнеупоров при перемешивании металла в ходе внепечной обработки и технологических переливов. Безусловно, именно крупные неметаллические включения оказывают наибольшее влияние на возникновение дефектов в готовой продукции. Однако их количество в стали не так велико (несколько сотен или тысяч на 1 кг стали), что затрудняет их обнаружение в отобранных образцах. Мелкие включения имеют более высокую концентрацию (например, 10^6 – 10^7 шт. на 1 кг стали и более). Однако по распределению этих включений в отобранных образцах нельзя судить о характере распределения крупных включений, которые не всегда попадают в исследуемое поле. Проблематика моделирования поведения неметаллических включений в жидкой ванне промежуточного ковша также требует учета плотности неметаллических включений, их конфигурации, уровня их смачиваемости жидкой сталью и др. Постановка задачи и ее решение в виде математической модели на таком уровне в настоящее время не представляются возможными. Поэтому на практике стремятся обеспечить рафинирующую продувку стали аргоном в промежуточном ковше путем рационального размещения продувочных узлов и оптимизации параметров продувки.

Металлургическая практика применения продувочных устройств в промежуточных ковшах подтверждает, что при некоторых условиях количество неметаллических включений в расплавленной стали уменьшается при определенных условиях ее обработки [5 – 7]. Между тем, вопросы организации рациональных режимов продувки металла аргоном в промежуточном ковше требуют определенной оптимизации процессов движения конвективных потоков с целью наиболее полного использования энергии вдуваемого газа для конкретных условий обработки, а также предотвращения втя-

гивания в перемешивание частиц покровного шлака. На практике процесс продувки стали аргоном является чрезвычайно сложным физико-химическим процессом и проявляется в самых разнообразных системах. При этом эффективность рафинирующей продувки зависит от определенной совокупности факторов, включающих интенсивность продувки, место расположения продувочных узлов, диаметр вдуваемых пузырьков и др.

Согласно многочисленным исследованиям турбулентность, вызванная интенсивным вдуванием аргона в жидкую ванну промежуточного ковша, приводит как к слипанию мелких частиц, так и к разрушению крупных агломератов [8 – 10]. С учетом того факта, что при интенсивном перемешивании металла и шлака (в местах выхода аргона) может происходить захват шлаковых включений в металл, интенсивность вдувания аргона в жидкую ванну промежуточного ковша должна быть ограничена некоторым пороговым значением, которое может быть определено при проведении промышленных экспериментов. Проведенные исследования показали, что в обобщенном виде механизм рафинирования стали представляет собой прикрепление частиц неметаллической фазы к всплывающему пузырю, который вовлекает с собой некоторое количество металла в шлаковую фазу. Этот металл, вместе с прикрепленными включениями, всплывает до границы раздела фаз металл–атмосфера, где пузырь разрушается. Далее агрегат металл–включения проходит через шлаковую фазу и переходит в металл. В этот момент все неметаллические включения, находящиеся в жидкой линии тока металла, по закону распределения переходят в шлаковую фазу.

Целью проведения промышленных испытаний являлось определение оптимального расхода газа при продувке металла через кольцевую фурму с целью создания наиболее эффективных рафинирующих условий в 60-т промежуточном ковше двухручьевой МНЛЗ в условиях конвертерного цеха Алчевского металлургического комбината (АМК). Конструкция футеровки промежуточного ковша включает в себя теплоизоляционный слой, расположенный между стальным кожухом и слоем высокоглиноземистого бетона, который работает, по меньшей мере, 800 – 1000 плавок. Рабочий слой футеровки (на основе магнезита) наносится методом холодного торкретирования. Дозирование стали и ее подача в кристаллизатор осуществляется с помощью системы огнеупоров «стопор-моноблок»–«стакан-дозатор»–«погружной стакан». Замена погружного стакана (при возникновении необходимости) осуществляется с помощью устройства для быстрой замены, которое расположено под днищем промежуточного ковша и предполагает подачу аргона в стакан-дозатор.

На практике размеры пузырьков аргона зависят от размеров отверстий огнеупора, через который вдувается инертный газ. Поэтому важным фактором для промышленной реализации метода продувки металла инертным газом в промежуточном ковше является применение пористых огнеупорных блоков с очень мелкими порами. Между тем, к эксплуатационным свойствам и прочности таких блоков предъявляются достаточно жесткие требования, поскольку они работают в крайне тяжелых условиях, сопряженных с длительным контактом с жидким металлом, теплосменами, механическим воздействием вследствие контакта с конвективными потоками и др. Помимо этого, продувочные блоки должны обеспечивать стабильную газопроницаемость в течение длительного периода эксплуатации (нескольких десятков часов) и возможность оперативной корректировки величины расхода газа при продувке.

В металлургической практике для продувки стали в промежуточном ковше используются специальные пористые блоки, изготовленные на основе магнезита или корунда. Существенным недостатком таких пористых элементов является значительное колебание размеров отверстий, что соответственно обусловливает образование пузырьков различных размеров. Эффективность продувки через пористые блоки в значительной степени зависит от реального соотношения крупных и мелких пор, поскольку через крупные поры может проходить большая часть вдуваемого аргона. На рис. 1 представлен внешний вид фрагмента пористого блока и

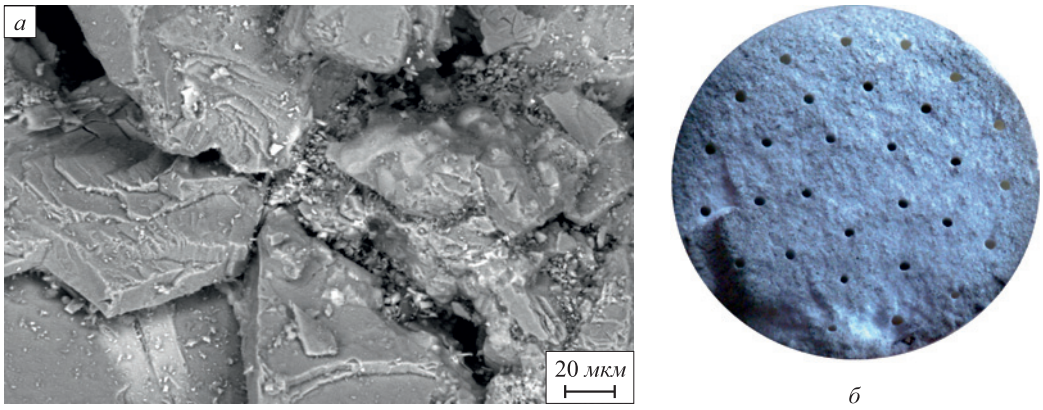


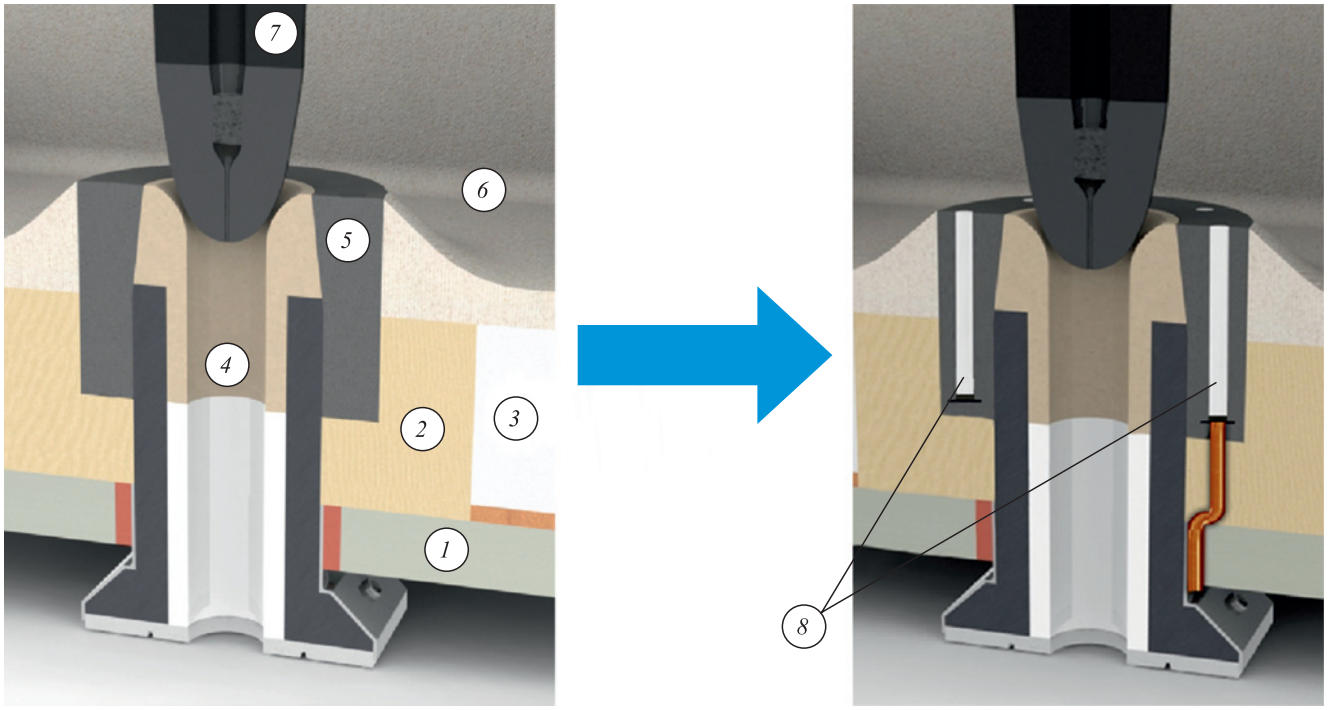
Рис. 1. Внешний вид пористого продувочного блока:
а – микроструктура, ×500; *б* – торец керамической трубки с регламентированными продувочными каналами (диаметр трубки 10 мм, диаметр продувочных отверстий 0,14 – 0,16 мм)

керамического элемента с регламентируемым диаметром отверстий, который использовался в конструкции продувочного блока в настоящих исследованиях.

В данной работе разработана оригинальная конструкция продувочной фурмы, изготовленной в виде кольца. При этом в тело кольца, выполненного из жаропрочного бетона, устанавливались керамические элементы (трубки), в которых выполнены каналы (диаметр 0,14 – 0,16 мм) для подачи аргона. Расстояние между керамическими продувочными трубками выбиралось таким образом, чтобы восходящие газожидкостные потоки перекрывались между собой на высоте 0,30 – 0,40 от высоты налива металла в промежуточном ковше (рис. 2). В технологическом плане применение продувочных элементов с малым диаметром отверстий позволяет диспергировать пузырьки газа и обеспечить продувку в пузырьковом режиме, не вовлекая в перемешивание покровный шлак.

Выбор схемы расположения и геометрических параметров продувочного блока в днище промежуточного ковша осуществлялся в соответствии с результатами физического моделирования. Конструкция кольцевой продувочной фурмы предусматривала ее установку вместо гнездового блока, фиксирующего стакан-дозатор (рис. 3). Установка продувочной фурмы в днище промежуточного ковша (рис. 4), соизмеримая по сложности со штатными операциями его футеровки, и подвод аргона не вызывали дополнительных монтажных трудностей.

Рис. 2. Расположение продувочных трубок в гнездовом блоке на основе результатов физического моделирования



а *б*

Рис. 3. Схематическое изображение трансформации разливочного узла промежуточного ковша (*а*) с установкой продувочных элементов в виде кольцевого блока (*б*):
1 – кожух промежуточного ковша; *2* – набивная масса; *3* – арматурный слой; *4* – стакан-дозатор; *5* – гнездовой блок; *6* – рабочий слой; *7* – стопор-моноблок; *8* – продувочные элементы

Рис. 4. Порядок монтажа и фиксации кольцевого продувочного блока в днище промежуточного ковша слябовой МНЛЗ АМК

Всего было разлито четыре серии по 6 – 8 плавок в каждой серии, что составило примерно 8,5 тыс. т слябов. В процессе исследований разливалась сталь марки BVA (0,14 – 0,17 % C; 0,7 – 1,0 % Mn; 0,15 – 0,35 % Si; <0,015 % S; <0,020 % P; 0,020 – 0,04 % Al) на слябы сечением 200×1245 мм. Сталь предварительно обрабатывалась на установке ковш-печь (в том числе продувалась аргоном) и затем подвергалась вакуумной обработке на установке VD/VOD.

Продувочные блоки устанавливались на один из ручьев, а второй ручей (без кольцевой продувки) использовался как сравнительный. Как показали испытания и визуальные наблюдения, продувка через кольцевой блок обеспечивала стабильный процесс перемешивания металла в промежуточном ковше в течение всего периода эксплуатации и возможность оперативной корректировки величины расхода газа при продувке в диапазоне от 6 до 16 л/мин. При этом поверхность покровного шлака, расположенного около стопора, практически не подвергалась возмущениям и разрушениям, а выход аргона в атмосферу происходил через отверстия и трещины, образовавшиеся в слое шлака. Вдувание аргона через кольцевой продувочный блок не оказывало существенного влияния на процесс работы стопора и не приводило к его дополнительным вибрациям и колебаниям. Осмотр поверхности стопоров после окончания разливки позволил установить, что характер износа тела стопоров в верхней их части (в том числе шлаковый пояс) не отличается для стопора, работавшего с кольцевым продувочным блоком, и для сравнительного стопора.

Контроль работы продувочных блоков осуществлялся во временные отрезки, соответствующие замене сталеразливочного ковша. Так, при падении уровня металла в промежуточном ковше на 250 – 300 мм наблюдалось интенсивное бурление и разбрызгивание шлака в области выхода пузырьков аргона в атмосферу.

В целом продувочные блоки обеспечивали стабильную газопроницаемость в течение всего периода эксплуатации и возможность оперативной корректировки величины расхода газа при продувке в диапазоне от 6 до 16 л/мин. Износ материала продувочного блока по высоте составлял 10 – 15 мм после разливки шести плавок, т. е. прохождения примерно 900 т стали через разливочный узел.

Для оценки влияния продувки аргоном на температуру стали осуществлялся замер ее температуры непосредственно в кристаллизаторах МНЛЗ. Всего было выполнено 46 замеров. Установлено, что сталь, попадающая в кристаллизатор с продувкой аргоном, в среднем имеет температуру на 2,0 – 2,5° ниже, чем в кристаллизаторе без продувки. Максимальные отклонения по ручьям составили 5°.

Полученные слябы оценивались визуально на наличие поверхностных дефектов и после этого прокатывались на листы толщиной 12 мм. Кроме того, качество

литого металла оценивалось по серным отпечаткам и после глубокого травления поперечных темплетов слябов, которые отбирались в соответствии с предусмотренным регламентом. Химический состав стали в отобранных образцах из опытных и сравнительных слябов практически не отличался.

Сравнительная оценка химического состава и характера распределения неметаллических включений в образцах из листового проката опытных (с применением продувки аргоном) и сравнительных (без продувки аргоном в промежуточном ковше) слябов осуществлялась по трем стандартам: ГОСТ 1778, ASTM EN 45-05, DIN 50602.

Установлено, что в опытном и сравнительном металле встречаются преимущественно тонкие сульфидные включения до 0,5 балла, точечные оксидные включения до 0,5 балла и силикатные включения как глобулярной, так и строчечной формы до 4 балла (рис. 5). В образцах из опытных слябов количество оксидов и сульфидов несколько меньше, чем в сравнительном. На всех нетравленых микрошлифах встречаются неметаллические включения в виде скоплений (конгломератов) мелких включений округлой и неправильной геометрической формы (рис. 5, *в*). Максимальные размеры крупных включений для сравнительного металла достигают 90 – 100 мкм, а для опытного – 50 – 60 мкм.

Дополнительно следует отметить, что в образцах из опытных и сравнительных слябов наблюдается высокий балл недеформирующихся крупных силикатов (рис. 5, *г*), что указывает на высокую загрязненность стали этими включениями. На микрошлифах всех плавок крупные силикатные включения округлой формы располагаются близко к поверхности (на глубине 0,08 – 0,73 мм), а некоторые даже выходят на поверхность. Количество и размеры силикатов в теле слябов заметно уменьшаются. Это позволяет предположить, что наличие крупных силикатов следует связывать с работой шлакообразующей смеси и развитием волнообразных процессов в кристаллизаторе.

В образцах из слябов, отлитых с продувкой аргоном через кольцевую фурму, количество крупных неметаллических включений (размер более 50 мкм) уменьшается в среднем на 40 – 80 %. При этом меньшие значения уменьшения количества включений характерны для слябов, отлитых после замены сталеразливочного ковша. Для включений меньшего размера (20 – 45 мкм) уменьшение их количества в опытных слябах составляет 14 – 26 %. При этом отмечено, что с увеличением скорости разливки разница между количеством неметаллических включений в образцах из опытного и сравнительного слябов возрастает.

Анализируя причины образования крупных неметаллических включений в отобранных пробах из опытного и сравнительного металла и изменение их количества при продувке аргоном следует, прежде всего, принять во внимание тот факт, что они имеют преимущественно округлую форму и представляют собой окси-

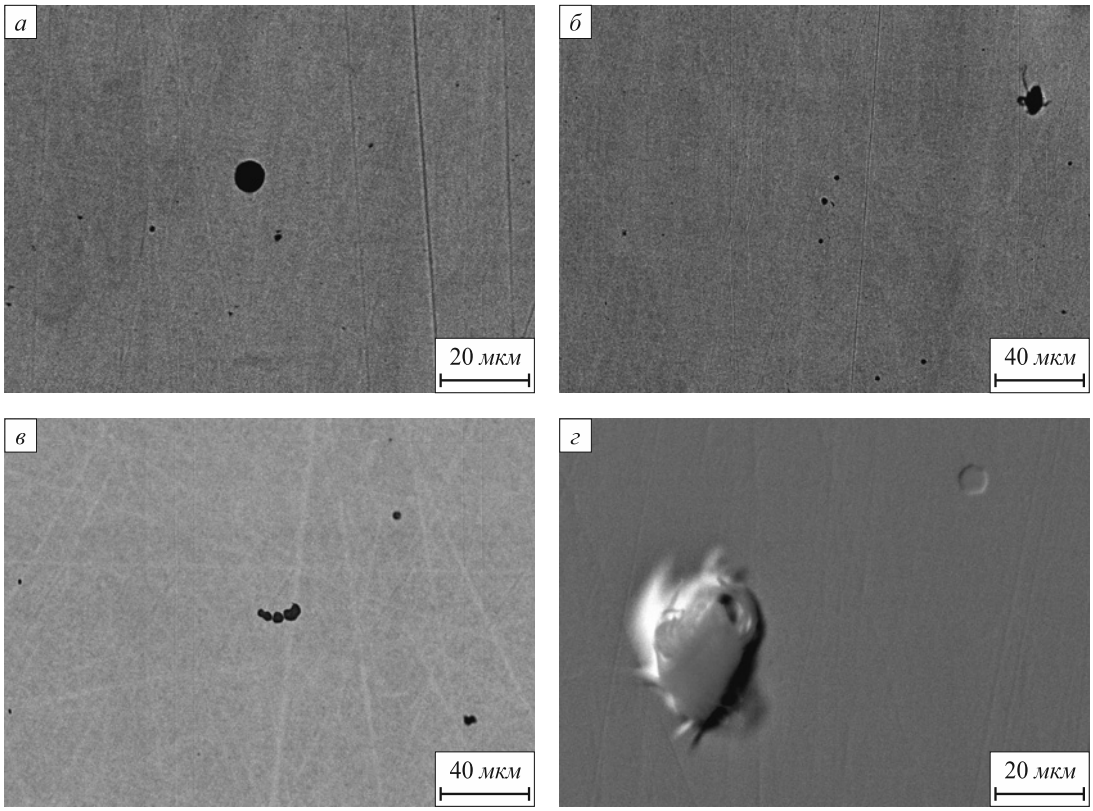


Рис. 5. Характерные типы неметаллических включений, обнаруженных в исследуемых образцах из опытного и сравнительного металла

сульфидные конгломераты, включающие такие элементы как кремний, алюминий, кальций, сера, кислород и др. Соответственно при попадании этих включений в восходящий поток газометаллической смеси они вовлекаются в движение и захватываются металлом, прилегающим к пузырькам газа. Таким образом значительная часть неметаллических включений транспортируется в область покровного шлака. При этом восходящие пузырьки газа препятствуют проникновению включений в столб металла, который вытекает через стакан-дозатор в кристаллизатор МНЛЗ.

Минимальное количество одиночных крупных неметаллических включений достигается при продувке стали аргоном через кольцевую фурму с расходом 10 – 12 л/мин. При более высоких расходах аргона (например, 15 – 16 л/мин) отмечено увеличение количества крупных неметаллических включений (40 – 50 мкм и более) округлой формы (рис. 5, *а*, *б*). Можно предположить, что эти включения захватываются конвективными потоками стали в области выхода пузырьков аргона на поверхность металла в промежуточном ковше. Этот факт следует рассматривать как свидетельство того, что процесс вдувания аргона в промежуточный ковш должен быть оптимизирован в части расхода газа и диаметра пузырьков.

Выводы. В условиях двухручьевых слябовых МНЛЗ АМК выполнены промышленные испытания технологии продувки стали аргоном в промежуточном ковше через кольцевую фурму, расположенную в области установки стакана-дозатора. Продувочные блоки обеспечивали стабильную газопроницаемость в течение всего периода эксплуатации, а также возможность оперативной корректировки величины расхода газа при продувке в диапазоне от 6 до 16 л/мин. После разливки шести плавок износ материала продувочного блока составил 10 – 15 мм.

Установлено, что применение кольцевой фурмы и вдувание аргона в пузырьковом режиме обеспечивает определенный рафинирующий эффект в части удаления крупных неметаллических включений. Так, сравнительная оценка химического состава и характера распределения неметаллических включений в образцах из листового проката опытных (с применением продувки аргоном) и сравнительных (без продувки аргоном в промежуточном ковше) слябов показала, наиболее чистыми по неметаллическим включениям являются образцы стали из прокатанного на лист сляба, который продували с расходом 10 – 12 л/мин.

В ходе количественных оценок показано, что в образцах из слябов, отлитых с продувкой аргоном через кольцевую фурму, количество включений размером более 50 мкм снижается на 40 – 80 %, а включений размером 25 – 45 мм – на 14 – 26 % соответственно. При этом увеличение скорости разливки увеличивает разницу между количеством неметаллических включений в образцах из опытного и сравнительного слябов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Явойский В.И., Рубенчик Ю.И., Оконенко А.П. Неметаллические включения и свойства стали – М.: Металлургия, 1980. – 176 с.
2. Губенко С.И., Парусов В.В., Деревянченко И.В. Неметаллические включения в стали – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2005. – 536 с.
3. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е.В. Непрерывная разливка стали – Донецк: Цифровая типография, 2011. – 482 с.
4. Rogler J. Modeling of inclusion removal in a tundish by gas bubbling: Dissert. … doctor of philosophy electrical engineering – Canada: Ryerson University, 2004. – 54 p.
5. Смирнов А.Н., Ефимова В.Г., Кравченко А.В., Писмарев К.Е. // Наукові праці ДонНТУ. Серія Металургія. 2011. Вип. 13 (194). С. 80 – 92.
6. Ефимова В.Г., Ноговицин А.В., Кравченко А.В // Процессы литья. 2013. № 2. С. 60 – 67.
7. Смирнов А.Н., Сафонов В.М., Проскуренко Д.В., Писмарев К.Е // Электрометаллургия. 2009. № 7. С. 17 – 22.
8. Reiter G., Schwerdfeger K. // ISIJ International. 1992. Vol. 32. No. 1. P. 50 – 56.
9. Han Z., Holappa L. // ISIJ International. 2003. Vol. 43. No. 3. P. 293 – 297.
10. Zhang L., Thomas B. // XXIV National Steelmaking Symposium. 2003. 26 – 28 November. P. 138 – 183.

© 2014 г. *А.Н. Смирнов, В.Г. Ефимова, А.В. Кравченко, К.Е. Писмарев*

Поступила 7 августа 2013 г.

STUDYCONDITIONS OF NON-METALLIC INCLUSIONS FLOTATION DURING ARGON INJECTION OF LIQUID BATH TUNDISH CCM. REPORT 3

***A.N. Smirnov*[1]**, *Dr.Eng., Professor of the Chair "Steel Metallurgy"*
***V.G. Efimova*[2]**, *Cand.Eng., the Chair of "Physical Chemistry"*
***A.V. Kravchenko*[1]**, *Graduate student of the Chair "Steel Metallurgy"*
***K.E. Pismarev*[3]**, *Cand.Eng., Chief Engineer*

[1] National Technical University of Donetsk (Donetsk, Ukraine)
[2] Kiev Polytechnic Institute (Kiev, Ukraine)
[3] PJSC "Alchevsk Metallurgical Plant" (Alchevsk, Lugansk region, Ukraine)

E-mail: smirnov@telenet.dn.ua

Abstract. The research results were used to create the original purging block for industrial tests on slab caster PJSC "Alchevsky Iron and Steel Works". Design feature of the purge block is its geometrical form as a ring covering the tundish nozzle. This injection argon through calibrated holes made in special refractory tubes. As a result of tests, that maximum refining effect is achieved at a flow rate of 10 – 12 l/min.

Keywords: non-metallic inclusions, tundish, argon blowing, bubble, purging plug, modeling.

REFERENCES

1. Javojskij V.I. *Nemetallicheskie vkljuchenija i svojstva stali* (Nonmetallic inclusions and properties of steel). Moscow: Metallurgija, 1980. 176 p.
2. Gubenko S.I. *Nemetallicheskie vkljuchenija v stali* (Nonmetallic inclusions of steel). Dnepropetrovsk: ART-PRESS, 2005. 536 p.
3. Smirnov A.N. *Nepreryvnaja razlivka stali* (Continuous casting). Doneck: Cifrovaja tipografija, 2011. 482 p.
4. Rogler J. Modeling of inclusion removal in a tundish by gas bubbling: Doctor of Philosophy Electrical Engineering diss. Canada: Ryerson University, 2004. 54 p.
5. Smirnov A.N., Efimova V.G., Kravchenko A.V., Pismarev K.E. *Naukovi praci DonNTU. Serija: Metalurgija.* 2011. Issue 13 (194). pp. 80 – 92.
6. Efimova V.G., Nogovicin A.V., Kravchenko A.V. *Processy lit'ja*. 2013. № 2. pp. 60 – 67.
7. Smirnov A.N., Safonov V.M., Proskurenko D.V., Pismarev K.E. *Jelektrometallurgija*. 2009. № 7. pp. 17 – 22.
8. Reiter G., Schwerdfeger K. ISIJ International. 1992. Vol. 32. No. 1. pp. 50 – 56.
9. Han Z., Holappa L. ISIJ International. 2003. Vol. 43. No. 3. pp. 293 – 297.
10. Zhang L., Thomas B. XXIV National Steelmaking Symposium. 26-28 November. pp. 138 – 183.

Received 7 August 2013

УДК 621.746.047:669.054.2

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ПРИЕМНОЙ КАМЕРЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША СЛЯБОВОЙ МНЛЗ

***К.Н. Вдовин*[1]**, *д.т.н., профессор кафедры «Электрометаллургия и литейное производство»*

***Е.А. Мельничук*[1]**, *аспирант кафедры «Металлургия черных металлов»*

***А.В. Нефедов*[2]**, *к.п.н., заведующий кафедрой «Оборудование металлургических предприятий»*

***В.В. Точилкин*[2]**, *д.т.н., профессор кафедры «Оборудование металлургических предприятий»*

[1] Магнитогорский государственный технический университет (Магнитогорск, Россия)

[2] Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Новотроицкий филиал (Новотроицк, Россия)

Аннотация. Рассмотрена компоновка элементов приемной камеры промежуточного ковша слябовой одноручьевой машины непрерывного литья заготовок, оснащенной специальным металлоприемником и перегородкой, установленной на границе приемной камеры. Металлоприемник и перегородка оснащены переливными отверстиями, расположенными симметрично относительно продольной оси промежуточного ковша. Показано влияние новой компоновки системы распределения потоков стали и конструкций ее элементов на параметры потока металла в промежуточном ковше и удаление неметаллических включений.

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок, промежуточный ковш, металлоприемник, потоки металла, математическое моделирование.

E-mail: cosnovotr@rambler.ru

Промежуточный ковш (ПК) машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) обеспечивает дозирование и рафинирование стали. Совершенствование элементов ПК оказывает влияние на повышение качества разливаемой стали на МНЛЗ. На рис. 1 представлен ПК одноручьевой слябовой МНЛЗ [1].

В металле, поступающем в ПК, содержатся неметаллические включения (НВ), которые с течением времени всплывают. Для удаления крупных НВ размером >20 мкм применяют металлоприемники, перегородки и пороги специальной конструкции. Указанные устройства имеют разную форму, размеры, различное место положения в ПК. При установке таких устройств объем ПК разделяется на две и более камеры − приемную и разливочные. В приемную камеру поступает металл из сталеразливочного ковша (СРК) через специальную трубу, в разливочных камерах происходит его истечение из ПК.

Анализ существующей компоновки одноручьевой МНЛЗ показал [1]:

– приемная камера ПК образована глухой перегородкой, расположенной на определенной высоте над дном ковша и рядом стоящим порогом;

– путем математического моделирования установлено, что в приемной камере ПК, а также в следующей камере за перегородкой наблюдаются интенсивные вертикальные восходящие потоки, скорость которых больше допустимой (до 0,16 м/с). Это приводит к интенсивному затягиванию НВ в металл и оголению его зеркала.

Математическая модель описывает движения потоков стали [2] в ПК. При ее составлении использованы следующие уравнения: Навье-Стокса, неразрывности потока, конвективной диффузии. Геометрия модели – в зависимости от компоновки элементов конструкций систем распределения потоков стали. Масштаб модели составлял 1:1. Соответствующие уравнения имеют вид: