

ВОГНЕТРИВКІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У МЕТАЛУРГІЇ

ISSN 2077-1304. Met. lit'e Ukr., vol. 27, 2019, № 10-12 (317-319), 82-88

<https://doi.org/10.15407/steelcast2019.10.082>

УДК 669.74.047

А.Н. Смирнов¹, д-р техн. наук, проф., вед. науч. сотр., e-mail: stalevoz@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5247-3908>

Г.Г. Немсадзе², глава наблюдательного совета, e-mail: ngg@gir.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6508-8208>

Р.А. Джоджуа², директор по стратегии и развитию, e-mail: rad@gir.ua

К.Н. Шарандин³, ген. директор, e-mail: sharandin@gir.ua

Д.В. Рябый^{3,1}, зам. ген. директора, e-mail: dmitriy.ryabyi@gir.ua

¹Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины (Киев, Украина)

²ПАО «ЗНВКИФ» «General Investment Resources» (Киев, Украина)

³ООО «ГИР-Инжиниринг» (Днепр, Украина)

Универсальные фильтрующие системы как эффективный способ повышения качества металлопродукции

В данной статье приведена разработанная универсальная фильтрующая система (УФС), позволяющая эффективно осуществлять рафинирование металла в промежуточном ковше машины непрерывного литья заготовки (МНЛЗ) в процессе разлива. Данная система была разработана на основании глубокого теоретического анализа, выполненного физического моделирования и промышленных исследований.

Выполнен ряд лабораторных исследований с применением моделей. Физическое моделирование позволило определить оптимальные конструктивные параметры элементов фильтрующей системы, выбрать оптимальное их количество и расположение в объеме промежуточного ковша, позволяющее достичь наибольшей эффективности удаления неметаллических включений и обеспечить стабильную и безопасную эксплуатацию промежуточного ковша на протяжении разлива серии металла на МНЛЗ.

В результате выполненных теоретических, лабораторных и промышленных исследований показано, что продувка жидкой ванны металла в промковше аргоном обеспечивает рафинирующий эффект в части удаления крупных неметаллических включений. Наибольший эффект может быть достигнут при использовании продувочных балок (блоков), обеспечивающих продувку в пузырьковом режиме.

Приведены результаты промышленных исследований на одном из металлургических предприятий с конвертерным производством стали, имеющем в своем составе несколько слябовых МНЛЗ. В промышленных условиях установлено, что при продувке стали аргоном в промковше количество крупных одиночных неметаллических включений ниже, чем в сравнительных слябах (без продувки).

Разработанная система «УФС» позволяет снизить диапазон общего индекса загрязненности металла неметаллическими включениями за счет комплексного подхода к рафинированию металла в промежуточном ковше. Необходимо отметить, что данная система обладает повышенной универсальностью, и полученный опыт может быть использован на других предприятиях отрасли вне зависимости от типа МНЛЗ и конструктивных особенностей промежуточного ковша.

Ключевые слова: МНЛЗ, промежуточный ковш, фильтрующая установка, повышение качества, неметаллические включения, продувка аргоном, рафинирование металла, УФС.

Непрерывная трансформация металлургического комплекса в последние 3–5 лет, связанная с дифференциацией выплавляемого сортамента и модернизацией технологических агрегатов, характеризуется ужесточением требований, предъявляемых к качеству металлопродукции.

Огромную роль в повышении качества непрерывного сортамента играют технологические системы, способствующие снижению загрязнения стали неметаллическими включениями, за счет обеспечения должного рафинирования в промковше. Ввиду того, что процесс непрерывной разлива стали является заключительным этапом сталеплавильного передела,

который непосредственно влияет на качество металлопродукции, то и рафинирование металла в промежуточном ковше необходимо рассматривать как важный и эффективный этап борьбы с неметаллическими включениями [1–4].

Развитие технологии продувки стали инертным газом в промковше сфокусировалось на достижении двух целей: транспортировка неметаллических включений к шлаку и обеспечение перемешивания жидкой ванны, способствующего увеличению площади поверхности раздела фаз «газ – жидкость – включения» [5–7].

Для эффективного рафинирования металла в объеме промковша используется целый ряд конструктивных особенностей и внутренних устройств: элементы типа «турбостоп», фильтрационные перегородки и пороги. Данные приспособления формируют движение конвективных потоков стали в промковше и обеспечивают всплытие в шлак неметаллических включений. Однако широкие возможности удаления неметаллических включений в промковше возможны только при условии обеспечения продувки металла инертным газом в пузырьковом режиме при сравнительно низких расходах вдуваемого аргона.

С целью организации продувки металла инертным газом в пузырьковом режиме применяются продувочные блоки, установленные непосредственно в днище промежуточного ковша и позволяющие обеспечить объем вдуваемого газа от 4 до 16 л/мин. Компания «GIR» имеет широкую исследовательскую базу, которая позволяет индивидуально подходить к каждому потребителю, исходя из технических особенностей предприятия. Ранее специалистами нашей компании была внедрена «фильтрующая система» и отработана технология на ПАО «Алчевский металлургический комбинат», которая впоследствии была доработана и адаптирована под условия ПАО «Днепродзержинский металлургический комбинат». Основным элементом данной системы являлась продувочная фурма, выполненная в виде кольца (рис. 1). Продувочная фурма (блок) занимает ту же позицию, что и гнездовой блок в традиционной конструкции, а подвод аргона осуществляется из той же продувочной системы, что предусмотрена на промежуточном ковше. Расстояние между керамическими продувочными трубками в блоке выбиралось таким образом, чтобы восходящие газожидкостные потоки перекрывались между собой на высоте 30–40 % от высоты налива металла в промежуточном ковше. В технологическом плане применение продувочных элементов с малым диаметром отверстий позволяет диспергировать пузырьки газа и обеспечивать продувку в пузырьковом



Рис. 1. Общий вид кольцевого продувочного блока

режиме, не вовлекая в перемешивание покровный шлак. Данная система позволила достичь более высокой чистоты слябов по неметаллическим включениям при минимальных удельных затратах и отсутствии трудоемких операций.

В настоящей работе представлена высокоэффективная универсальная фильтрующая система, разработанная компанией «GIR», которая внедряется на одном из металлургических предприятий, оборудованном слябовой МНЛЗ. Данная система включает в себя три позиции:

- «турбостоп», оригинальной конструкцией которого предусмотрено направление и распределение потоков жидкого металла вдоль границы раздела фаз «шлак-металл», что в свою очередь, обеспечивает интенсивную ассимиляцию неметаллических включений шлаком, за счет увеличения удельной площади контакта;

- защитная перегородка, основной функцией которой является торможение потоков металла, движущихся по дну промковша, и которая позволяет увеличить время пребывания металла в промковше;

- продувочный блок, через который в расплав подается инертный газ.

В качестве основных продувочных элементов использованы корундовые трубки, в которых выполнены «калиброванные» каналы определенного диаметра. Оригинальная конструкция продувочного блока предполагает, что продувочные трубки устанавливаются на определенном расстоянии друг от друга, а между ними находятся щелевые каналы. Данная вариация дутьевых компонентов позволяет с помощью «калиброванных» отверстий сформировать «завесу» мелких пузырьков аргона, обеспечивая большую удельную поверхность раздела фаз, которая



Рис. 2. Общий вид разработанной продувочной балки

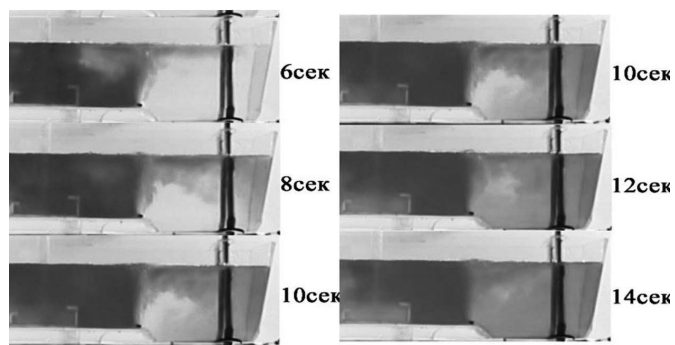


Рис. 3. Динамика распространения подкрашенных потоков жидкости при использовании продувочной балки совместно с металлоприемником

обладает флотационными свойствами, то есть «захватом» включений, с последующим всплытием в шлак, а щелевые каналы за счет направленных потоков позволяют эффективно удалять укрупненные включения. Общий вид разработанной продувочной балки отображен на рис. 2.

Выбор схемы расположения и геометрических параметров элементов системы «УФС», а также диаметра калибровочных отверстий в продувочных барах осуществлялся на основании результатов физического моделирования, которые представлены на рис. 3–4 [8–9].

Общая схема расположения элементов системы УФС в промежуточном ковше представлена на рис. 5.

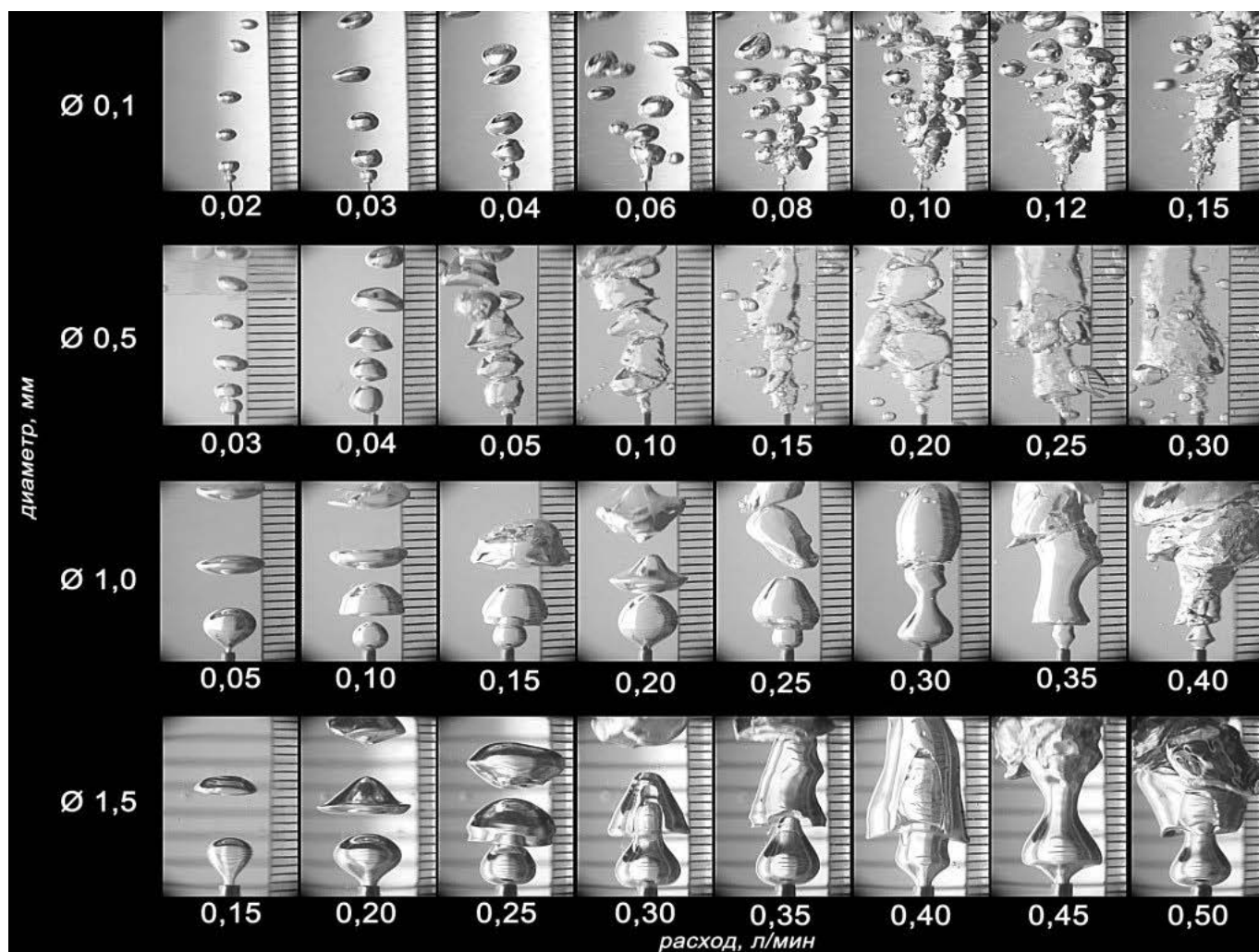


Рис. 4. Физическое моделирование характера образования пузырьков инжектируемого газа

Инсталляция «УФС» в промковш и монтаж аргопровода не вызовет дополнительных трудностей, что свидетельствует о ее универсальности. Промежуточный ковш с инсталлированными в него элементами системы УФС приведен на рис. 6.

Продувочный блок обеспечивал стабильную газопроницаемость в течение всего периода эксплуатации и возможность оперативной корректировки величины расхода газа при продувке в диапазоне от 4 до 16 л/мин.

Сравнительный анализ эффективности трансформации характера перемешивания стали в пром-

ковше при наличии продувочных балок на количество и состав неметаллических включений в непрерывнолитых слябах и готовом прокате проводили путем разливки 3 опытно-промышленных серий (15 плавов в каждой) на МНЛЗ.

Контроль работоспособности продувочных блоков осуществлялся во временные отрезки, соответствующие замене сталеразливочного ковша. Так, при падении уровня металла в промежуточном ковше на 300–350 мм наблюдалось интенсивное бурление и разбрызгивание шлака в области выхода пузырьков аргона. В ходе эксплуатации продувочные балки обе-

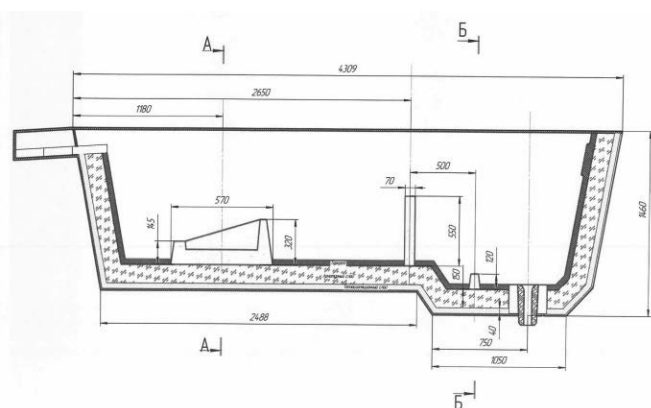


Рис. 5. Общая схема расположения элементов УФС в промежуточном ковше



Рис. 6. Промежуточный ковш с установленными в него элементами системы УФС

спечивали стабильную газопроницаемость в течение всего периода эксплуатации и возможность оперативной корректировки величины расхода газа при продувке в диапазоне от 4 до 16 л·мин⁻¹.

После разливки серии на МНЛЗ (15 плавов) и раскантовки промежуточного ковша было отмечено, что все элементы «УФС» сохранили свою целостность (рис. 7).



Рис. 7. Промежуточный ковш с установленной УФС после разливки серии в 15 плавов

Полученные данные после раскантовки промежуточного ковша свидетельствуют о высокой износостойкости компонентов и позволяют использовать их при разливке более длинных серий.

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 промковше) слябов осуществлялась по двум широко применяемым стандартам: ДСТУ 4061, EN 1008 3-3 2006. Установлено, что в опытном и сравнительном металле встречаются преимущественно хрупкие силикатные включения до 0,5 балла в опытном и до 0,7 балла в сравнительном, силикатные недеформируемые включения до 0,7 балла и сульфидные включения до 1,6 балла в опытном и до 1,9 балла в сравнительном образцах (рис. 8, б). Необходимо отметить, что как в опытных, так и в сравнительных образцах отсутствовали включения оксидной группы («строчечные оксиды», «точечные оксиды»). На всех нетравленных микрошлифах встречаются неметаллические включения в виде скопленных (конгломератов) мелких включений округлой и неправильной геометрической формы (рис. 8, в).

Следует отметить, что в образцах из опытных и сравнительных слябов наблюдается высокий балл недеформирующихся крупных силикатов (рис. 8, а), что указывает на высокую загрязненность стали этими включениями. На микрошлифах всех плавов

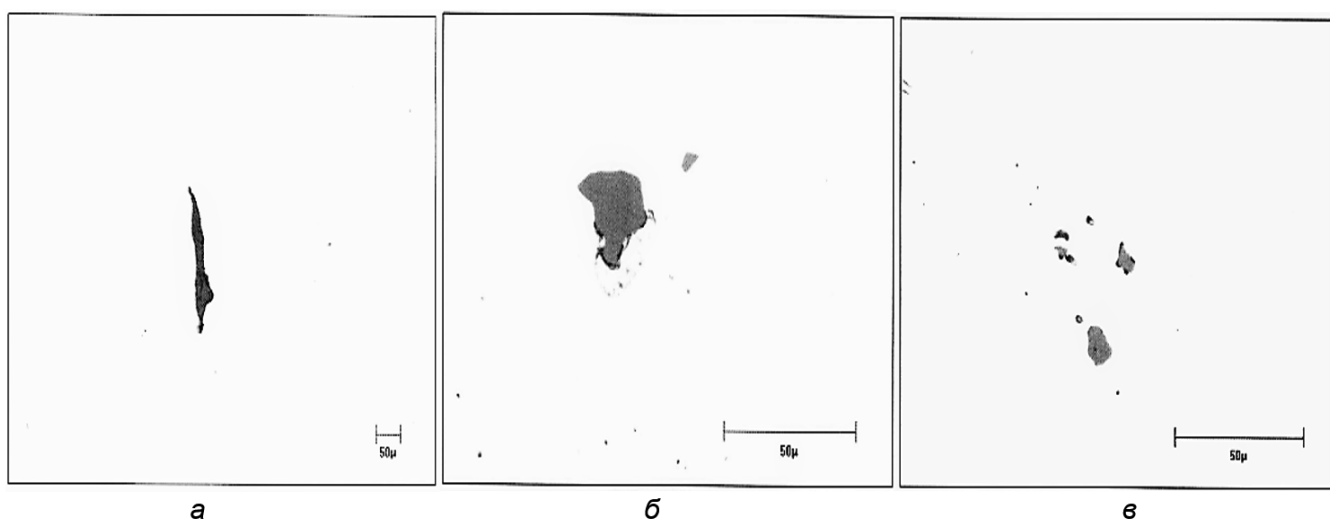


Рис. 8. Характерные типы неметаллических включений, которые обнаружены в исследуемых образцах из опытного и сравнительного металла

крупные силикатные включения округлой формы располагаются близко к поверхности (на глубине 0,092–0,84 мм), а некоторые даже выходят на поверхность. Количество и размеры силикатов в теле слэбов заметно уменьшаются. Это позволяет предположить, что наличие крупных силикатов следует связывать с работой шлакообразующей смеси и развитием процессов волнообразования в кристаллизаторе.

Наилучшие результаты рафинирования металла достигнуты при расходе вдуваемого газа через продувочный блок 7–9 л/мин. Данный расход позволяет обеспечить стабильную газопроницаемость в течение всего периода эксплуатации, при этом поверхность покровного шлака над блоком практически не подвергалась «бурлению» и разрушению. Стоит отметить, что при более высоких расходах газа на уровне 12–15 л/мин наблюдается интенсивное бурление в зоне выхода пузырьков, что обуславливает дополнительное загрязнение стали в промковше из-за вовлечения частиц шлака в циркуляционную зону металла.

Согласно полученным данным, при интенсивном бурлении в опытном металле наблюдается некоторое увеличение количества крупных неметаллических включений (бал 2–2,5). Этот факт следует рассматривать как свидетельство того, что вдувание аргона в промковш должно быть ограничено определенным расходом, который не вызывает бурления.

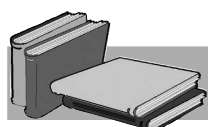
Выводы

В результате выполненных теоретических, лабораторных и промышленных исследований показано,

что продувка жидкой ванны металла в промковше аргоном обеспечивает рафинирующий эффект в части удаления крупных неметаллических включений. Наибольший эффект может быть достигнут при использовании продувочных балок (блоков), обеспечивающих продувку в пузырьковом режиме с диаметром пузырьков менее 3 мм. При этом продувочные балки необходимо располагать в днище промковша в поперечном положении относительно движения циркуляционных потоков.

В промышленных условиях установлено, что при продувке стали аргоном в промковше количество крупных одиночных неметаллических включений на 14–27 % ниже, чем в сравнительных слэбах (без продувки). Наилучшие результаты рафинирования металла достигнуты при расходе вдуваемого газа через продувочный блок 7–9 л/мин. Данный расход позволяет обеспечить стабильную газопроницаемость в течение всего периода эксплуатации, при этом поверхность покровного шлака над блоком практически не подвергалась «бурлению» и разрушению. Стоит отметить, что при более высоких расходах газа на уровне 12–15 л/мин наблюдается интенсивное бурление в зоне выхода пузырьков, что обуславливает дополнительное загрязнение стали в промковше из-за вовлечения частиц шлака в циркуляционную зону металла.

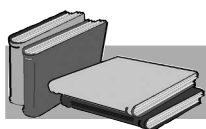
Разработанная система «УФС» позволяет снизить диапазон общего индекса загрязненности металла неметаллическими включениями за счет комплексного подхода к рафинированию металла в промежуточном ковше.



ЛІТЕРАТУРА

1. *Sahai Y., Emi T.* Tundish Technology for Clean Steel Production. New Jersey: World Scientific, 2008. 329 p.
2. Casting Volume / Editor A.W. Cramb. Pittsburgh, PA: The AISE Steel Foundation, 2003. 886 p.
3. *Zhang L., Thomas B.G.* State of the Art in Evaluation and Control of Steel Cleanliness. *ISIJ International*. 2003. Vol. 43. No. 3. P. 271–291.
4. *H. Kimura, M. Mori, R. Miura et al.* Innovative Technologies in Continuous Casting Tundish. *Nippon Steel Technical Report*. № 61, April, 1994. P. 22–28.
5. *S. Garcia-Hernandez, J.J. de Barreto, J.A. Ramos-Banderas, G. Solorio-Diaz.* Modeling study of the vortex and short circuit flow effect on inclusion removal in a slab tundish. *Steel Research International*. 2010. Vol. 81. № 36. P. 453–460.
6. *Geoffrey Brooks, Yuhua Pan, Subagyo, Ken Coley.* Modeling of trajectory and residence time of metal droplets in slag-metal-gas emulsions in oxygen steelmaking. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2005. Vol. 36. № 4. P. 525–535.
7. *H. Solhed, L. Jonsson, P. Jonsson.* A theoretical and Experimental Study of Continuous Casting Tundish Focusing on Slag-Steel Interaction. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2002. Vol. 33. No. 2. April. P. 173–185 (13).
8. *Смирнов А.Н., Ефимова В.Г., Кравченко А.В.* Разработка конструкции кольцевого пористого огнеупорного продувочного блока для рафинирования стали в промежуточном ковше МНЛЗ. *Новые огнеупоры*. 2014. № 6. С. 3–8.
9. *Смирнов А.Н., Ефимова В.Г., Кравченко А.В.* Исследование условий всплытия неметаллических включений при продувке аргоном жидкой ванны промежуточного ковша МНЛЗ. Сообщение 1. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2013. № 11. С. 8–13.

Надійшла 22.08.2019



REFERENCES

1. Sahai, Y., Emi, T. (2008). *Tundish Technology for Clean Steel Production*. New Jersey: World Scientific, 329 p.
2. Cramb, A.W. (Ed.) (2003). *Casting Volume*. Pittsburgh, PA: The AISE Steel Foundation, 2003. 886 p.
3. Zhang, L., Thomas, B.G. (2003). State of the Art in Evaluation and Control of Steel Cleanliness. *ISIJ International*, vol. 43, no. 3, pp. 271–291.
4. Kimura, H., Mori, M., Miura, R. et al. (1994). Innovative Technologies in Continuous Casting Tundish. *Nippon Steel Technical Report*, no. 61, April, pp. 22–28.
5. S. Garcia-Hernandez, J.J. de Barreto, J.A. Ramos-Banderas, G. Solorio-Diaz. (2010). Modeling study of the vortex and short circuit flow effect on inclusion removal in a slab tundish. *Steel Research International*, vol. 81, no. 36, pp. 453–460.
6. Geoffrey Brooks, Yuhua Pan, Subagyo, Ken Coley. (2005). Modeling of trajectory and residence time of metal droplets in slag-metal-gas emulsions in oxygen steelmaking. *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol. 36, no. 4, pp. 525–535.
7. Solhed, H., Jonsson, L., Jonsson, P. (2002). A theoretical and Experimental Study of Continuous Casting Tundish Focusing on Slag-Steel Interaction. *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol. 33, no. 2. April, pp. 173–185 (13).
8. Smirnov, A.N., Efimova, V.G., Kravchenko, A.V. (2014). Development of the ring porous flushing block design for steel refining in the intermediate ladle of the CCM. *New refractories*, no. 6, pp. 3–8 [in Russian].
9. Smirnov, A.N., Efimova, V.G., Kravchenko, A.V. (2013). Investigation of conditions of nonmetallic inclusions surfacing during argon blowing of the intermediate ladle of CCM. Message 1. *News from universities. Ferrous metallurgy*, no. 11, pp. 8–13 [in Russian].

Received 22.08.2019

Анотація

О.М. Смірнов¹, д-р техн. наук, проф., пров. наук. співр., e-mail: stalevoz@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5247-3908>

Г.Г. Немсадзе², голова наглядової ради, e-mail: ngg@gir.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6508-8208>

Р.А. Джоджуа², директор зі стратегії та розвитку, e-mail: rad@gir.ua

К.М. Шарандін³, ген. директор, e-mail: sharandin@gir.ua

Д.В. Рябий^{3,1}, зам. ген. директора, e-mail: dmitriy.ryabyi@gir.ua

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

²ПАТ «ЗНВКІФ «General Investment Resources» (Київ, Україна)

³ТОВ «ГІР-Інжиніринг» (Дніпро, Україна)

Універсальні фільтруючі системи як ефективний спосіб підвищення якості металопродукції

У даній статті наведено розроблену універсальну фільтруючу систему (УФС), що дозволяє ефективно здійснювати рафінування металу в проміжному ковші машини безперервного лиття заготовки (МБЛЗ) в процесі розливання. Дану систему було розроблено на підставі глибокого теоретичного аналізу, виконаного фізичного моделювання і промислових досліджень.

Виконано ряд лабораторних досліджень із застосуванням моделей. Фізичне моделювання дозволило визначити оптимальні конструктивні параметри елементів фільтруючої системи, а також вибір оптимальної кількості та розташування елементів в обсязі проміжного ковша, що дозволяє досягти найбільшої ефективності видалення неметалевих включень і забезпечити стабільну і безпечну експлуатацію проміжного ковша протягом розливання серії металу на МБЛЗ.

В результаті виконаних теоретичних, лабораторних і промислових досліджень показано, що продування рідкої ванни металу в промковші аргоном забезпечує рафінуючий ефект в частині видалення великих неметалевих включень. Найбільшого ефекту може бути досягнуто при використанні продувних балок (блоків), що забезпечують продувку в бульбашковому режимі.

Наведено результати промислових досліджень на одному з металургійних підприємств з конвертерним виробництвом

сталі, що має в своєму складі кілька слябових МБЛЗ. У промислових умовах встановлено, що під час продування сталі аргоном в промковші кількість великих одиничних неметалевих включень нижча, ніж у порівняльних слябах (без продувки). Розроблена система «УФС» дозволяє знизити діапазон загального індексу забрудненості металу неметалевими включеннями за рахунок комплексного підходу до рафінування металу в проміжному ковші. Необхідно відзначити, що дана система має підвищену універсальність, і отриманий досвід може бути ретрансльовано на інші підприємства галузі незалежно від типу МБЛЗ і конструктивних особливостей проміжного ковша.

Ключові слова

МБЛЗ, проміжний ківш, фільтруюча установка, підвищення якості, неметалеві включення, продування аргоном, рафінування металу, УФС.

Summary

A.N. Smirnov¹, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Leading Researcher, e-mail: stalevoz@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5247-3908>

G.G. Nemsadze², Head of the Supervisory Board, e-mail: ngg@gir.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6508-8208>

R.A. Dzhodzhu², Director for Strategy and Development, e-mail: rad@gir.ua

K.N. Sharandin³, CEO, e-mail: sharandin@gir.ua

D.V. Ryabyi^{3,1}, Deputy Director, e-mail: dmitriy.ryabyi@gir.ua

¹*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)*

²*PJSC "CUVCIF "General Investment Resources" (Kyiv, Ukraine)*

³*LLC GIR-Engineering (Dnipro, Ukraine)*

Universal filtering systems as an effective way to improve the quality of metal products

In the given article the developed universal filtering system (UFS) is resulted, allowing to carry out effectively metal refining in an intermediate ladle of the continuous casting machine (CCM) during casting. This system was developed on the basis of deep theoretical analysis, physical modeling and industrial research.

A number of laboratory tests with the use of models were carried out. Physical modeling allowed to determine the optimal design parameters of the filtering system elements, as well as the choice of their optimal quantity and location in the volume of the intermediate ladle, which allows to achieve the highest efficiency of removal of non-metallic inclusions and to ensure stable and safe operation of the intermediate ladle during casting of the metal series at CCM.

As a result of theoretical, laboratory and industrial researches it is shown that blowing of a liquid bath of metal in an industrial ladle with argon provides refining effect in part of removal of large non-metallic inclusions. The greatest effect can be achieved with the use of bubble beams (blocks), providing bubble blowing.

The results of industrial research at one of the metallurgical enterprises with converter steel production, which includes several slab CCMs, are presented. In industrial conditions it is established that the number of large single non-metallic inclusions is lower than in comparative slabs (without blowing) when blowing steel with argon in the tundish.

The developed system "UFS" allows to reduce the range of the general index of metal contamination by non-metallic inclusions due to the complex approach to metal refining in the intermediate ladle. It should be noted, that this system has increased versatility and the experience can be used at the other enterprises of the industry, regardless of the type of CCM and design features of the intermediate ladle.

Keywords

CCM, tundish, filtering unit, quality improvement, non-metallic inclusions, argon purge, metal refining, UFS.