

6. Lerner Y. S. Overview of Ductile Iron Treatment Methods // Foundry Trade Journal. – 2003. – V. 177. – P. 25-27.
7. Жучков В. И., Носков А. С., Завьялов А. Л. Растворение ферросплавов в жидком металле. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – 134 с.
8. Теплофизика взаимодействия модификаторов с жидким чугуном / Н. И. Тарасевич, В. Б. Бубликов, И. В. Корниец и др. // Процессы литья. – 2007. – № 6. – С. 39-46.
9. Верховлюк А. М. Кинетические особенности растворения твердых материалов в расплавах на основе железа // Там же. – 2004. – № 3. – С. 10-20.
10. Внутриформенное модифицирование при получении автомобильных отливок из чугуна с шаровидным графитом / В. И. Литовка, В. В. Венгер, Н. Г. Руденко и др. // Литейн. пр-во. – 1986. – № 2. – С. 9-12.
11. Барабаш О. П., Коваль Ю. Н. Структура и свойства металлов и сплавов. Кристаллическая структура металлов и сплавов: Справочник. – Киев: Наук. думка, 1986. – 44 с.
12. Суменкова В. В., Корниец И. В. Исследование процесса растворения сфероидизирующих лигатур в чугуне // Процессы литья. – 1993. – № 4. – С. 10-14.
13. Бубликов В. Б., Берчук Д. Н., Ясинский А. А. Влияние технологических факторов на формирование структуры тонкостенных отливок из высокопрочного чугуна, получаемого внутриформенным модифицированием // Там же. – 2011. – № 3. – С. 34-44.
14. Бубликов В. Б., Берчук Д. Н. Повышение уровня модифицирования высокопрочного чугуна // Металлургия машиностроения. – 2006. – № 5. – С. 31-35.
15. Исследование процесса плавления ферросплава ФС65РЗМ15 в жидком чугуне / В. Б. Бубликов, В. П. Латенко, В. В. Суменкова и др. // Процессы литья. – 2010. – № 4. – С. 12-19.
16. Effenberg G., Ilyenko S. Ternary Alloy Systems: Phase Diagrams, Crystallographic and Thermodynamic Data // Springer. – 2009. – V. 11. – P. 135-147.
17. Экспериментальное исследование физико-химических процессов в системе «плавящийся ферросилиций-жидкий чугун» / В. Б. Бубликов, В. П. Латенко, Ю. Д. Бачинский и др. // Процессы литья. – 2011. – № 5. – С. 9-18.

Поступила 22.12.2011

УДК 629.746.047

Г. В. Ефимов, А. В. Ноговицын, В. Г. Ефимова*

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

*Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

КИНЕТИЧЕСКИЕ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УДАЛЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФАЗЫ В ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШАХ МНЛЗ

Разработана эффективная гидродинамическая структура потоков в раздаточной камере промежуточного ковша, обеспечивающая максимально эффективные условия для коагуляции неметаллической фазы. Исследованы структуры газогидродинамических потоков. Используются физическое моделирование на прозрачных моделях и промышленные испытания. В результате проведенных исследований определено, что установка реакционной камеры в промежуточном ковше в сочетании с продувкой инертным газом создает оптимальные условия для коагуляции неметаллической фазы. Данные моделирования подтверждены промышленными испытаниями, которые показали снижение брака листового проката на 30-40 %.

Ключевые слова: промежуточный ковш, реакционная камера, неметаллические включения, гидродинамические потоки, коагуляция.

Получение и обработка расплавов

Розроблена ефективна гідродинамічна структура потоків в роздавальній камері проміжного ковша, яка забезпечує максимально ефективні умови для коагуляції неметалевої фази. Предмет дослідження – вихороподібні структури газогідродинамічних потоків. Застосовані фізичне моделювання на прозорих моделях та промислові випробування. В результаті проведених досліджень встановлено, що облаштування проміжного ковша реакційною камерою в поєднанні з продувкою інертним газом створює оптимальні умови для коагуляції неметалевої фази. Дані моделювання підтверджені промисловими випробуваннями, які свідчать, що зниження браку листового прокату становить 30-40 %.

Ключові слова: проміжний ковш, реакційна камера, неметалеві включення, гідродинамічні потоки, коагуляція.

Development of effective hydrodynamic structure of flow in the distributing chamber of intermediate scoop, providing maximally effective terms for coagulation of non-metal phase. The article of research were structures of hydrodynamic streams. A physical design on transparent models and industrial tests was in-process used. It is set as a result of the conducted researches, that setting of reactionary chamber in an intermediate scoop in combination with blowing out creates optimal terms rare gas for coagulation of non-metal phase. These designs are confirmed by industrial tests that showed the decline of marriage of sheet rent on 30-40 %.

Keywords: intermediate scoop, reactionary chamber, non-metal phase, hydrodynamic streams, coagulation.

В настоящее время во всем мире доля стали, разливаемой на машинах непрерывного литья заготовок, увеличивается, при этом особое внимание уделяется вопросам повышения качества непрерывнолитых заготовок, которое обеспечивается технологией процесса и применяемым оборудованием машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Важным технологическим узлом современной МНЛЗ является промежуточный ковш, его конструкция оказывает значительное влияние на качество продукции [1]. В настоящее время промежуточный ковш рассматривается как универсальный агрегат для дополнительного рафинирования стали, усреднения металла по химическому составу и температуре. Оснащение ковшей специальными рафинирующими устройствами позволяет оптимизировать гомогенизацию металлического расплава и создать благоприятные условия для его рафинирования, поскольку на этой стадии представляется, по существу, последняя технологическая возможность заметно повлиять на качество стали [2-4].

Однако, как показывает практика, при этом недооцениваются влияние термодинамических и кинетических аспектов удаления неметаллических включений в промежуточном ковше и возможности повышения этой технологической операции на примере стали марки К-60 [5].

Теоретическая часть

Удаление однородной и несжимаемой неметаллической частицы на поверхности стали при отсутствии химических процессов, растворения и без учета влияния стенок агрегата можно представить изменением изобарно-изотермического потенциала ΔG . Поскольку масса металла велика по сравнению с массой неметаллических включений, принимаем, что химические потенциалы ($\mu_{(M \text{ в расплаве})} \approx \mu_{(M \text{ в газе})}$) и поверхностное натяжение металла практически не изменяются при выходе продуктов раскисления на поверхность [5] ($\sigma_{(M \text{ в расплаве})} \approx \sigma_{(M \text{ в газе})}$), тогда

$$\Delta G = \sigma^{(B-G)} - \sigma^{(B-M)} - \sigma^{(M-G)} \frac{1 + \cos\theta^{(B-M)}}{2} + \frac{\sigma^{(M-G)} \delta A^{(M-G)}}{A_2^{(B-G)}}, \quad (1)$$

где $\sigma^{(B-G)}$, $\sigma^{(B-M)}$, $\sigma^{(M-G)}$ – поверхностное натяжение на границе раздела фаз включение-газ, включение-металл и металл-газ, соответственно, мДж/м²; $\theta^{(B-M)}$ – краевой угол

Получение и обработка расплавов

смачивания на границе раздела фаз включение-металл; $A^{(M-\Gamma)}$, $A^{(B-\Gamma)}$ – площадь границы раздела фаз металл-газ и включение-газ, соответственно, m^2 .

Из анализа экспериментального материала [6] следует, что все металлургические взвеси и эмульсии при отсутствии химических процессов, растворения и изменения условий адсорбции в процессе всплытия на границу раздела фаз металл-газ являются неустойчивыми дисперсными системами, так как изменение энергии Гиббса всегда отрицательное.

Образовавшиеся в стали включения могут укрупняться благодаря коагуляции неметаллических включений, за счет уменьшения поверхности, а следовательно, и свободной энергии [7]

$$-dG = \sigma^{B-M} \cdot d\omega, \quad (2)$$

где $d\omega$ – изменение поверхности в процессе коагуляции (m^2), поэтому этот процесс протекает самопроизвольно.

Для неметаллических включений в стали основным механизмом укрупнения является ортокинетическая коагуляция, протекающая при наличии градиента скорости в направлении поперек потока. Скорость ортокинетической коагуляции описывается следующей зависимостью [8]:

$$W = \frac{32}{3} \cdot r^3 \cdot C^2 \frac{\partial U}{\partial Z}, \quad (3)$$

где r – радиус неметаллических частиц, m ; C – концентрация неметаллической фазы, моль/ m^3 ; $\frac{\partial U}{\partial Z}$ – градиент скорости ламинарного потока, перпендикулярного линии тока, m/c .

Удаление из металла образовавшихся включений сводится к их перемещению в объеме металла и зависит от их размеров, плотности, вязкости металла и приближенно описывается уравнением, выведенным из закона Стокса, согласно которому сопротивление движению сферического тела в жидкости обусловлено вязкостью последней [6]

$$f_{CT} = 6\pi r \eta U_{CT}, \quad (4)$$

где π – математическая константа, выражающая отношение длины окружности к длине ее диаметра; r – радиус частицы m ; η – динамическая вязкость жидкой стали $Pa \cdot c$; U_{CT} – скорость всплытия частиц под действием подъемной силы Архимеда при отсутствии циркуляционных потоков в расплаве и малых числах Рейнольдса, m/c .

На сферическое тело, находящееся в жидкости, действует выталкивающая сила, которая по закону Архимеда составляет [6]

$$f_{\Gamma} = \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_M - \rho_B),$$

где $g = 9,81 m/c^2$ – ускорение силы тяжести; ρ_M и ρ_B – плотность металла и неметаллического включения, kg/m^3 .

Скорость движения неметаллических частиц зависит от структуры адсорбционного слоя. Наличие диффузионного строения адсорбционного пограничного слоя приводит к скольжению, что проявляется в нарушении законов гидродинамики. Это явление [7], согласно Б. В. Дерягину, приводит к диффузиофоретическому движению частиц при наличии в среде градиента химического потенциала поверхностно-активного вещества. Это явление может возникнуть при неоднородной адсорбции на поверхности жидкой капли за счет движения ее поверхности.

Так, при движении шара, к поверхности которого диффундируют поверхностно-активные вещества, плотность потока последних будет наибольшая в местах набега-

Получение и обработка расплавов

ния среды, то есть в его лобовой части. Следовательно, в лобовой части включения межфазное натяжение меньше, чем в хвостовой. Такая разность поверхностного натяжения вызывает дополнительные усилия, действующие надвигающееся включение. Величина этого усилия численно равна разности капиллярных давлений в хвостовой и лобовой частяхдвигающегося включения [9], то есть

$$f_A = P_{\sigma, л} - P_{\sigma, х};$$
$$f_A = \frac{2\sigma_{л}}{\Gamma} - \frac{2\sigma_{х}}{\Gamma} = \frac{2}{\Gamma} \Delta\sigma, \quad (5)$$

где $P_{\sigma, л}$, $P_{\sigma, х}$ – капиллярные давления соответственно в лобовой и хвостовой частях включения, Па; Γ – избыток растворенного вещества в поверхностном слое поверхности, моль/см²; $\sigma_{л}$ и $\sigma_{х}$ – поверхностное натяжение в лобовой и хвостовой частях включений, мДж/м²; $\Delta\sigma$ – уменьшение поверхностного натяжения, вызванного адсорбцией, мДж/м².

Отсюда значение скорости всплывания из стали включения сферической формы следующее:

$$U_A = \frac{2}{9} r^2 g \frac{\rho_M - \rho_B}{\eta} + \frac{1}{3} \frac{\Delta\sigma}{\pi r^2}. \quad (6)$$

С учетом изложенного, скорость всплывания включений в стали также должна несколько превышать скорость, рассчитанную по уравнению Стокса.

Исходя из рассмотренных теоретических принципов, можно сделать следующее заключение, что движущим фактором удаления неметаллических включений в практических условиях является укрупнение частиц за счет ортокинетической коагуляции с одновременной подачей их к шлаковому покрову, где они ассимилируются шлаком. Ортокинетическая коагуляция и вынос неметаллических включений в шлаковую зону происходят под воздействием затопленных струй, которые образуют вихреобразную структуру потоков вследствие подачи металла из приемной камеры через каналы в перегородке [10].

По данным работы [5] интенсификации этих процессов способствует увеличение резидентного времени, которое определяется следующей зависимостью:

$$\tau = (-0,38 + 8,64\alpha - 44\alpha^2 + 67,18\alpha^3) \beta^{-0,61} \Phi^{3,04} Fr^{-0,08}, \quad (7)$$

где $\alpha = \frac{W}{L}$; $\beta = \frac{H}{L}$; $\Phi = \frac{l}{L}$; L , W , H – длина, ширина и высота промежуточного ковша

соответственно, м; l – расстояние от выпускного отверстия, м; Fr – число Фруда.

Уравнение (7) показывает, что для увеличения резидентного времени необходимо увеличивать объем промежуточного ковша и размеры вихрей, где потоки могут иметь незначительные скорости, достаточные для осуществления необходимой длительности контакта включения со шлаком.

Таким образом, ванна промежуточного ковша с гидродинамической точки зрения должна служить гасителем скорости потоков, создаваемой вынужденной конвекцией.

Длина промежуточного ковша определяется длиной раздаточной камеры, она зависит от конструкции перегородок, а также углов наклона переточных каналов.

Физическое моделирование

Основываясь на указанных выше теоретических принципах, в данной работе с целью увеличения резидентного времени пребывания неметаллических включений в ванне промежуточной емкости провели физическое моделирование гидродина-

Получение и обработка расплавов

мических потоков в раздаточной камере применительно к промежуточному ковшу ПАО МК «Азовсталь» в масштабе 1:3 с соблюдением равенства чисел Фруда и автомодельности по числу Рейнольдса [10].

Для этих целей использовали гидродинамический стенд, работающий по схеме замкнутой циркуляции (рис. 1). В качестве рабочей жидкости, моделирующей жидкую сталь, использовали воду при температуре 18-25 °С, поскольку значения вязкости воды и стали в области температур внепечной обработки достаточно близки друг к другу. В качестве индикаторов гидродинамических потоков применяли шарики полистирола плотностью 0,9-1,1 г/см³. Расход газа составлял 0,1-0,6 л/мин, а воды – 1,43·10⁻³ м³/мин. Наблюдаемые процессы перемешивания фиксировали с помощью цифровой видеокамеры. Индикаторы, подсвеченные точечным источником света, хорошо отражали свет и становились видимыми на темном фоне. Это позволяло визуально наблюдать отчетливую картину их перераспределения. При этом в ходе экспериментов выполняли оценку траектории движения частиц в жидкой ванне промышленного ковша.

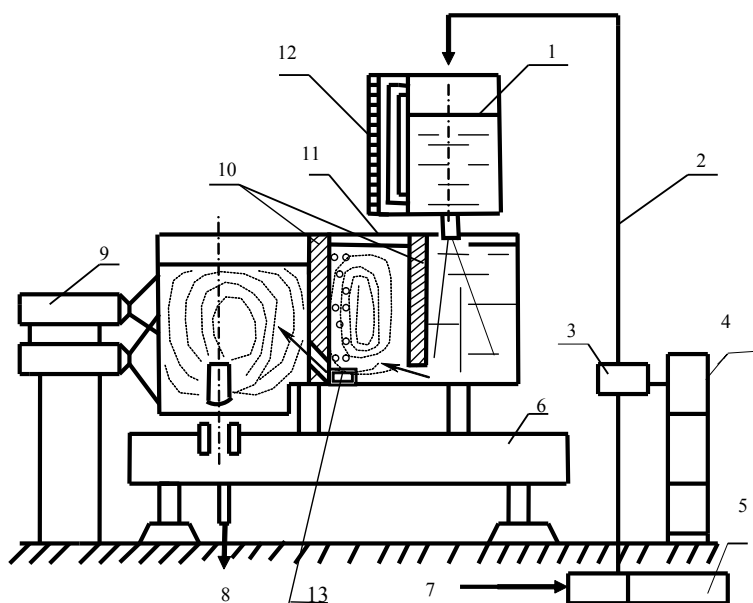


Рис. 1. Схема гидродинамического стенда для физического моделирования гидродинамических процессов, протекающих в раздаточной камере промежуточного ковша: 1 – разливочный ковш; 2 – подводящий трубопровод; 3 – расходомер «Сатурн»; 4 – регулирующая аппаратура; 5 – насос 2К-6 с системой стабилизации расхода; 6 – конструкция по установке модели; 7 – забор воды; 8 – слив воды; 9 – осветители; 10 – перегородка; 11 – модель промежуточного устройства; 12 – измеритель уровня; 13 – продувочная фурма

Моделированием установили, что с точки зрения удаления из жидкой стали неметаллических включений в промежуточных ковшах наиболее эффективной является вихреобразная структура, обеспечивающая создание условий для коагуляции и удаления неметаллической фазы.

Визуальными критериями той или иной гидродинамической системы с точки зрения удаления неметаллических включений являлись: углы расположения каналов в перегородке; размеры зоны вихреобразования; распространение затопленных потоков относительно скоростного потока, затягивающего неметаллические включения и возникающего при истечении струи из разливочного стакана в кристаллизатор;

Получение и обработка расплавов

величина и количество застойных зон; величина охвата шлаковой поверхности путем воздействия направленных гидродинамических потоков.

Модельные эксперименты показали, что наилучшие результаты будут достигнуты в том случае, если промежуточный ковш будет оборудован дополнительной реакционной камерой. При этом гидродинамика промежуточной емкости обеспечивала наличие эффективных вихреобразных структур как в реакционной, так и раздаточной камере, что, в свою очередь, увеличивало резидентное время пребывания индикаторов неметаллических включений за счет задержки их в дополнительной реакционной камере.

Установка дополнительной перегородки позволила получить дополнительный отсек, так называемую реакционную камеру, где вихреобразной структурой задействован весь объем металла. При этом учитывалось, что каждая перегородка является холодильником, снижающим температуру металла за счет аккумуляции тепла металла огнеупорами перегородки. Таким образом, конструкция перегородок предусматривает более высокую пропускную способность металла в первые моменты разливки. В этом случае большие объемы металла снижают удельные тепловые потери.

В процессе моделирования наилучшие результаты показали конструкции реакционных камер, состоящие из двух сплошных перегородок с щелевыми каналами у дна ковша. Перегородка со стороны приемной камеры имела щель под наклоном $20-25^\circ$ в сторону торцевой стенки промежуточного ковша. Ширина щели составляла 15-20 мм (на натуральном объекте 45-60 мм). Продувочная фурма располагалась внутри камеры у перегородки со стороны раздаточной камеры (рис. 2). Такая конструкция обеспечивала создание направленного потока жидкости, образующего две вихревые циркуляционные гидродинамические структуры. Одна из них образовывалась в реакционной камере, а другая – в раздаточной (рис. 2). Модельные эксперименты показали, что такая конструкция промежуточного ковша обеспечивает увеличение времени пребывания имитаторов неметаллических включений в 4-6 раз.

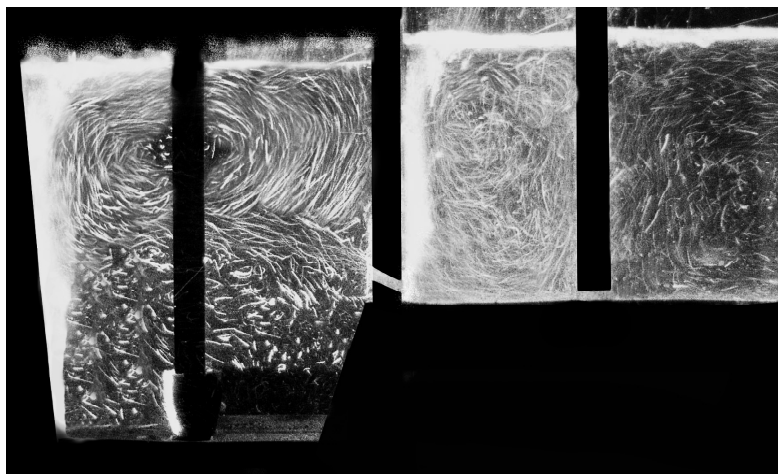


Рис. 2. Схема распространения потоков при установке дополнительной перегородки в сочетании с продувкой через многоканальную протяженную фурму

При этом моделирование показало, что гидродинамические процессы, протекающие в промежуточном ковше с исследуемым вариантом конструкции, в значительной степени зависят от гидродинамического воздействия газового потока, создаваемого при продувке. Эффективность воздействия продувки на создание требуемых гидродинамических структур обратно пропорциональна объему металла,

Получение и обработка расплавов

подвергнутому обработке газом. Поэтому создание больших по объему реакционных камер нецелесообразно. Наши исследования показали, что оптимальной следует считать камеру длиной 200-250 мм (на натуральном объекте 600-750 мм). При этом давление аргона в газоподводящей системе должно обеспечивать пузырьковый режим.

Промышленные испытания

Целью промышленных испытаний на ПАО МК «Азовсталь» было подтвердить сравнительную эффективность рафинирования промежуточных ковшей, оборудованных реакционными камерами. При проведении промышленных испытаний одна из перегородок была опытной: со стороны приемной камеры имела угол наклона 20° (подъем канала в сторону реакционной камеры), а со стороны раздаточной камеры составляла 35° (подъем металла в сторону раздаточной камеры). Основываясь на результатах моделирования, с учетом приведенных выше практических возможностей, габариты камеры составляли 500-1000 мм. Раздаточная камера имела длину около 1000 мм. Фурму устанавливали в днище реакционной камеры в непосредственной близости от перегородки со стороны раздаточной камеры. Длина фурмы составляет 1000 мм (поперечное сечение – 70x80 мм), оборудованная 30-ю газовыделительными каналами. Диаметр каждого канала составляет 1,5-2,0 мм. Продувку вели при расходе аргона 10-12 л/мин. Сравнительная перегородка, используемая в настоящее время, была оборудована тремя рядами каналов с различными углами наклона, рис. 3. В соответствии с этим раздаточная камера за опытной перегородкой и металл, протекающий через нее, будут опытными, а металл и камера за обычной перегородкой – сравнительными. Оценку эффективности работы той или иной схемы расположения каналов в перегородке проводили путем сравнения степени загрязненности металла неметаллическими включениями. Содержание неметаллических включений по пробам, отобранным из кристаллизаторов опытного и сравнительного ручьев, определяли металлографическим методом Л (ГОСТ 1778-70) при 4-кратном увеличении на микроскопе «Неофот-2» [11].

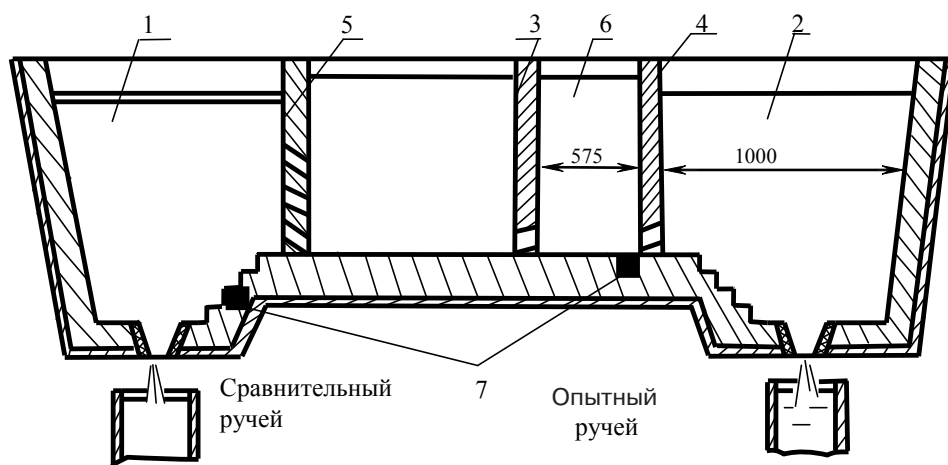


Рис. 3. Схема промежуточного ковша для промышленных испытаний: 1 – раздаточная камера сравнительного ручья; 2 – раздаточная камера опытного ручья; 3 – перегородка со щелью $\alpha = 200^\circ$; 4 – перегородка со щелью $\alpha = 350^\circ$; 5 – перегородка с трехрядным расположением каналов (сравнительная); 6 – реакционная камера; 7 – продувочные фурмы

Конечной целью опытно-промышленных испытаний являлось опробование разработанной технологии, конструкции, а также повышение качества металла за счет снижения содержания неметаллических включений до уровня, предъявляемого к трубному металлу второго уровня качества в соответствии с ТТ 232-60-2005. Про-

Получение и обработка расплавов

вели разливку 206 серий опытно-промышленных плавов стали марки К-60 через промежуточные ковши, оборудованные реакционными камерами.

По результатам проведенных исследований загрязненности металла неметаллическими включениями (таблица) следует отметить высокую степень эффективности разработанной технологии, о чем свидетельствует снижение содержания неметаллических включений в среднем на 30-40 %.

Загрязненность металла неметаллическими включениями, сталь марки К-60

Тип включений		2-й уровень качества, предъявляемый к трубному металлу, согласно ТТ 232-60-2005: СНД средний балл $\leq 2,5$; максимальный балл ≤ 4		
		баллы	сравнительный металл	опытный металл
Сульфиды		средний	0,23	0,13
		максимальный	0,36	0,33
Оксиды	ОС	средний	0	0
		максимальный	0	0
	ОГ	средний	0	0
		максимальный	0	0
Силикаты	СХ	средний	2,18	1,25
		максимальный	3,08	1,56
	СП	средний	0	0
		максимальный	0	0
	СНД	средний	3,37	2,38
		максимальный	3,82	3,08

Выводы

Исходя из полученных результатов исследования металла опытного-промышленных плавов, можно утверждать, что применение реакционных камер является эффективным и позволяет получать сталь с пониженным содержанием неметаллических включений.



Список литературы

1. Промежуточный ковш – ключевое функциональное звено для получения высококачественной металлопродукции / О. Б. Исаев, О. В. Носоченко, Л. С. Лепихов и др. // Сталь. – 2001. – № 7. – С. 20-23.
2. Zhang L., G. Brian. Thomas Evaluation and Control of Steel Cleanliness – Review // 85th Steelmaking Conference Proceedings. – ISS-AIME // Warrendale. – 2002. – PA. – P. 431-452.
3. Tassot P., Reichert N. Ways of Improving Steel Quality in the Tundish // Revue de Métallurgie. – 2010. – № 107. – P. 175-185.
4. Процессы непрерывной разливки / А. Н. Смирнов, В. Л. Пилюшенко, А. А. Минаев и др. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 536 с.
5. Sahai Y., Emi T. Tundish Technology for Clean Steel Production. – New Jersey: World Scientific, 2008. – 316 p.
6. Минаев Ю. А., Яковлев В. В. Физико-химия в металлургии. – М.: МИСИС, 2001. – 320 с.
7. Дерягин Б. В., Н. В. Чураев, Муляр В. М. Поверхностные силы. – М.: Наука, 1986. – 398 с.
8. Моделирование современных процессов внепечной обработки и непрерывной разливки стали / О. Б. Исаев, Е. А. Чичкарев, В. В. Кислица и др. – М.: Металлургиздат, 2008. – 373 с.

9. Костюченко Е. Б. Кинетика самопроизвольной и принудительной коагуляции шлаковых включений при плавке металла. – Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1957. – Вып. 1. – С. 53-57.
10. Ефимова В. Г. Разработка эффективных методов рафинирования стали в промежуточных ковшах МНЛЗ путем формирования гидродинамических потоков расплава: Дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 2004. – 196 с.
11. ГОСТ 1778 -70. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений. – М.: Изд-во стандартов, 1971. – 24 с.

Поступила 02.03. 2012

УДК 669.14.018.3.054.8

А. С. Петрищев, С. М. Григорьев*

Запорожский национальный технический университет, Запорожье

*Запорожский национальный университет, Запорожье

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ШИХТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СПЛАВА С ЦЕЛЮ ЛЕГИРОВАНИЯ И РАСКИСЛЕНИЯ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Исследованы фазовый состав и микроструктура сплава для легирования и раскисления быстрорежущих сталей, полученного на основе техногенных отходов при различном содержании углерода в исходной шихте с относительно низким содержанием кремния. Проведен анализ наиболее вероятных реакций и фазовых превращений, которые протекают на основных периодах рафинировочной плавки. Установлены физико-химические свойства сплава и некоторые закономерности, обеспечивающие снижение угара и повышение степени усвоения легирующих элементов расплавом стали.

Ключевые слова: техногенные отходы, утилизация, рафинировочная плавка, угар, фазовый состав, микроструктура, легирование, степень усвоения.

Досліджено фазовий склад і микроструктуру сплаву для легування та розкиснення швидко-різальних сталей, який отриман на основі техногенних відходів з різним вмістом вуглецю у вихідній шихті з відносно низьким вмістом кремнію. Проведено аналіз найбільш вірогідних реакцій і фазових перетворень, які протікають на основних періодах рафінувальної плавки. Встановлено фізико-хімічні властивості сплаву і деякі закономірності, що забезпечують зниження вигару і підвищення ступеню засвоєння легувальних елементів розплавом сталі.

Ключові слова: техногенні відходи, утилізація, рафінувальна плавка, вигар, фазовий склад, микроструктура, легування, ступінь засвоєння.

The phase composition and microstructure of an alloy for doping and the deoxidizing effect of red-hard steels received on the basis of a technogenic waste at a various carbon content in initial mix material with rather low contents of silicium are examined. The assaying of the most probable responses and phase transformations which leak on the basic periods of a refining fusion is carried out. Physico-chemical properties of an alloy and some regularities ensuring lowering of a burning loss and heightening of degree of mastering of alloying elements by a melt of a steel are fixed.

Keywords: a technogenic waste, recycling, a refining fusion, a burning loss, phase composition, a microstructure, doping, mastering degree.

В практике обрабатывающих переделов подавляющие объемы металлопродукции производятся существующими способами, связанными с образованием ме-