

5. Пат. 79004 Україна, МПК С21С 1/02 (2006.01). Спосіб попереднього рафінування чавуну у ковші / А.Г.Чернятевич, Є.М.Сігарьов, К.І.Чубін, О.А.Чубіна, О.В.Березіна; заявник та патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. унів-т. – № у 2012 10854; заявл. 17.09.12; опубл. 10.04.13, Бюл. № 7.
6. Ввод в эксплуатацию и освоение установок десульфурации чугуна в конвертерных цехах ОАО «НЛМК» / И.А.Некрасов, А.И.Дагман, В.А.Лавров [и др.] // Труды 9-го конгресса сталеплавателей. – М.: ОАО «Черметинформация», 2007. – С.562-564.
7. Туркдоган Е.Т. Физическая химия высокотемпературных процессов / Е.Т.Туркдоган. – М.: Металлургия, 1985. – 344с.
8. Исследование гидрогазодинамики процесса обработки чугуна паробразным магнием / Сигарев Е.Н., Чернятевич А.Г., Вергун А.С., Чубин К.И. // Известия вузов. Черная металлургия. – 2004. – №3. – С.14-18.
9. Mazurov E.F. Study steel deoxidation and desulfurization magnesium / E.F.Mazurov, Kurdumov E.U. // Theory of metallurgical webs. – Moscow: Metallurgy, 1977. – Issue 4. – P.32-45. (Rus.)
10. Machikin V.I. About limiting link processes of iron and steel desulfurization magnesium / V.I.Machikin, A.M.Zborschik, E.N.Skladanowski // Proceedings of the universities. Iron and steel. – 1981. – №7. – P.32-36. (Rus.)
11. Zborschik A.M. Pig iron with nodular graphite for large castings / A.M.Zborschik, V.I.Machikin, E.N.Skladanovski. – М.: Mashinostroyeniye, 1995. – 128p. (Rus.)
12. Смирнов Н.А. Рафинирование стали продувкой порошками в печи и ковше / Н.А.Смирнов, В.А.Кудрин. – М.: Металлургия, 1986. – 186с.

Поступила в редколлегию 22.09.2015.

УДК 669.18

СИГАРЕВ Н.К., к.т.н., доцент
СОРОКА Я.А., аспирант
ПЛАКУЩИЙ Д.О., аспирант

Днепропетровский государственный технический университет

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ЛИТЕЙНОМ КОВШЕ ПРИ ВЕРХНЕЙ ПРОДУВКЕ ВАННЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРУЮЩЕ-РАСSEИВАЮЩЕЙ ПЕРЕГОРОДКИ

Введение. Повышение конкурентоспособности украинского металла на мировом рынке непосредственным образом связано с улучшением качества металла. В первую очередь, качественные показатели стали определяются наличием в литых изделиях неметаллических включений и газов. Снижению количества неметаллических включений и газов способствует применение методов ковшовой обработки. К сожалению, на литейных предприятиях эти технологии пока не нашли широкого применения.

При внепечной обработке жидкой стали представляется перспективным достаточно простое решение, связанное с использованием фильтрующе-рассеивающих перегородок при одновременной продувке расплава сверху инертными газами. Так, например, их применение в промежуточных ковшах МНЛЗ достаточно убедительно показало эффективность решения задач рафинирования металла [1-3]. В этих же работах показано, что конструктивный характер исполнения таких устройств и их местоположение в промковшах предопределяет успех операции очистки металла. Очевидно, соответствующий вывод в полной мере можно отнести и к возможному использованию филь-

рующих перегородок в разливочных ковшах. Такой подход к решению проблемы повышения рафинирующей способности ковшовой обработки стали является чрезвычайно интересным и, на наш взгляд, перспективным.

Эффективность применения фильтрующе-рассеивающих перегородок в разливочных ковшах предполагает увеличение интенсивности конвективных потоков жидкости, чего можно достичь посредством использования нейтрального газа, подаваемого через погружную фурму.

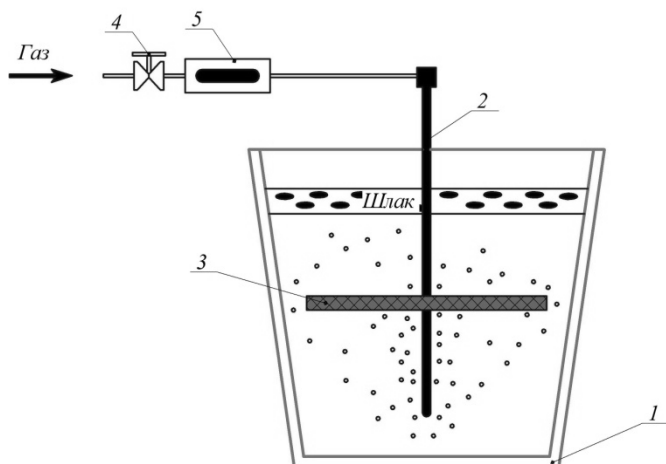
В настоящее время такая комплексная задача еще не решалась. Установление геометрических характеристик предлагаемого устройства и режимов обработки расплава позволит существенно интенсифицировать получение качественного металла.

Постановка задачи. Целью данных исследований является определение оптимального диаметра фильтрующе-рассеивающей перегородки, рационального ее расположения в объеме разливочного ковша, интенсивности подаваемого газа и их влияния на гидродинамические параметры жидкой ванны, способствующие повышению рафинирующей способности

внепечной обработки расплавов.

Результаты работы. Решение поставленной задачи производилось посредством использования метода приближенного физического моделирования, основанного на положениях теории подобия. Схема и фото установки моделирования приведены на рис.1.

Исследования гидродинамики жидкости на физической модели разливочного ковша (геометрический масштаб 0,6) проведены при подаче в металл нейтрального газа посредством погружной фурмы с расходом в диапазоне 1,2-3,2 л/(мин·т) жидкой стали. Конструктивно фурма исполнена с возможностью ее свободного перемещения в емкости модели ковша. Модель фильтрующе-рассеивающей перегородки выполнена из органического стекла, содержит отверстия различного размера и может устанавливаться в заданное место разливочного ковша.



1 – литейный ковш, 2 – погружная фурма,
3 – фильтрующе-рассеивающая перегородка,
4 – вентиль, 5 – расходомер

Рисунок 1 – Схема и фото установки для моделирования гидродинамики металла в литейном ковше

В качестве моделирующей жидкости использовали воду. Аргон имитировали воздухом. Визуализацию потоков жидкости осуществляли с помощью полистироловых шариков (трассеров) диаметром 0,3-1,5 мм. Направление и скорости потоков определяли визуальным наблюдением и фиксацией гидродинамической картины на цифровую видеокамеру.

Количественные значения скоростей потоков жидкости определяли посредством расчета отношения измеренных на фотоотпечатках длин треков трассеров ко времени экспозиции с учетом коэффициентов масштабирования.

В процессе моделирования изучали общий характер распределения потоков жидкости, скорости потоков жидкости, характер поведения ее и газа в 1-т разливочном ковше, что в соответствии с положениями теории подобия позволяет определять количественные характеристики гетерофазных потоков жидкости [4].

Фильтрующе-рассеивающая перегородка расположена перпендикулярно к огнеупорной фурме и имеет форму диска определенного диаметра.

На основе предварительно проведенной серии экспериментов установили, что характер поведения газожидкостных потоков зависит от размера перегородки и высоты расположения ее над днищем ковша, а также количества и диаметра отверстий в перегородке.

Общей тенденцией во всех исследованных случаях стало появление дополнительных потоков металла, огибающих перегородку в районе вертикального осевого сечения ковша (рис.2, длина треков соответствует скоростям потоков). Немаловажной положительной чертой во всех случаях было практическое отсутствие оголенной от шлака поверхности металла (так называемого «глаза») и «пробойных» режимов в исследованном диапазоне расходов газа, что объясняется «рассеивающим» эффектом фильтра.

В целом, наличие фильтрующе-рассеивающей перегородки привело к более равномерному течению жидкости во всех зонах ковша при одновременном уменьшении количества застойных зон по сравнению с верхней или донной продувкой ковша.

При изучении вопроса нахождения рациональной высоты расположения перегородки над днищем ковша было определено, что по высоте ковш можно условно разделить на две области: под перегородкой и выше нее. В целом, направления потоков металла в этих областях сохраняются, но по мере удаления перегородки от днища ковша интенсивность потоков жидкости снижается при одновременном увеличении объемов циркуляционных потоков (рис.2).

В табл.1 приведены значения скоростей потоков металла в вертикальной плоскости, проходящей через ось ковша и ось фурмы, при подаче газа с удельной интенсивностью 1,2-3,2 л/(мин·т) и различным положением фильтрующе-рассеивающей перегородки.

Установлено, что по мере увеличения удельной интенсивности продувки время перемешивания уменьшается с одновременным ростом скоростей потоков металла. Увеличение относительной площади отверстий в перегородке также положительно сказывается на уменьшении времени гомогенизации жидкости.

Общепризнанно, что условиями, обеспечивающими направленное движение неметаллических включений, их слияние, укрупнение и подачу к шлаковому покрову, являются создание принудительной конвекции во всем объеме металла, направленной к зеркалу металла ковша, и образование вихреобразной гидродинамической структуры в расплаве металла. Вихревая структура объемов металла позволяет максимально быстро укрупнять неметаллические включения и не только создавать условия для выноса в шлаковую зону, но и способствовать задержанию их фильтрующей перегородкой. Желательно задействовать вихреобразованием как можно больший объем металла, чтобы

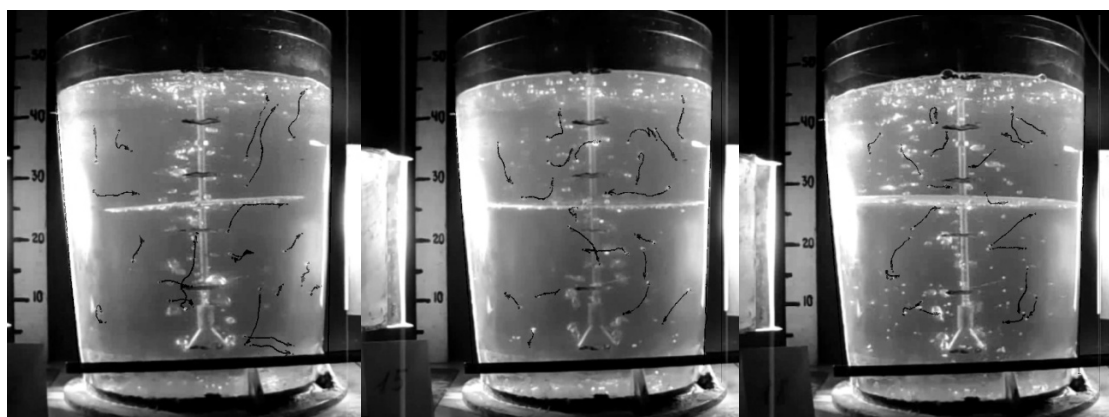


а

б

в

а – диаметр фильтрующей перегородки 200мм; б – 250мм; в – 300мм
(высота расположения фильтрующей перегородки 0,25 высоты налива металла)

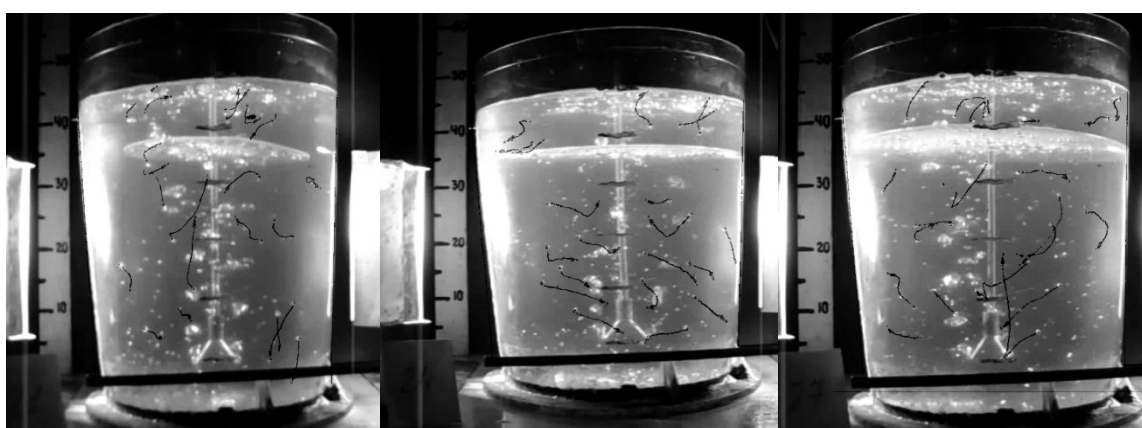


г

д

е

г – диаметр фильтрующей перегородки 200мм; д – 250мм; е – 300мм
(высота расположения фильтрующей перегородки 0,5 высоты налива металла)



ё

ж

з

ё – диаметр фильтрующей перегородки 200мм; ж – 250мм; з – 300мм
(высота расположения фильтрующей перегородки 0,75 высоты налива металла)

Рисунок 2 – Макрокартина газожидкостных потоков (время экспозиции 1 с,
интенсивность продувки 3,2 л/(г·мин))

обеспечить контакт со шлаковым покровом и уменьшить вероятность образования застойных зон. Рассредоточение выделения газовой фазы из объема металла и уменьшение площади оголенного зеркала металла положительно повлияют на удаление газовых и неметаллических включений [5].

Таблица 1 – Значения скоростей потоков металла

Положение фильтрующей перегородки (доля от номинальной высоты налива ковша)	Диаметр фильтра, м	Интенсивность продувки, л/(г·мин)	Скорости потоков металла, м/с
0,25	0,2	1,2	0,011-0,275
		2,2	0,033-0,390
		3,2	0,010-0,380
	0,25	1,2	0,051-0,273
		2,2	0,059-0,439
		3,2	0,031-0,491
	0,3	1,2	0,081-0,559
		2,2	0,040-0,310
		3,2	0,060-0,320
0,5	0,2	1,2	0,049-0,326
		2,2	0,046-0,413
		3,2	0,036-0,355
	0,25	1,2	0,062-0,391
		2,2	0,080-0,186
		3,2	0,054-0,254
	0,3	1,2	0,063-0,233
		2,2	0,018-0,242
		3,2	0,072-0,197
0,75	0,2	1,2	0,061-0,192
		2,2	0,051-0,440
		3,2	0,071-0,257
	0,25	1,2	0,072-0,389
		2,2	0,072-0,305
		3,2	0,098-0,271
	0,3	1,2	0,053-0,355
		2,2	0,044-0,204
		3,2	0,052-0,470

Таким образом, для полного и интенсивного процесса рафинирования металла от неметаллических включений следует уменьшить время движения металла до шлакового покрова. Для этого в фильтрующей перегородке относительная площадь сечения отверстий должна быть в пределах от 40 до 60%.

По данным табл.1 построен график (рис.3) зависимости скоростей потоков металла (W , м/сек) от интенсивности продувки (I , л/мин·т) и диаметра перегородки (D , м).

Выводы. В результате экспериментов установлено, что расположение фильтрующей перегородки по варианту *a - в* (рис.2) является самым неблагоприятным с точки зрения разрушения футеровки и времени контакта металла с адсорбирующей поверхностью перегородки, т.к. образуются интенсивные вихри, которые отжимаются пе-

регородкой к стенке ковша, ближайшей к продувочному узлу, тем самым создавая условия для размывания футеровки.

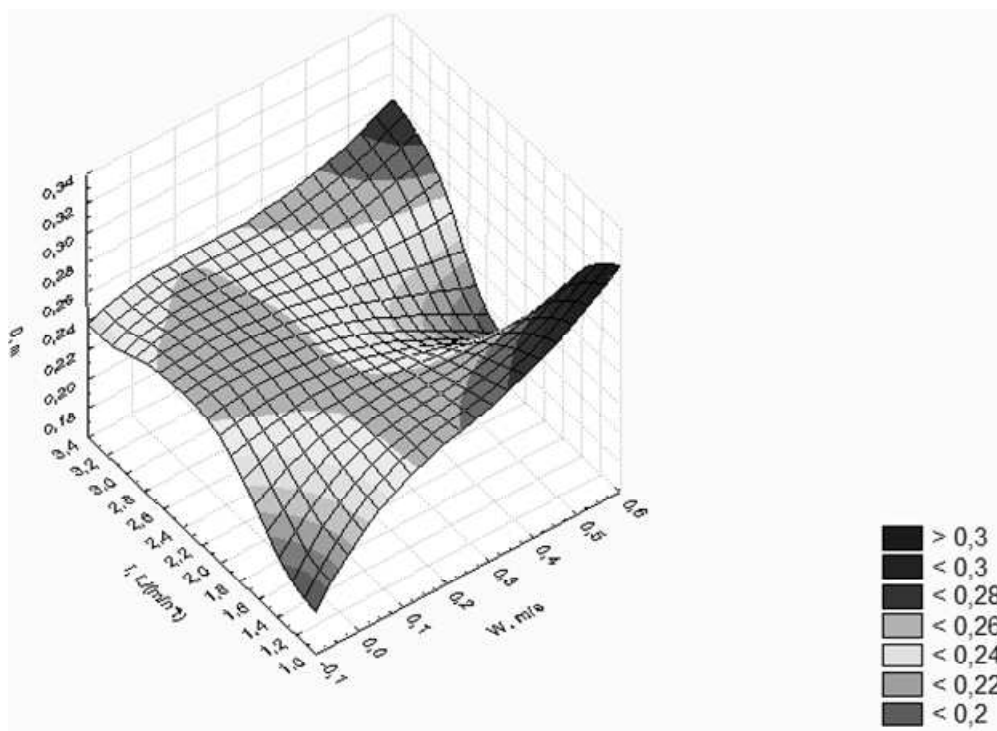


Рисунок 3 – График зависимости скоростей потоков металла от интенсивности продувки и диаметра перегородки

При установке перегородки по варианту $\delta - z$ (рис.2) положительным фактором является то, что включения проходят больший путь, количество крупных включений увеличивается и значительная их часть задерживается на поверхности перегородки. Однако перегородка гасит восходящие потоки, снижая интенсивность перемешивания, и у дна ковша возникает объемная застойная зона, величина которой зависит от высоты расположения фильтра и интенсивности продувки.

Наилучшим оказалось размещение фильтрующей перегородки приблизительно на расстоянии 0,5 высоты налива металла (рис.2, $z - e$). В этом случае возникает достаточная объемная реакционная зона с развитой вихревой гидродинамической структурой, что обеспечивает интенсификацию удаления неметаллических включений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование современных процессов внепечной обработки и непрерывной разливки стали [Текст]: монография // О.Б.Исаев, Е.А.Чичкарев, В.В.Кислица и др.; под общ. ред. Е.Х.Шахпазова. – М.: Metallurgizdat, 2008. – 376с. – ISBN 978-5-902194-32-3.
2. Ефимова В.Г. Усовершенствование технологии рафинирования стали на ОАО МК «Азовсталь» в процессе ее разливки на МНЛЗ путем изменения гидродинамики промежуточного ковша [Текст] / В.Г.Ефимова, Г.В.Ефимов, В.М.Симановский [и др.] // Процессы литья. – 2009. – № 3. – С.69-73.
3. Огурцов А.П. Непрерывное литье стали [Текст]: монография / А.П.Огурцов, А.В.Гресс. – Днепропетровск: Системные технологии, 2002. – 675с. – ISBN 966-7316-67-X.

4. Гресс О.В. Дослідження, моделювання та оптимізація ливарних систем [Текст]: навч. посібн. / О.В.Гресс, А.П.Огурцов, Ф.В.Недоп'юкін. – Дніпродзержинськ, 2012. – 287с. – ISBN978-966-175-066-0.
5. Гресс А.В. Физическое моделирование гидродинамики жидкого металла в литейном ковше, оборудованном фильтрующей перегородкой / А.В.Гресс, С.А.Стороженко // Зб. наук. праць, сер. «Металургія». – Запоріжжя: ЗДІА. – 2013. – Вип. 2 (30). – С.42-47.

Поступила в редколегію 14.09.2015.

УДК 669.162

КРЯЧКО Г.Ю, к.т.н., доцент
МАСТЕРОВЕНКО Е.Л., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОКСОВОЙ ЗОНЫ В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ

Введение. Важным элементом реализации доменного процесса являются создание и функционирование коксовой зоны в нижней части печи. Низ массива зоны затоплен чугуном и шлаком, может опираться на лещади и может всплывать при определенных условиях. Верх этого коксового образования совпадает с нижней высокотемпературной границей зоны когезии – зоны размягчения и плавления материалов (ЗРПМ). Коксовый массив при нормальной работе печи имеет подвижность, газопроницаемость и дренажную способность.

При оценке структуры столба шихты в доменной печи основное внимание уделяется специфике очертаний зоны когезии [1, 2]. К сожалению, коксовой зоне, расположенной ниже ЗРПМ, уделяется меньше внимания, хотя эта зона, получившая название коксовый тотерман, коксовая насадка, оказывает не меньшее влияние на работу печи, чем зона когезии. Термин «тотерман» для названия коксовой зоны является не совсем удачным, поскольку зона состоит из массивов различной подвижности, а тотерман по первоначальному определению представлял собой неподвижное застывшее образование на лещади.

Авторы работы [1] видели причину изменения очертаний ЗРПМ в печах различного объема в особенностях характера схода материалов в нижних частях доменных печей. Опираясь на данные холодного моделирования, ими было показано, что малым печам свойственен осевой сход шихты в заплечиках, а в больших – периферийный. Поэтому корневая область ЗРПМ в малых печах должна находиться у оси, а в больших – на периферии (рис.1). Нетрудно видеть, что массив кокса в малых печах представляет собой чашеобразную форму, в средних – чашеобразную с осевой выпуклостью, в больших – цилиндрикоконическую с вершиной конуса у оси. На схеме горн доменных печей независимо от объема занят коксом до горизонта воздушных фурм и выше.

Результаты в Украине, Японии и Германии в 60-80-х г.г. XX века позволяют оценить, в какой мере реальные форма и размещение зон когезии и коксовой насадки соответствуют предложенным в работе [1] схемам.

Постановка задачи. Задачей настоящего исследования является изучение особенностей формирования коксовой зоны в зависимости от объема доменных печей, условий плавки и принятой технологии, основываясь исключительно на экспериментальных данных, полученных на промышленных печах [4-6].