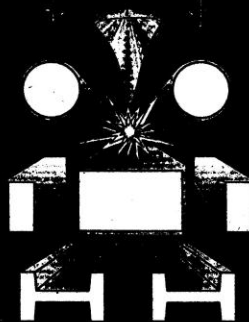


ISSN 0543-5749

Металлургическая и горнорудная ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



2004

№ 8

суммарная деформация возрастает почти в 2 раза.

Таким образом, полученная картина позволяет сделать вывод о возможных местах, причинах возникновения и характере развития повреждений футеровки установки печь-ковш в зоне шлакового пояса и в переходе с доломитомгнезитового к периклазоуглеродистому кирпичу, которые в конечном итоге ведут к ее разрушению.

Выводы

Получено распределение температурных полей в жидкой стали, шлаке и футеровке в различные моменты времени, а также установлена картина деформаций и напряжений элементов футеровки установки б-ковш, вызванных термическими нагрузками. Анализ результатов моделирования позволил выявить причины и характер возможного разрушения футеровки.

Библиографический список

1. Моделирование температурных полей в сталеразливочных ковшах с футеровкой из доломитовых кирпичей или высокоглиноземистой массы/Волкова О., Янке Д. // Черные металлы. - 2003. - № 2. - С. 26-31.
2. Огнеупорное производство / Под общ. ред. Д.И. Гавриша. - М.:Металлургия, 1965. - ТТ.1-2.

© Е.В. Ошовская, И.Н. Салмаш, 2004 г.

Оптимизация режимов продувки жидкого металла в сталеразливочных ковшах

Л. Еронько /к.т.н./, А.Н.Смирнов /д.т.н./, И. Н. Салмаш

Нижегородский национальный технический университет,

Л. Кукуй /к.т.н./, А. Ю. Цупрун

ООО "ДОНИКС"

Обсуждена необходимость дальнейшего совершенствования технологии инъекционной обработки жидкого металла в разливочных ковшах, эксплуатируемых в составе установок "ковш-печь". Освещены результаты лабораторных экспериментов, проведенных с целью обоснования оптимальных режимов продувки расплава через несколько пористых пробок, установленных в днище ковша. Доказано, что при использовании дискретных режимов подачи газа к донным продувочным устройствам по специально установленной программе удается сократить время гомогенизации перемешиваемой жидкостной системы, снизить продолжительность и поверхность контакта покровного шлака с футеровкой ковша.

Ключевые слова: продувка, инертный газ, перемешивание, скорость циркуляции, время гомогенизации

Начало всестороннему изучению процесса взаимодействия газовых струй с жидкой металлической ванной, продуваемой инертным или неинертным газом, было положено в 70-е годы прошлого века, когда осваивались способы инъекционной обработки стали в разливочных ковшах. Среди многочисленных работ того времени, посвященных описанию качественной и количественной картины газо-гидродинамических явлений, протекающих во время перемешивания жидкого металла вдуваемым газом, следует особо отметить работы Е.Т. Туркдогана, Дж. Зекели, М. Сано, К. Мори, В.И. Явойского, В.И. Баптизманского, В.Б. Охотского. Приведенные в них результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований позволили не только объяснить физическую сущность процессов теплопереноса, обусловленных взаимодействием газовой и жидкой фаз, и охарактеризовать структуру циркуляционных потоков, но и выдать практические рекомендации по выбору места размещения продувочного узла и назначению длительности подачи газа - энергоносителя для различных условий продувки [1-4].

Структурные изменения, произошедшие в современном сталеплавильном производстве, потребовали продолжения работ, связанных с повышением эффективности вторичной металлургии. Намечившийся рост числа установок "ковш-печь", вводимых в эксплуатацию на отечественных металлургических предприятиях, а также увеличение стоимости энергоносителей и огнеупорных изделий, потребляемых при получении этих установках стали заданного химического состава из предварительно выплавленного полупродукта, явились главными причинами актуальности проблемы, связанной с необходимостью обеспечения баланса между затратами на проведение технологических операций и достигаемым эффектом.

В связи с этим при назначении режима продувки необходимо учитывать не только поставленные цели (гомогенизация химического состава и температуры металла или повышение эффективности его взаимодействия со шлаком для обеспечения успешной десульфурации), а и условия протекания в жидкой ванне газо-гидродинамических процессов, при которых достигается максимально возможный эффект перемешивания при минимальных временных, материальных и энергетических затратах.

Практика эксплуатации разливочных ковшей, в которых осуществляли регулярно внепечную обра-

ботку стали с использованием донной продувки инертным газом, показала, что характер движения взаимодействия газожидкостных потоков в перемешиваемой ванне во многом определяет как достигаемая степень гомогенизации расплава в объеме ковша, так и зональный износ его футеровки [5-7].

На основании полученных результатов лабораторных и промышленных экспериментов установлено, что во время перемешивания стали газом необходимо обеспечить условия, при которых бы в жидкой ванне не формировались квазистационарные потоки, а поверхность и длительность контакта газовой и металлической фаз были максимально большими. Наличие строго выраженных циркуляционных контуров сплывливо считают одной из главных причин неравномерного износа футеровки сталеразливочного ковша.

Улучшение условий протекания тепло-массообменных процессов в агрегатах "ковш-печь" в настоящее время пытаются достичь несколькими способами. В частности, фирма "Техноком" для решения задачи качественного и быстрого рафинирования стали предложила два альтернативных варианта перемешивания металла, один из которых предполагает продувку расплава поочередно через два устройства, установленные в днище ковша, а другой – периодический поворот ковша относительно вертикальной оси во время подачи газа через донную пористую пробку. Сокращение длительности процесса гомогенизации металла в ковше по температуре и химическому составу при использовании этих способов в сравнении с традиционной технологией продувки достигается, по мнению разработчиков, за счет формирования более мелких пузырьков аргона и усиления хаотического перемещения жидкостных потоков в перемешиваемой ванне [8].

Сотрудниками Донецкого национального технического университета и НПО "ДОНИКС" для решения аналогичной задачи разработана автоматизированная система управления процессом донной продувки стали через несколько пористых пробок в дискретном режиме, предусматривающем чередование по определенному закону периодов активного и пассивного перемешивания, задаваемому прикладной программой. Эта программа составлена на алгоритмическом языке высокого уровня Object Pascal для среды визуального программирования Delphi 4 с использованием специально разработанной математической модели процесса перемешивания, основанной на следующих положениях:

- передача энергии газовой струи окружающей жидкой среде наиболее интенсивно происходит в период ее разгона, т.е. при наличии значительного градиента скоростей взаимодействующих фаз, когда сопротивление со стороны жидкости, направленное против архимедовых сил, имеет максимальное значение;
- при пробойном истечении струи вдуваемого газа подавляющая часть ее энергии остается неиспользованной, поскольку покидающая перемешиваемую систему газовая фаза взаимодействует с жидкостью только на поверхности их раздела, имеющей форму обращенного конуса с углом раскрытия 20-25°;
- для заданного объема перемешиваемого металла достаточно полной его гомогенизации наступит после 3-х кратной циркуляции и в дальнейшем энергия газовой струи расходуется лишь на поддержание устойчивой циркуляции жидкостных потоков.

Исходными данными, необходимыми для начала работы программы, являются:

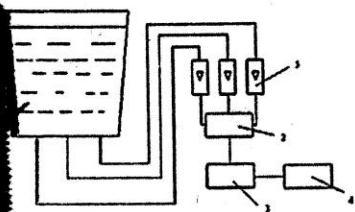
1. Геометрические параметры футерованной полости ковша (высота, нижний и верхний диаметры);
2. Параметры продуваемой стали (плотность, кг/м^3 ; температура, $^{\circ}\text{C}$);
3. Параметры вдуваемого газа (давление, МПа; плотность, кг/м^3);
4. Масса металла, находившегося в ковше, кг.

Программа работает в реальном режиме времени, что позволяет выполнять необходимые вычисления со скоростью, соответствующей скорости протекания управляемого процесса перемешивания расплава в ковше [9].

Система управления режимом продувки в соответствии с предложенной математической моделью процесса перемешивания металла функционирует следующим образом. После ввода с клавиатуры исходных данных и запуска программы на основании значений массы и плотности жидкой стали в ковше, геометрических параметров его футерованной полости последовательно рассчитываются глубина перемешиваемой ванны, соответствующий ей расход газа, обеспечивающий "допробойный" режим его истечения расплава. Затем с использованием ранее полученных теоретических зависимостей [10] определяются среднее значение скорости циркуляции жидкого металла в объеме перемешиваемой ванны, насосная производительность металлического потока и время однократной циркуляции. При этом по команде компьютера, управляемого многопозиционного регулирующего клапана к каждой из трех установленных футеровке днища ковша пористых пробок в заданной последовательности для промежутка времени, равного однократной циркуляции, подают инертный газ с расчетным расходом, соответствующем "допробойному" режиму его истечения в жидкий металл.

При осуществлении продувки расплава по указанной технологической схеме обеспечивается постоянное изменение положения вертикальной плоскости, в которой возникает циркуляционный поток жидкого металла. Это в свою очередь вызывает дополнительное завихрение жидкости и способствует улучшению ее перемешивания.

Предварительную оценку эффективности предложенного технического решения выполнили на лабораторной установке (рис. 1), включающей модель 250-тонного ковша 1, изготовленную в масштабе 1:10. В днище которой были смонтированы 3 пористые пробки, подключенные к электромагнитному клапану. Клапан обеспечивал независимую подачу сжатого воздуха из ресивера 3 к каждой из пробок с заранее установленным расходом в течение назначаемого промежутка времени. В ресивер воздух нагнетался ком-



1. Схема лабораторной установки для моделирования процесса продувки стали в ковше

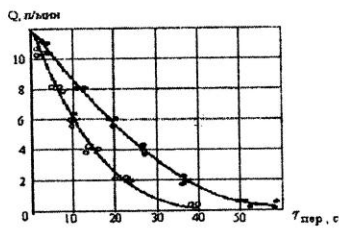


Рис. 2. Зависимость времени гомогенизации жидкости моделирующей расплав, при продувке в дискретном (o) и обычном (e) режимах

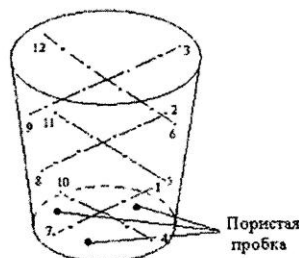
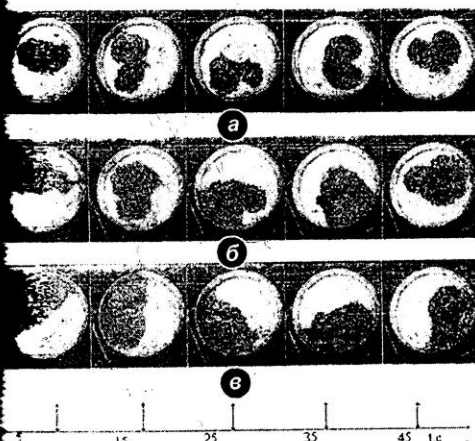


Рис.3. Схема расположения термомпар в стенках модели ковша относительно продувочного узла



4. Динамика изменения температуры перемешиваемой жидкости при продувке в дискретном (a) и обычном (б) режимах



5. Картинки распределения шлакового покрова в модели ковша при различной интенсивности продувки в дискретном режиме: а - расход воздуха 3 л/мин; б - расход воздуха 5 л/мин; в - расход воздуха 8 л/мин

По полученным данным контроля времени полного перемешивания жидкости, моделирующей расплав, построили графики зависимости изменения $\tau_{пер}$ от интенсивности подачи сжатого воздуха (рис. 2) с постоянным расходом через одну пористую пробку и в дискретном режиме через три пробки по предлагаемой технологической схеме. Как видно из приведенных графиков, продувка в дискретном режиме позволяет сократить длительность процесса перемешивания в сравнении с традиционной схемой продувки в 1,5-1,8 раза.

Преимущество дискретной продувки через несколько донных пробок получило подтверждение и в исследовании влияния различных режимов подачи энергоносителя на скорость выравнивания температуры в объеме перемешиваемой жидкой ванны. Во время имитации процесса перемешивания металла в ковше в случае интенсивного подвода тепла в верхние слои жидкости, моделирующей расплав, контролировали динамику изменения ее температуры в 12 точках на трех уровнях с помощью вмонтированных в стенку модели ковша термомпар (рис. 3).

Предварительный быстрый разогрев жидкости перед началом перемешивания осуществляли мощным (2 кВт) электрическим элементом, обеспечивающим локальный подъем температуры воды вблизи

рессором 4, а интенсивность его подачи к каждому из продувочных устройств контролировали с помощью ротаметров 5.

Обеспечиваемую степень гомогенизации моделирующей расплав жидкости при ее перемешивании воздухом, вдуваемым в дискретном и непрерывном режимах, оценивали с использованием химического метода [11], предполагающего введение в ванну моделей ковша фиксированного количества индикатора (насыщенного солевого раствора) и контроль с помощью двух датчиков, размещенных на разных уровнях вблизи стенок модели, изменения разности концентраций раствора соли. Датчики, каждый из которых представлял два платиновых электрода, были включены в мостовую схему. Электрический сигнал, пропорциональный разности концентраций раствора соли в контролируемых точках, подавали для записи на регистрирующий прибор.

За время гомогенизации жидкой ванны в модели ковша принимали временный промежуток с момента подачи в жидкость индикатора и до момента снижения разности концентраций раствора соли до нулевого значения.

свободной поверхности.

Как видно из графиков (рис. 4), отображающих характер изменения температуры продуваемой жидкости в контролируемых точках, процесс ее выравнивания по всему объему модели ковша завершается быстрее при одинаковом расходе вдуваемого воздуха в случае его подачи в дискретном режиме в сравнении с обычным способом продувки через 1 пробку с постоянным расходом.

Кроме этого, во время моделирования процесса перемешивания проводили видеосъемку поверхности жидкости в модели ковша, перед началом продувки покрывавшуюся слоем частиц пенопласта. На рис. 5 показаны характерные картины его распределения на свободной поверхности жидкости при продувке предложенному методу с различной интенсивностью перемешивания. На основании анализа данных видеосъемки пришли к выводу о возможности снижения негативного воздействия покровного шлака футеровку ковша путем уменьшения поверхности и длительности ее контакта со шлаковым расплавом.

Предложенная разработка передана для использования в типовых проектах ЗАО "НКМЗ". В отличие от зарубежного аналога фирмы "Техноком" при реализации она не требует сложного энерго- и материалоёмкого оборудования, что позволяет существенно сократить эксплуатационные затраты при внепечной обработке стали.

Результаты исследований процесса продувки жидкого металла в дискретном режиме на холодной модели показали, что способ подачи газа в перемешиваемую жидкость через несколько продувочных устройств с переменным расходом, изменяющимся по установленному закону, позволит значительно снизить продолжительность обработки стали в сравнении с традиционной технологией.

Применение разработанного технического решения, направленного на оптимизацию расхода энергоносителей, будет способствовать сокращению затрат электроэнергии, обеспечению более полного очищения стали от нежелательных включений и продлению срока службы огнеупорной футеровки разливочного ковша.

Библиографический список

1. Инжекционная металлургия '83. Пер. с англ. / Под ред. М. Ф. Сидоренко. — М.: Металлургия. 1986. — 391 с.
2. Sano M., Makino H., Ozawa Y., Mori K. // Iron and Steel Inst. Jap. 1986. V26/№4. P. 298-304.
3. Охотский В.Б., Войтюк К.В., Шибко А.В. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1991. — № 1. — С. 17 — 19.
4. Охотский В.Б. // Изв. АН СССР. Металлургия. 1991. — № 5. — С. 34 — 37.
5. Бутаков А.В., Кузнецов А.В., Решлер Я. // Металлург. — 1999. — № 2. — С. 26-28.
6. Просвиров С.Н., Гонтарук Е.И., Затоковой Ю.А. и др. // Металлург. — 1999. — № 3. — С. 47-48.
7. Смирнов А.Н., Минц А.Я., Гиниятулин Р.В. // Электрометаллургия. — 2001. — №3. — С. 26-35.
8. Хлопонин В.Н., Шумахер Э.А., Зинковский И.В. и др. // Металлург. — 2004. — №2. — С. 29-31.
9. Еронько С.П., Быковский С.В., Полонская Ю.Г. и др. // Математичне моделювання. — 2001. — № 1(6). — С. 31-35.
10. Мачикин В.И., Шестопалов В.Н., Еронько С.П. // Изв. вузов. Черная металлургия. — 1986. — № 1. — С. 29 — 31.
11. Еронько С.П., Быковских С.В. Физическое моделирование процессов внепечной обработки и разливки стали. — К.: Техніка, 1998. — 138 с.

© С.П. Еронько, А.Н. Смирнов, И.Н. Салмаш, Д.П. Кукуй, А.Ю. Супрун, 2004 г.

Исследование условий стабильности функционирования системы дозирования стали в промковше МНЛЗ

С.П. Еронько /к.т.н./, И.А. Орлов, Д.А. Яковлев, Е.В. Штепан, А.В. Сидоров
Донецкий национальный технический университет

Приведены результаты лабораторных исследований работы стопорных систем для дозированного перелива стали из точного ковша в кристаллизаторы МНЛЗ. С использованием методов физического моделирования изучено влияние на работу стопоров-моноблоков газогидродинамических процессов, протекающих во время разлива в ванне промежуточного ковша в зоне входного отверстия сталевыпускного канала при вдувании в него инертного газа. Выданы практические рекомендации по улучшению условий эксплуатации стопорных механизмов промежуточных ковшей.

промковш, стопор, динамический напор, скорость потока, вибрация

Повышение производительности современных машин непрерывного литья заготовок и выхода готовой продукции, прежде всего, может быть обеспечено за счет увеличения серийности разлива с максимальным возможным продлением эксплуатации каждого промежуточного ковша в межремонтный период, что в свою очередь связано с выполнением жестких требований, предъявляемых к качеству используемых конструкций систем дозированного перелива стали в кристаллизаторы [1, 2].

Устойчивая работа стопорной системы промежуточного ковша МНЛЗ в течение промежутка времени затрачиваемого на разливку стали 15 — 20 плавов, достигается только при высокой надежности элементов, входящих в ее состав (огнеупорный стопор-моноблок, узел его крепления к несущему элементу устройства вдувания аргона в сталевыпускной канал, контроля и сигнализации) [3].

Выполненное авторами в условиях ряда металлургических предприятий Украины и России промышленное тестирование работы разливочных устройств промковшей, снабженных стопорами-моноблоками различного конструктивного исполнения, показало, что основными факторами, влияющими на их без-