

Л.В.Камкина, А.П. Мешалкин, Н.А. Колбин, С.В.Пшигоцкий,
Я.В.Стовба

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ПРОДУВКИ ВАННЫ ПОДОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Аннотация. На основании результатов холодного и высокотемпературного моделирования разработаны рациональные режимы дутья и шлакообразования при комбинированной продувке мартеновской ванны. Определено их влияние на основные показатели плавки

Ключевые слова: комбинированная продувка, гидродинамика ванны, интенсивность перемешивания, шлакообразование.

Введение. При общей объективной тенденции дальнейшего наращивания темпов строительства высокопроизводительных кислородно – конвертерных и электросталеплавильных цехов, сложившееся соотношение способов получения стали в структуре МЧМ Украины по вкладам в общее производство продукции свидетельствует о сохранении значительной роли мартеновского передела. Использование технологической гибкости современного мартеновского процесса, интенсификации плавки продувкой окислительными и нейтральными газами, обеспечивает химический состав и гарантированные качественные показатели стали, соответствующие нормам зарубежных стандартов. Этот факт, а также возможное снижение затрат по дальнейшей выпечной обработке большинства марок стали производимого сортамента, позволяет сохранять конкурентную способность продукции мартеновского процесса в условиях нестабильности мировой экономики

Постановка задачи. Взаимодействие дутья с жидкой ванной определяет интенсивности плавления шихтовых материалов и перемешивания ванны, изменение уровня ванны, динамику выбросов, процессы окисления примесей, формирование активного основного шлака, износ огнеупорной футеровки и др. Выбор рационального

© Камкина Л.В., Мешалкин А.П., Колбин Н.А., Пшигоцкий С.В.,
Стовба Я.В., 2011

дутьевого и шлакового режимов плавки требует разработки и применения надежных методов и методик исследования взаимодействия дутья с ванной.

Основная часть. Уточнены особенности взаимодействия дутья с металлической ванной при различных способах подвода и размещения продувочных устройств. Определено их влияние на основные показатели процесса.

Анализ возможностей моделирования металлургических процессов [1] с использованием безразмерных критериев подобия свидетельствует о том, что, несмотря на неоспоримые возможности математического моделирования процессов, многие вопросы могут быть решены только физическим моделированием. На основании анализа рассмотренных подходов к выбору условий моделирования газогидродинамических процессов приняли соблюдение режимов истечения струй на образце и модели и геометрическое их подобие необходимыми и достаточными условиями для холодного и высокотемпературного моделирования.

Интенсивность перемешивания расплава в процессах нагрева лома и рафинирования в мартеновской печи с различными способами подвода окислительных газов является важной величиной, непосредственно влияющей на характер этих процессов и кинетику реакций на границе металл-шлак и в шлаковой фазе. Поэтому исследование влияния количества и способа размещения продувочных устройств на интенсивность перемешивания и характер циркуляции металла в ванне мартеновской печи представляют теоретический и практический интерес.

В настоящем исследовании на холодных и высокотемпературных моделях изучены особенности взаимодействия газовых струй с жидкой ванной при различных способах подвода, параметрах дутья и размещении продувочных устройств. Экспериментально определены скорости смешения жидкой ванны и циркуляции жидкой фазы и влияние на них параметров дутьевого режима и схем размещения продувочных устройств для верхней, донной, боковой и комбинированной продувки.

Исследования по отработке методики моделирования показали, что интенсивность гидродинамических процессов в зонах взаимодействия газовых струй с жидкостью, по крайней мере, на порядок ве-

личины превосходит их интенсивность в периферийных объемах ванны, во многом определяя интенсивность перемешивания ванны в целом. Площадь жидкой ванны гидравлической модели была условно разделена на три ячейки, представляющие отдельные барботажные зоны. Продувка этих зон осуществлялась через односопловые фурмы по следующим вариантам:

- 1 – продувка через три сводовые фурмы;
- 2 – продувка черед три донные фурмы;
- 3 – комбинированная продувка через три сводовые и три донные фурмы;
- 4 – комбинированная верхне – донная продувка центральной ячейки ванны с дополнительной продувкой сбоку сверху через противоположные боковые стенки модели печи.

В качестве основных показателей, определяющих интенсивность перемешивания жидкой ванны, были выбраны время ее полного смешения[2] и скорость циркуляции жидкой фазы на периферийных участках барботажных зон. Продолжительность полного смешения определялась путем импульсного ввода электролита в зону продувки.

На рис. 1 представлены зависимости эффективности перемешивания ванны для вариантов продувки через три сводовые фурмы и комбинированного верхне – донного дутья. Для комбинированной продувки вариант с расположением верхних фурм на уровне спокойной ванны оказался наиболее эффективным. Для этого варианта при подаче через дно около 20% дополнительного дутья интенсивность перемешивания, достигает интенсивности донной продувки при равенстве общих удельных расходов дутья.

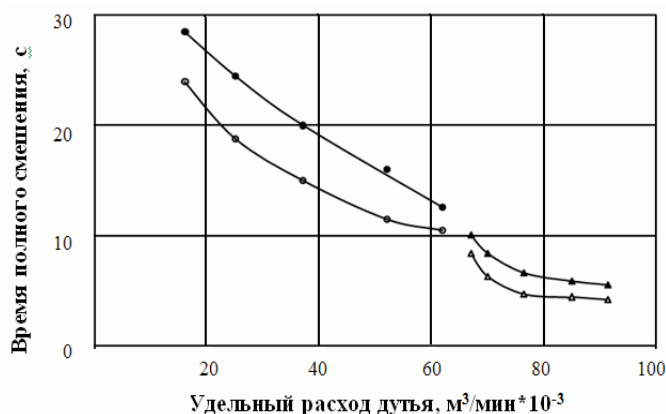


Рисунок 1 - Влияние расстояния между срезом сопла верхней фурмы и уровнем спокойной ванны (Нф) на время полного смешения (τ).

о,● - продувка сверху через три сводовые фурмы, Нф = 0 и -20 калибров соответственно; Δ,▲ - комбинированная верхне-донная продувка, Нф = 0 и -20 калибров соответственно.

С использованием экспериментальных значений времени полного смешения ванны для различных вариантов продувки оценены рассчитанные по τ величины эффективных коэффициентов диффузии вещества в жидкой ванне - E_{Σ} , характеризующие суммарное распределение вещества за счет конвекции и турбулентных пульсаций. Как показывает анализ известных уравнений [3], при критерии Фурье равном 0,30-0,35 процесс смешения жидкой ванны практически завершается. При расходе донного дополнительного дутья 15-20% от общего при комбинированной верхне-донной продувке жидкой ванны достигаются величины коэффициентов, характерные для чисто донной продувки 120 – 150 см²/с.

При изучении возникающих циркуляционных потоков, а также по характеру откликов на кривых смешения, установлено образование общих зон взаимодействия встречных струй, их размеры и положение в объеме жидкой ванны определяется соотношением интенсивностей продувки сверху и снизу.

Для комбинированного варианта продувки характерно усиление турбулентности приповерхностных участков ванны с относительно равномерным подъемом уровня ванны без значительных выбросов и более высокая скорость конвективных потоков нисходящей части циркуляционного контура.

Можно предположить, что в режиме продувки мартеновской ванны комбинированным способом продукты реакции окисления примесей, благодаря тормозящему эффекту взаимодействия встречных струй, могут более полно использовать свой окислительный потенциал в объеме ванны. Для верхне-донной встречной продувки при расположении верхних фурм на уровне спокойной ванны получена следующая универсальная зависимость времени полного смешения ванны от интенсивности продувки $\tau = 3,64 \cdot q - 0,42$.

Анализ полученных результатов холодного моделирования дает основание предположить, что наиболее рациональным, обеспечивающим максимальные скорости перемещения жидкой фазы и минимальное время полного смешения, является вариант комбинированной встречной продувки. Эти результаты подтверждают данные полу-

ченные и для условий продувки конвертерной ванны [4].

Основываясь на результатах холодного моделирования, подтверждающих эффективность комбинированной встречной верхне-донной продувки, проведены исследования на высокотемпературной 30 кг модели ванны мартеновской печи.

Учитывая сложности высокотемпературного моделирования, в работе ограничились только изучением процесса выплавки стали периода продувки жидкой металлической ванны.

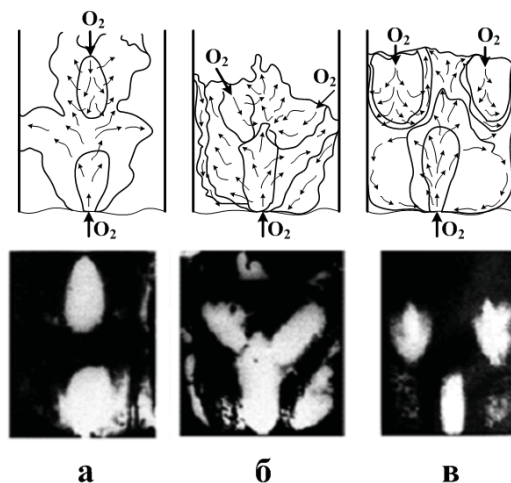


Рисунок 2 - Фотокопии и схемы взаимодействия кислородных струй с железоуглеродистым расплавом [$C=1\%$] при комбинированной продувке: а - $Q_{в}/q_{д} = 30 \cdot 10^{-3} / 10 \cdot 10^{-3}$ м³/мин; б - $Q_{в\Sigma} / q_{д} = 40 \cdot 10^{-3} / 12 \cdot 10^{-3}$ м³/мин, $n_{в} = 2$, $n_{д} = 1$, $H_{ф} = 0$; в - $Q_{в\Sigma} / q_{д} = 30 \cdot 10^{-3} / 10 \cdot 10^{-3}$ м³/мин, $n_{в} = 2$, $n_{д} = 1$, $H_{ф} = 0$

Фотокопии взаимодействия реакционных зон верхнего и донного кислородного дутья, полученные при продувке железоуглеродистого расплава по методике с использованием прозрачной кварцевой стенки [5], представлен на рис. 2.

Характер взаимодействия реакционных зон при комбинированной продувке железоуглеродистого расплава и анализ кино – материалов подтверждает рациональность использования соосной комбинированной продувки металлической ванны.

Сравнительную опытную плавку на модели мартеновской печи проводили с подачей газообразного кислорода только через верхние сводовые фурмы при прочих равных условиях. На основании рассчитанного теплового баланса плавки, с учетом теплоты реакций окисления примесей металла, подача природного газа в рабочее простран-

ство печи в период окислительной продувки не осуществлялась.

Выводы. Уточнены особенности взаимодействия дутья с металлической ванной при различных способах подвода и размещения продувочных устройств. Определено их влияние на основные показатели процесса.

При комбинированной продувке достигается более раннее образование активного основного жидкоподвижного шлака, спокойный ход плавки без значительных выбросов металлической фазы. Дополнительная продувка снизу аргоном ускоряет в 2 – 3 раза снятие переокисленности металла в результате локального накопления кислорода в объеме ванны. Совмещение периода «чистого» кипения с интенсивным окислением примесей кислородным дутьем с достижением более интенсивного перемешивания ванны дают основание считать процесс комбинированной продувки ванны эффективным, позволяющим сократить длительность плавки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марков Б.Л. Методы продувки мартеновской ванны. - М.: Металлургия, 1975. - 279с.
2. Смирнов А.Н., Салмаш И.Н., Ошовская Е.В. И др. Изучение процессов перемешивания стали в ковше при помощи физического и математического моделирования // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2006. - №7. – С. 37-42.
3. Лыков А.В. Теплообмен. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
4. Просвирин К.С., Мешалкин А.П., Охотский В.Б. Закономерности перемешивания конвертерной ванны // *Изв. ВУЗов. Черная металлургия.* – 1989. - №10. – С. 16-19.
5. Изучение процесса выгорания углерода с помощью кино съемки. Сообщение 2 / В.Б. Охотский, А.Г. Чернятевич, К.С. Просвирин [и др.] // *Изв. ВУЗов. Черная металлургия.* – 1973. - №11. – С.18-20.