

Short maintenance of lectures and Decision of XIV of the International scientific and technical conference "Theory and practice of steel-smelting processes", held in September, 2010 in Dnipropetrovsk (Ukraine) were presented.

steelmaking, oxygen, converter, hearth-open production, ladle furnace treatment of cast-iron, secondary metallurgy of steel, continuous pouring, casting-rolling modules

Поступила 11.11.10

УДК 669.17.046: 001.891.573

**В. П. Пиптюк, В. Ф. Поляков, С. Е. Самохвалов*, С. В. Греков,
Е. Н. Дымченко**, Р. Р. Гнып***

Институт черной металлургии НАН Украины, Днепропетровск

* Днепродзержинский государственный технический университет, Днепродзержинск

** ОАО «Енакиевский металлургический завод», Енакиево

Влияние некоторых факторов на перемешивание расплава при его обработке на установке ковш-печь средней мощности

Приведены результаты численного исследования влияния конструктивно-компоновочных и технологических факторов на перемешивание расплава при его обработке на установке ковш-печь переменного тока средней мощности.

Ключевые слова: установка ковш-печь, продолжительность перемешивания расплава, расход аргона, конусность ванны, расположение фурм, масса плавки

Введение.

Несмотря на значительное число публикаций о механизме плавления твердой добавки и ее гомогенизации в железоуглеродистом расплаве, эти процессы остаются недостаточно изученными, а имеющаяся информация по данному вопросу в ряде случаев противоречива и требует уточнения. Из ранее опубликованных работ [1, 2] известно влияние условий перемешивания расплава в ковше на эффективность вводимых добавок. В то же время характер перемешивания расплава в этих работах определен без учета ряда конструктивных и технологических факторов, воздействие которых существенно. Например, для равномерной продувки расплава через две фурмы (25-300 л/мин) на установке ковш-печь (УКП) средней мощности (25 МВ·А) с ковшем вместимостью 140 т выявлена зависимость массопереноса от расположения донного продувочного узла в цилиндрической ванне [3-5]. К числу ранее не учтенных параметров также относятся конусность ванны ковша, режим (равномерный, дифференцированный, через одну фурму) и интенсивность продувки аргоном,

масса плавки, радиус расположения и угол между фурмами.

Цель работы. Цель настоящих исследований – изучение влияния вышеуказанных конструктивных и технологических факторов на параметры и характер нестационарного и квазистационарного массопереноса, а также продолжительность перемешивания расплава при обработке на УКП переменного тока средней мощности.

Метод и объект исследования. Исследования осуществляли методом моделирования с использованием разработанной в ДГТУ усовершенствованной трехмерной математической модели массопереноса [6], адаптированной к УКП такого типа и мощности (по исходным данным ИЧМ [7]). В качестве объекта исследования рассматривали УКП конструкции Новокраматорского машиностроительного завода (НКМЗ), эксплуатируемые в условиях ЕМЗ. Для оценки влияния переменных факторов полученные результаты сравнивали с базовым вариантом (масса металла $Q = 140$ т; конусность ванны ковша $K_k = 2,8^\circ$; радиус расположения продувочного блока R_ϕ из двух фурм

на удалении $0,59R_{\text{дн}}$, где $R_{\text{дн}}$ – радиус днища ковша; угол между фурмами $\angle\phi - 120^\circ$; отношение высоты металла в ковше H_m к диаметру его днища $D_{\text{дн}} - 0,94$ технологии обработки расплава на УКП при расходе аргона от 50 до 1200 л/мин на ковш.

В отличие от применяемой ранее программы с расчетной областью на половину ковша в данной работе вели расчет на весь объем ковшовой ванны. Использовали также дифференцированные коэффициенты турбулентности и другие усовершенствования. Сопоставлением ранее полученных данных по «старой» и «новой» программам не выявлено принципиальных отличий, а имеющиеся объяснены изменением граничных условий. В дополнение к уже использованным характеристикам массопереноса [3-5] применили максимальные средние по высоте ванны значения вертикальной составляющей скорости потоков расплава и продолжительность его перемешивания ($\tau_{\text{уср}}$).

Значение $\tau_{\text{уср}}$ определяли по длительности усреднения добавки, вводимой в центр поверхности ванны, до точности анализа ведущего химического элемента.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ качественной картины квазистационарного перемешивания расплава базового варианта обработки на УКП для равномерного (режим 1: расход аргона через каждую фурму Φ_1 и Φ_2 составлял 100 л/мин), дифференцированного (режим 2: расход аргона через фурмы Φ_1 и Φ_2 составлял 150 и 50 л/мин соответственно) или однофурменного (режимы 3 или 4: расход через фурмы Φ_1 и Φ_2 составлял 200 и 0 или 0 и 200 л/мин соответственно) режимов продувки осуществляли по полям скоростей в вертикальных осевых сечениях ванны, проходящих через отверстия для ввода кусковых (К) и проволочно-порошковых (П) добавок.

Установлено преобладание нисходящих потоков по оси ввода П-добавок для 1, 2 и 3 режимов продувки и по оси ввода К-добавок для 3 режима. Восходящие потоки наблюдались только по оси ввода К-добавок для 1, 2 и 4 режимов.

Для подтверждения полученных результатов при аналогичных условиях осуществили оценку скорости потоков, формирующихся в нестационарный период перемешивания расплава. На рис. 1 представлены значения скорости потоков разной направленности по высоте ванны и по осям ввода К- и П-добавок в разные моменты времени от начала продувки.

Значения вертикальной составляющей скорости потоков расплава и другие графически представленные параметры приведены в виде соотношения расчетной их величины к максимальной для соответствующего варианта.

В начальный (нестационарный) период массопереноса в ванне над фурмами формируются зоны восходящих потоков расплава. С увеличением продолжительности продувки они расширяются и появляются зоны нисходящих потоков, сначала в межфурменном пространстве, а затем и в периферийной части ванны. При этом с увеличением продолжительности продувки и вплоть до сформированного квазистационарного перемешивания скорости нисходящих потоков возрастают, а восходящих – снижаются независимо от ванны УКП рассмотренных режимов.

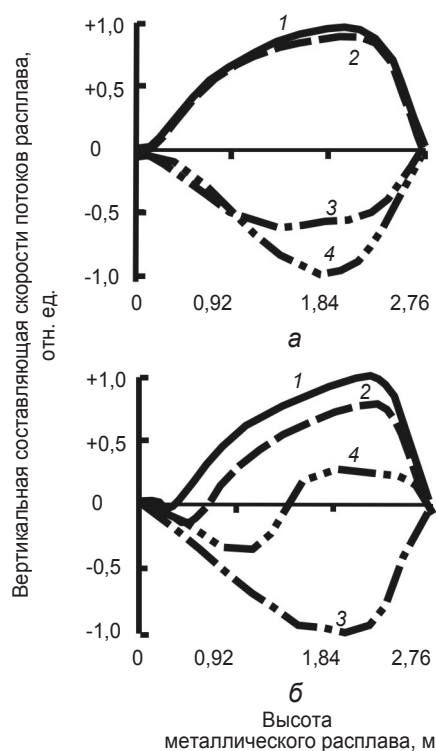


Рис. 1. Характеристика формирования потоков расплава по осям ввода К- (1, 2) и П- добавок (3, 4) в начале продувки (а – режим 1; б – режим 4); время от начала продувки, с: 1, 3 – 20; 2, 4 – 5

При продувке через одну фурму по режиму 3 (в отличие от режима 4) в зонах ввода К- и П-добавок формируются нисходящие потоки, которые с большими (по модулю) значениями скорости сохраняются в квазистационарном состоянии.

Представленные выше и другие имеющиеся результаты исследования сопоставимы с зарубежными данными [8] как по характеру формирования потоков, так и по величине оценочных параметров.

Результаты исследования влияния конусности футеровки ковшовой ванны на перемешивание расплава представлены на рис. 2. Установлено преобладающее влияние интенсивности продувки ванны на продолжительность перемешивания расплава. Увеличение расхода аргона в исследованном интервале независимо от режима продувки обеспечивает повышение скорости потоков противоположной направленности и сокращение продолжительности перемешивания расплава.

Что касается конусности ванны, то возрастание этого параметра в диапазоне расходов аргона от минимальных значений до 500-600 л/мин на ковш для представленного режима в целом способствует уменьшению скорости потоков на 5 %. Дальнейшее увеличение расхода газа (свыше 600 л/мин на ковш) в меньшей мере изменяет скорости потоков, а влияние конусности практически не проявляется. Изменение конусности ванны от 0 до $5,5^\circ$ во всем диапазоне расходов аргона сокращает продолжительность перемешивания в среднем на 15 % независимо от режима продувки. Влияние конусности и интенсивности продувки на продолжительность перемешивания расплава наиболее значительно в диапазоне расходов аргона от минимальных до 500-600 л/мин на ковш.

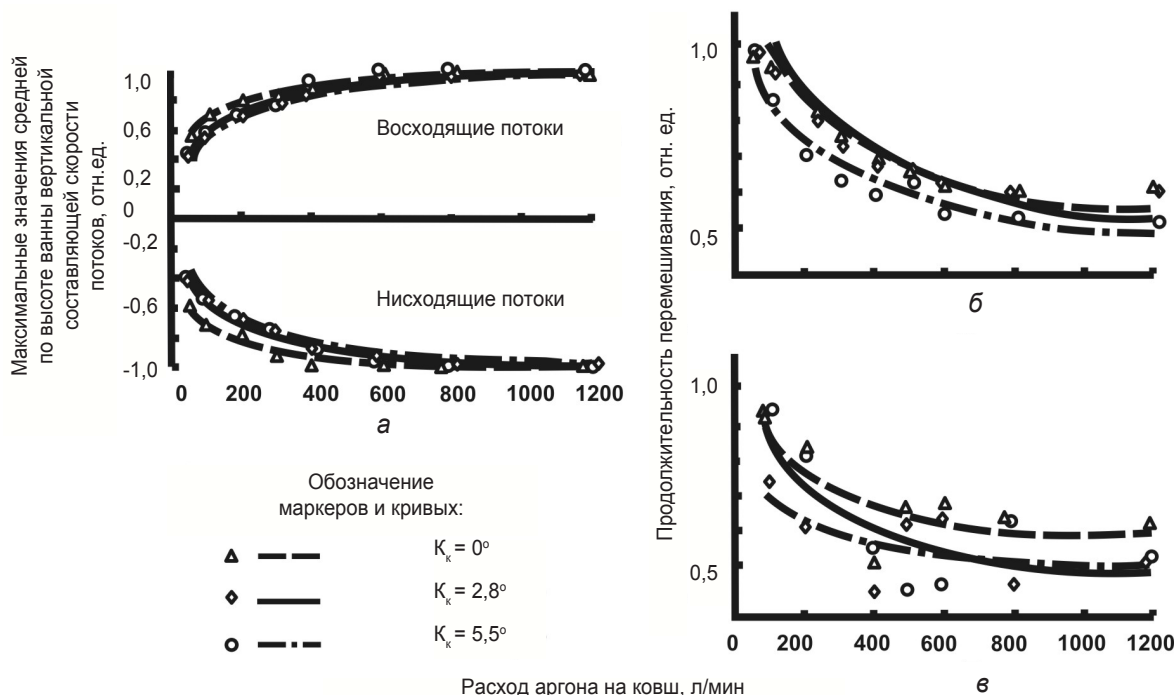


Рис. 2. Влияние конусности ванны ковш на параметры перемешивания расплава при разных режимах продувки: а – скорость потоков для режима 1; б – $\tau_{\text{уср}}$ для режима 1; в – $\tau_{\text{уср}}$ для режима 2

Оценка воздействия переменных факторов на изменение (положительные значения – увеличение, отрицательные – уменьшение) продолжительности перемешивания расплава в сопоставлении с базовым вариантом (режим 1) представлена на рис. 3. На рис. 3, а приведено влияние K_k (0° – светлые столбцы, $5,5^\circ$ – темные) для $Q = 140$ т при $H_M/D_{\text{дн}} = 0,89$ ($K_k = 0^\circ$) и $0,98$ ($K_k = 5,5^\circ$), $\angle\phi = 120^\circ$. Рис. 3, б характеризует влияние $\angle\phi$ (60° – светлые столбцы, и 180° – темные) для $Q = 140$ т при $H_M/D_{\text{дн}} = 0,94$, $K_k = 2,8^\circ$. Влияние Q (126 – светлые столбцы, 154 т – темные) для $K_k = 2,8^\circ$ и $\angle\phi = 120^\circ$ при $H_M/D_{\text{дн}} = 0,84$ (126 т) и $1,03$ (154 т) представлено на рис. 3, в.

Установлено, что цилиндрическая форма ванны (рис. 3, а) практически не изменяет продолжительности перемешивания расплава, а увеличение конусности ванны до $5,5^\circ$ способствует, как указано выше, ее сокращению. На рис. 3, б показано влияние разного угла между фурмами на изменение указанного параметра. Уменьшение $\angle\phi$ до 60° или его увеличение до 180° приводит к сокращению продолжительности перемешивания расплава приблизительно

но на 30–40 %. Уменьшение (на 10 %) массы плавки повышает продолжительность на 5–10 %, а увеличение (на 10 %) – понижает приблизительно на 25 % (рис. 3, в). При этом характер влияния рассмотренных факторов в целом не зависит от интенсивности продувки ванны аргоном.

Исследовано также влияние радиуса расположения продувочного блока (для каждого рассмотренного угла между фурмами) на изменение продолжительности перемешивания расплава в аналогичном интервале расходов аргона.

Результатами исследований установлено, что удаление фурм от центра ковш увеличивает продолжительность перемешивания независимо от угла между ними, а приближение – сокращает величину $\tau_{\text{уср}}$. Наиболее существенное уменьшение этого параметра (в среднем на 15 %) наблюдается при расположении фурм на $0,5R_{\text{дн}}$ под углом 120° . Другие варианты их расположения ($0,5R_{\text{дн}}$ с $\angle\phi = 60^\circ, 180^\circ$ и $0,7R_{\text{дн}}$ с $\angle\phi = 60^\circ, 120^\circ$ и 180°) в целом увеличивают продолжительность перемешивания расплава по сравнению с базовым вариантом.

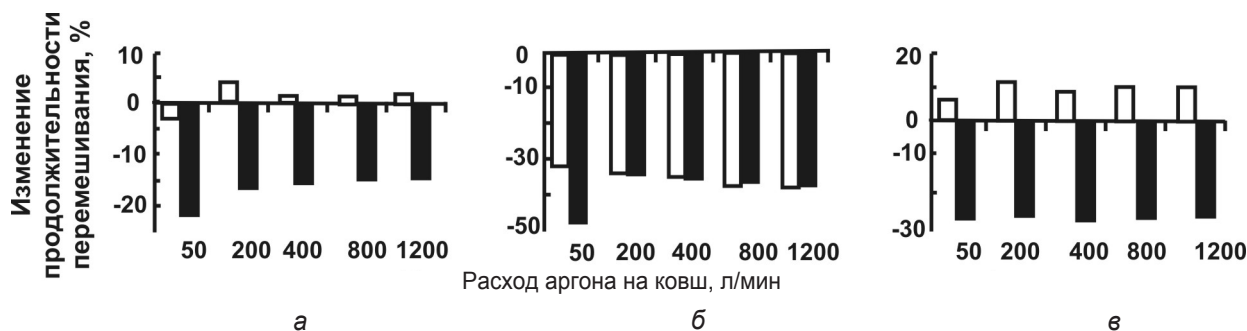


Рис. 3. Изменение продолжительности перемешивания расплава в зависимости от влияния переменных факторов: а – конусность ванны; б – угол между фурмами; в – масса плавки

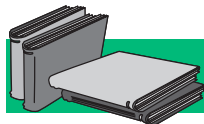
Сопоставление результатов настоящих исследований с данными статьи [9] подтверждает преобладающее влияние расхода аргона на перемешивание расплава в условиях обработки на УКП.

Выводы

Подтверждено преобладающее воздействие интенсивности продувки на характер и продолжитель-

ность перемешивания расплава при обработке на УКП средней мощности (25 МВ·А).

Оценена степень влияния конусности ванны, угла между фурмами и радиуса их расположения в днище ковша, а также массы обрабатываемого металла на изменение параметров перемешивания металлической ванны: скорость потоков расплава и продолжительность перемешивания ($\tau_{\text{уср}}$).



ЛИТЕРАТУРА

1. Линденберг Х. У. Вклад металлургических исследований в повышение качества на примере производственного цикла «ковшевая металлургия – непрерывное литье» // Черн. металлы. – 1999. – № 10. – С. 18-25.
2. Вихлевщук В. А., Харахулах В. С., Бродский С. С. Ковшевая доводка стали. – Днепропетровск: Системные технологии, 2000. – 190 с.
3. Массо- и теплоперенос в 140-т установке ковш-печь переменного тока / В. П. Пиптюк, С. Е. Самохвалов, И. А. Павлюченков и др. // Сталь. – 2007. – № 11. – С. 46-50.
4. Гидродинамика металлической ванны на установках ковш-печь переменного и постоянного тока / В. П. Пиптюк, С. Е. Самохвалов, И. А. Павлюченков и др. // Металл и литье Украины. – 2008. – № 7-8. – С. 32-37.
5. Исследование тепло- и массообмена в ваннах установок ковш-печь с целью повышения эффективности их использования / В. П. Пиптюк, В. Ф. Поляков, С. Е. Самохвалов и др. // Электрометаллургия. – 2008. – № 10. – С. 10-17.
6. Влияние постоянного тока на характер массопереноса в металлическом расплаве установки ковш-печь. Ч. 2. Модель массопереноса / В. П. Пиптюк, С. Е. Самохвалов, И. А. Павлюченков и др. // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 4-5, – С.14-17.
7. Исходные данные для моделирования массопереноса в ванне установки ковш-печь переменного и постоянного тока / В. П. Пиптюк, В. Ф. Поляков, И. А. Павлюченков и др. // Процессы литья. – 2007. – № 6. – С.18-23.
8. Transient Flow and Mixing in Steelmaking Ladles during the Initial Period of Gas Stirring / D. Mazumdar, R. Yadav, B. B. Mahate // ISIJ International. Vol. 42 (2002), – № 1. – P. 106-108.
9. Некоторые вопросы оценки интенсивности перемешивания при продувке металла в ковше инертным газом. Сообщение 2 / Н. А. Смирнов, Е. В. Ошовская, И. Н. Салмаш и др. // Процессы литья. – 2008. – № 5. – С. 30-35.

Анотація

Піптюк В. П., Поляков В. Ф., Самохвалов С. Є., Греков С. В., Димченко Е. М., Гніп Р. Р.
Вплив деяких чинників на перемішування розплаву при обробці на установці ківш-піч середньої потужності

Наведено результати чисельного дослідження впливу конструктивно-компонувальних і технологічних чинників на перемішування розплаву при обробці його на установці ківш-піч змінного струму середньої потужності

Ключові слова

установка ківш-піч, тривалість перемішування розплаву, витрата аргону, конусність ванни, розташування фурм, маса плавки

Summary

Pypytjuk V., Polyakov V., Samokhvalov S., Grekov S., Dymchenko E., Hnyp R.
Influence of some factors on melt mixing during treatment on AC ladle furnace of middle power

The results of numerical researches of constructive layout and technological factors influence on melt mixing during treatment on AC ladle furnace of middle power are presented.

Keywords

ladle furnace, mixing time, argon flow rate, conicity of bath, bottom blowing plug location, heat size

Поступила 06.09.10