

УДК 669.17.046.517В:532:51.001.57

В.П. Пиптюк, С.Е. Самохвалов, В.Ф. Поляков, В.В. Моцный,
А.Г. Родь, С.Н. Павлов, В.А. Поляков, С.В. Греков

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ПРОДУВКИ НА УСТАНОВКЕ КОВШ-ПЕЧЬ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Аннотация. С помощью разработанных трехмерных математических моделей гидродинамики и тепло-, массообмена изучено влияние технологических режимов и интенсивности продувки с использованием верхней погружной фурмы на характер перемешивания ковшовой ванны при обработке расплава на УКП большой мощности.

УСТАНОВКА КОВШ-ПЕЧЬ, ДОННЫЙ ПРОДУВОЧНЫЙ УЗЕЛ, ПОГРУЖНАЯ ФУРМА, АРГОН, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

За допомогою розроблених трьохвимірних математичних моделей гідродинаміки та тепло-, масообміну досліджено вплив технологічних режимів та інтенсивності продувки з використанням верхньої погружної фурми на характер перемішування ковшової ванни при обробці розплаву на УКП великої потужності.
collected scientific papers.

Using developed three-dimensional mathematical models of hydrodynamics and heat-, mass-transfer influence of the technological conditions and intensity of blowing out with the use of emergency lance on character of mixing of ladle bath at treatment of melt on high-powered LF unit are researched.

Постановка задачи. Доводка металла по составу и температуре на установке ковш-печь (УКП) обеспечивается, в частности, за счет перемешивания расплава инертным газом, как правило аргоном. На УКП LF типа предусматривается продувка расплава подачей аргона через донный блок фурм. Однако, существующие на различных предприятиях системы подвода аргона к ковшу и конструкции продувочных фурм имеют недостатки. Поэтому, в совокупности с производственными условиями, периодически возникают аварийные ситуации. При этом невозможно обеспечить необходимое перемешивание расплава через донные фурмы. В таких случаях предусмотрено использование верхней погружной фурмы (П.Ф.).

В качестве объекта исследований рассмотрена эксплуатируемая с конца 2010 г. в условиях ККЦ ПАО “Днепропетровский металлургический комбинат им. Дзержинского” (ДМКД) однопозиционная УКП-250 (с ковшом вместимость 250 т) фирмы VAI Siemens с номинальной мощностью трансформатора 35 МВ·А. Анализом выборки паспортных данных плавов ККЦ за 2011 год установлено, что 40 % выплавленного металла обрабатывалось на УКП. При этом для 18 % плавов, проходящих через УКП, обработка расплава проводилась с использованием верхней погружной фурмы. В связи с ограниченностью литературных данных о гидродинамике расплава в ковше при комбинированной продувке через донные и верхнюю погружную фурму или только через погружную фурму исследования такой направленности представляют научный и практический интерес.

Цель работы. Численным методом с помощью последних версий ранее разработанных в Днепропетровском государственном техническом университете (ДГТУ) трехмерных математических моделей гидродинамики и тепло-, массообмена [1-3], реализованных в программной среде DELPHI, оценить условия перемешивания расплава в ковше вместимостью 250 т при обработке на УВП с использованием только верхней погружной фурмы, а также комбинированной продувки через П.Ф. и донные фурмы.

Основная часть. Принятым на ДМКД технологическим регламентом (ТИ 230-С456-10) допускается использование верхней погружной фурмы при слабом перемешивании металла (на максимально установленном расходе инертного газа), при отказе оборудования для донной продувки и в случае большого количества шлака на зеркале металла, когда невозможно оценить интенсивность перемешивания. В настоящих исследованиях рассмотрены как практически используемые, так и теоретически возможные варианты режимов перемешивания расплава аргоном с использованием П.Ф. и донных фурм. Геометрические размеры П.Ф. и ковша, компоновочные особенности ванны и другие данные, использованные в исследованиях, представлены в статье [4].

Влияние режимов продувки на характер перемешивания в разные периоды обработки определялось для диапазона расходов аргона от 0,02 до 1,0М, где М - принятый в исследованиях максимальный расход аргона на ковш (л/мин). Изучены следующие технологические варианты режимов продувки (рис. 1): продувка только через П.Ф. (1 а-б), режим с одной работающей фурмой (Ф1 или Ф2) и фиксировано через верхнюю погружную фурму (2 а-б), равномерная продувка через каждую из двух донных фурм и фиксировано через верхнюю погружную фурму (3а), а также дифференцированная продувка через каждую из 2-х донных фурм и фиксировано через верхнюю погружную фурму (3б).

Представленные на рис. 1 контурные диаграммы дают общее представление о характере распределения потоков для разных вариантов продувки расплава аргоном. При продувке расплава с использованием П.Ф. зоны восходящих потоков концентрируются в областях подачи газа, а нисходящих потоков – в противоположной стороне. Установлено, что характер движения расплава для соответствующих вариантов продувки совпадает с ранее определенным для ковшей большой емкостью с продувкой только через донные фурмы [3].

На рис.2 представлены поля скоростей расплава с нанесенными изолиниями результирующей скорости (м/с) в вертикальных сечениях ванны для разных вариантов продувки. Выявлено, что области с наибольшими скоростями потоков расположены в районе подачи максимального количества газа. Анализом представленных на рис. 2 и других полученных данных определено, что "зона действия" верхней погружной фурмы снижается при уменьшении глубины ее погружения, что сказывается на объеме расплава вовлекаемого в движение, среднюю скорость потоков и, в конечном итоге, на эффективность перемешивания.

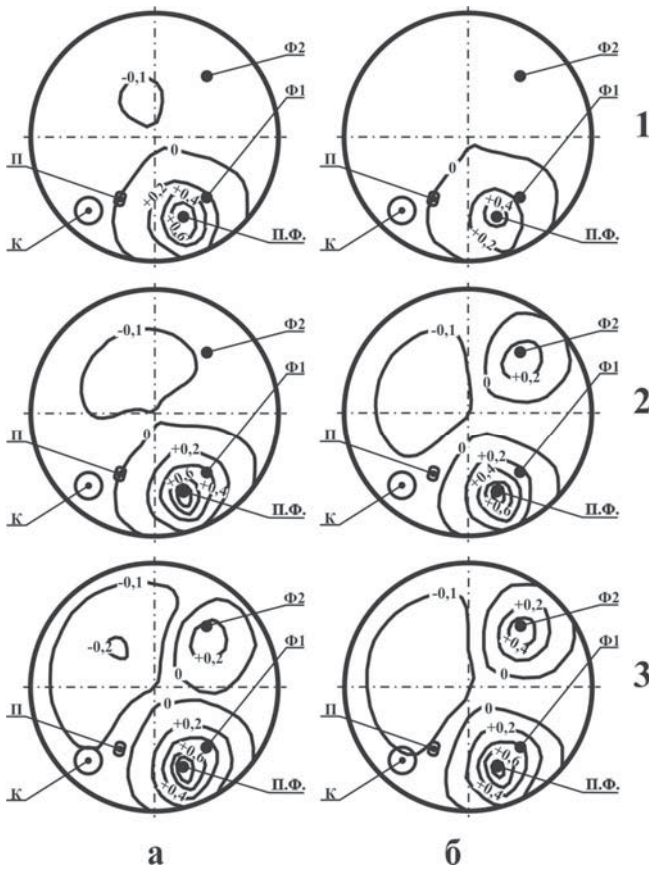


Рис. 1 - Зоны распределения усредненных значений вертикальной составляющей скорости потоков расплава на УКП-250 при подаче аргона с интенсивностью 0,32М л/мин через П.Ф. (1), погруженную на глубину 3,61 м (а) и 2,11 м (б); через донную фурму Ф1 - 0,04М л/мин и П.Ф. (3,61 м) - 0,32М л/мин (2а); через донную фурму Ф2 - 0,04М л/мин и П.Ф. (3,61 м) - 0,32М л/мин (2б); равномерно через две донные фурмы по 0,04М л/мин, а через П.Ф. (3,61 м) - 0,32М л/мин; дифференцированно через две донные фурмы: Ф1 - 0,02М л/мин, Ф2 - 0,08М л/мин и одновременно через П.Ф. (3,61 м) - 0,28 л/мин

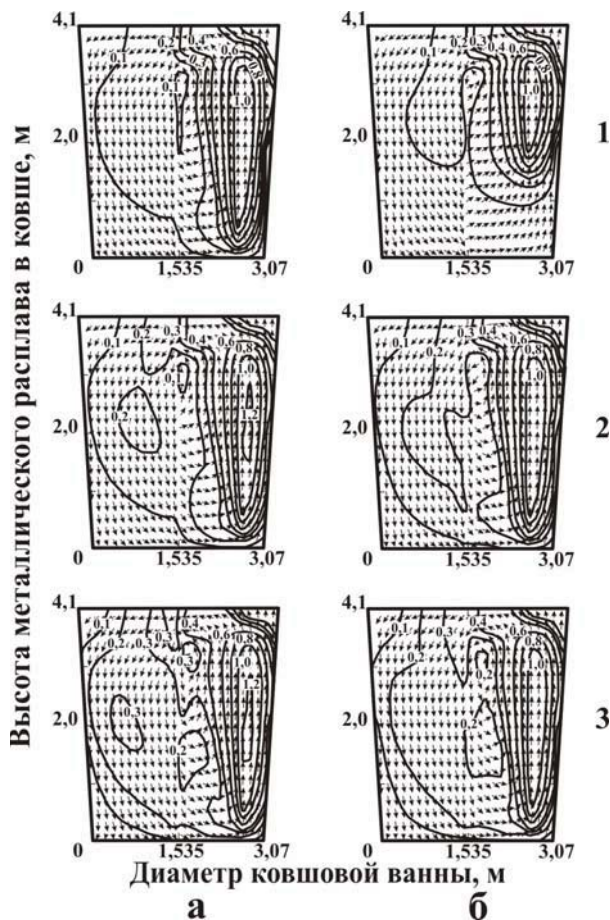


Рис. 2 - Поля скоростей потоков расплава с изолиниями результирующей скорости (м/с) в вертикальных сечениях ванны проходящих через место погружения верхней фурмы и ось ковша в квазистационарном состоянии перемешивания. Режимы продувки аналогичны рис. 1

Приведенные контурные диаграммы и поля скоростей дают лишь качественную оценку характера гидродинамики расплава. С целью количественной оценки влияния рассматриваемых вариантов продувки на эффективность перемешивания было проанализировано изменение продолжительности гомогенизации расплава по химическому составу и оценен объем застойных зон в зависимости от расхода аргона и вариантов продувки. Приведенные на рис. 3 – 6 графики изменение продолжительности гомогенизации представлены как отношение фактической величины к максимально возможной для группы рассматриваемых режимов. Такое представление анализируемого параметра связано с тем, что при практически постоянном характере его изменения относительно исследуемых факторов количественно он зависит от принятого в исследованиях показателя степени гомогенизации.

Приведенные на рис. 3а результаты иллюстрируют тот факт, что использование одной лишь верхней погружной фурмы не позволяет достичь такой же эффективности перемешивания как при продувке через донные фурмы. Кроме того, эффективность перемешивания при продувке через верхнюю погружную фурму в значительной степени зависит от глубины ее погружения (рис. 3б).

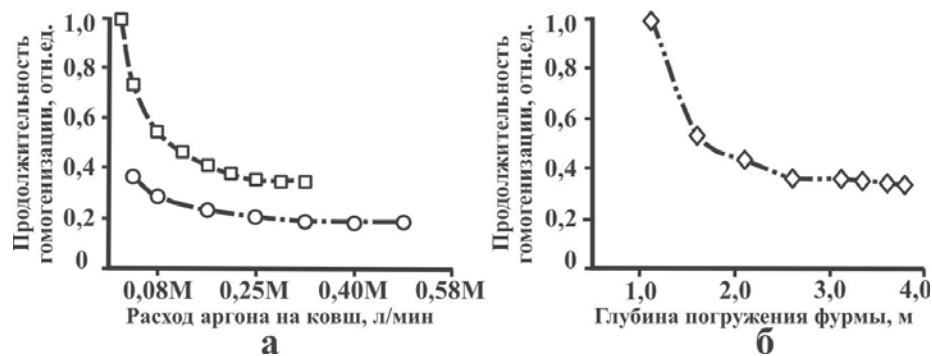


Рис. 3 - Изменение продолжительности гомогенизации в зависимости от расхода аргона (а) и глубины погружения верхней фурмы (б).

Режимы продувки: —□— - продувка через П.Ф.,
—○— - равномерно через донные фурмы,
—◇— - фиксированный расход через П.Ф. 0,32М

В случае равномерной продувки через донные фурмы и одновременной фиксированной продувки через верхнюю фурму, погруженную на глубину 3,61 м (рис. 4), при расходах аргона свыше 0,40М-0,48М л/мин на ковш наблюдается сокращение продолжительности гомогенизации до 21 % и объема застойных зон до 31 % отн. по сравнению с равномерной продувкой только через донные фурмы для соответствующих расходов аргона. Следует отметить, что при использовании дифференцированной подачи аргона через донные фурмы вместо равномерного режима и одновременной продувки сверху также возможно повышение эффективности усреднения, но в меньшей степени.

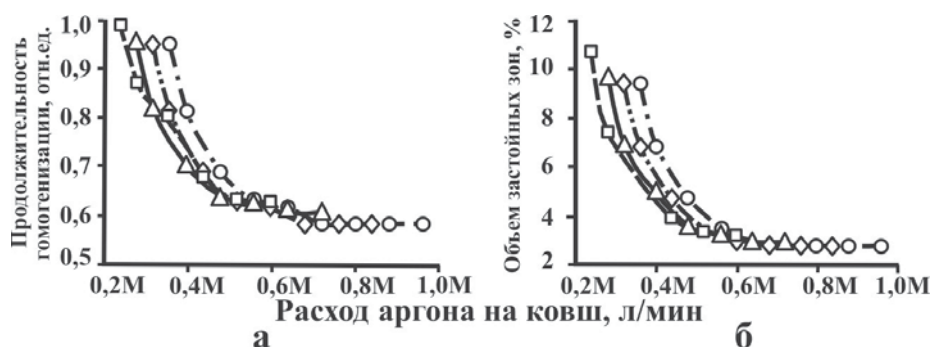


Рис. 4 - Изменение продолжительности гомогенизации расплава (а) и объема застойных зон (б) в зависимости от

расхода аргона при различных режимах продувки.

- П.Ф. - 0,2М л/мин, Ф1 и Ф2 равномерно от 0,02М до 0,2М;
- △— П.Ф. - 0,24М, Ф1 и Ф2 равномерно от 0,02М до 0,24М;
- ◇— П.Ф. - 0,28М, Ф1 и Ф2 равномерно от 0,02М до 0,28М;
- П.Ф. - 0,32М, Ф1 и Ф2 равномерно от 0,02М до 0,32М

Варианты продувки с использованием верхней погружной фурмы и одной из донных фурм (Ф1 или Ф2) являются менее эффективными по сравнению с равномерной продувкой только через донные фурмы. При продувке по варианту представленному на рис.5 усреднение расплава происходит на 61 % дольше, чем для соответствующих расходов аргона при равномерной продувке через донные фурмы.

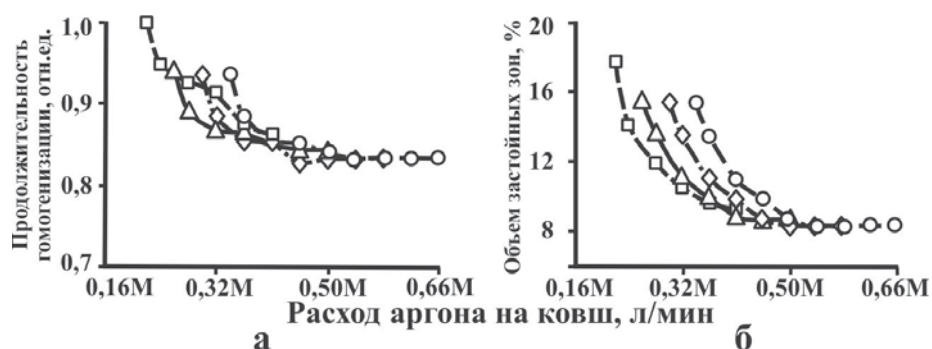


Рис. 5 – Изменение продолжительности гомогенизации расплава (а) и объема застойных зон (б) в зависимости от расхода аргона при различных режимах продувки. —□— П.Ф. - 0,20М и Ф1 от 0,02М до 0,20М;

- △— П.Ф. - 0,25М и Ф1 от 0,02М до 0,25М;
- ◇— П.Ф. - 0,28М и Ф1 от 0,02М до 0,28М;
- П.Ф. - 0,32М и Ф1 от 0,02М до 0,32М

Продувка через фурму Ф2 и П.Ф. с отношением расхода аргона приблизительно 1 к 2 характеризуется минимальными значениями продолжительности усреднения, которые все же на 8-10 % больше, чем при равномерной донной продувке. Увеличение расхода аргона через донную фурму свыше половины расхода через П.Ф. характеризуется увеличением продолжительности усреднения (рис. 6). Следует отметить, что для данного варианта продувки объем застойных зон изменяется аналогично продувке через П.Ф. и ближнюю донную фурму.

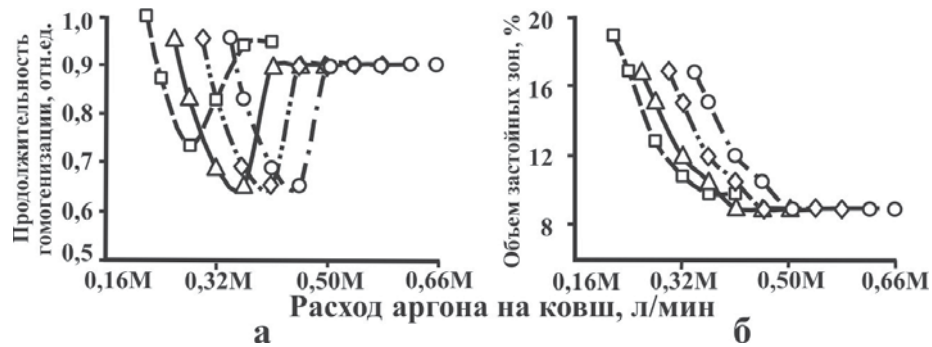


Рис. 6 – Изменение продолжительности гомогенизации расплава (а) и объема застойных зон (б) в зависимости от расхода аргона при различных режимах продувки.

- - П.Ф. - 0,20М и Ф2 от 0,02М до 0,20М;
- △— - П.Ф. - 0,25М и Ф2 от 0,02М до 0,25М;
- ◇— - П.Ф. - 0,28М и Ф2 от 0,02М до 0,28М;
- - П.Ф. - 0,32М и Ф2 от 0,02М до 0,32М

Выводы. Сопоставление полученных данных с результатами математического моделирования, выполненного в исследованиях [5], подтверждает значимость влияния продувки верхней погружной фурмой на характер движения и распределение потоков расплава.

Исследованиями гидродинамики расплава при доводке на УКП в ковше вместимостью 250 т определена возможность дополнительного, по сравнению с вариантом донной продувки, повышения эффективности перемешивания - сокращение продолжительности гомогенизации расплава и уменьшение объема застойных зон при использовании одновременной продувки через две донные фурмы и верхнюю погружную фурму. Аналогичный вывод получили авторы статьи [6] по результатам исследований, выполненных при холодном моделировании аналогичных технологических условий обработки расплава. Варианты продувки только верхней фурмой или погружной фурмой и одной донной фурмой являются менее эффективными. Показано, что для варианта продувки через донную фурму Ф2 и П.Ф. существуют явно выраженные рациональные режимы подачи аргона.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Исследование тепло-, массообменных процессов в ванне установки ковш-печь. Ч.1 Математическая модель / В.П.Пиптюк, С.Е.Самохвалов, И.А.Павлюченков и др. // Теория и практика металлургии. - 2008. - №3. - С.3-5.
3. Исследование гидродинамики 350-ти тонной ковшевой ванны при обработке стали на установке ковш-печь / В.П. Пиптюк, В.Ф. Поляков, С.Е. Самохвалов и др. // Металлург. - 2009. - №11. - С. 47-50.
4. Конструктивно-компоновочные и технологические параметры для численного исследования гидродинамики расплава при обработке на установке ковш-печь

мощностью 35 МВ·А / В.П. Пиптюк, И.Д. Буга, С.Е. Самохвалов, В.Ф. Поляков и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.: Сб. научн. тр. - Днепропетровск: ИЧМ. - 2010. - Вып.21. - С.133-137.

5. Костецкий Ю.В., Мач А.В., Прокофьев В.В. Численное моделирование движения жидкого металла в ковше при одновременной продувке через погружную фурму // Наукові праці ДонНТУ. Металургія. – 2010. - Випуск 12 (177). - С.120-129.

6. Моделирование продувки жидкой стали в ковше /Е.В. Штапура, Ю.И. Жаворонков, Б.М. Бойченко и др. // Бюллетень НТиЭИ "Черная металлургия". - 2009. - №5. - С. 43 - 46.

Отримано 16.12.2011 р.