
ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ, МЕХАНИЗАЦИИ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ

УДК 669.17.046.517В:669-154

В. П. Пиптюк, С. Е. Самохвалов*, В. В. Моцный,
В. А. Поляков, С. Н. Павлов, С. В. Греков**

Институт черной металлургии НАН Украины, Днепропетровск

* Днепродзержинский государственный технический университет,
Днепродзержинск

** ПАО «Днепровский металлургический комбинат им. Ф. Э. Дзержинского»,
Днепродзержинск

ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ РАСПЛАВА В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ КОВШОВОЙ ВАННЫ

Численным методом изучено тепловое состояние расплава в процессе доводки металла по температуре на установках ковш-печь большой мощности. Приведены результаты сравнительного исследования параметров теплового состояния ванны в ковшах емкостью 250 и 350 т в зависимости от вариантов продувки (сверху, одновременно сверху и снизу, в том числе через одну или две донные фурмы), расхода аргона, глубины погружения фурмы и режима нагрева. Выявлены рациональные значения переменных факторов, обеспечивающих минимизацию параметров, характеризующих тепловое состояние расплава. Установлена адекватность расчетных значений анализируемых параметров с аналогичными расчетными и экспериментальными параметрами по данным других авторов.

Ключевые слова: тепловое состояние, расплав, перемешивание, ковшовая ванна.

Чисельним методом вивчено тепловий стан розплаву в процесі доведення металу за температурою на установках ківш-піч великої потужності. Наведено результати порівняльного дослідження параметрів теплового стану ванни в ковшах місткістю 250 і 350 т в залежності від варіантів продувки (зверху, одночасно зверху і знизу, у тому числі через одну або дві донні фурми), витрати аргону, глибини занурення фурми і режиму нагріву. Виявлено раціональні значення змінних факторів, які забезпечують мінімізацію параметрів, що характеризують тепловий стан розплаву. Встановлено адекватність розрахункових значень параметрів, що аналізуються, з аналогічними розрахунковими та експериментальними параметрами по даним інших авторів.

Ключові слова: тепловий стан, розплав, перемішування, ківшова ванна.

By numerical method studied the thermal state of the melt in the process of fine-tuning the temperature of metal at the ladle furnace of high power. Shown the results of a comparative study of the parameters of the thermal state of the bath of a ladle of capacity 250 and 350 t, depending on the options purge (top, simultaneously above and below, including a through one or two benthic lance) argon flow rate, depth of immersion lance and heating mode. Identified the rational values the variable factors that ensures minimization of the parameters characterizing the thermal state of the melt. Assign adequacy of calculation values of analysable parameters is set with analogical calculation and experimental parameters from data of other authors.

Keywords: *heat conditions, melt, mixing, ladle bath.*

Состояние вопроса. Одним из условий осуществления процессов ковшовой обработки стали является перемешивание расплава. Проведение таких процессов предусматривает, как правило, использование продувки ванны инертным или нейтральным газом. При этом подачу газа проводят с помощью погружной или донной (ых) продувочных фурм. Особенности теплового состояния ванны в сталеразливочных ковшах емкостью 250 и 350 т при продувке расплава через донные фурмы рассмотрены в работах [1, 2]. Несмотря на то, что условия перемешивания расплава в ванне ковша при верхнем и комбинированном (одновременно сверху и снизу) вариантах продувки рассмотрены в статье [3], особенности его теплового состояния в зависимости от условий продувки остаются недостаточно изученными. В литературе ограниченно рассмотрены вопросы доводки металла по температуре на установках ковш-печь (УКП) с учетом использования вариантов продувки только через погружную фурму или одновременно и через донные фурмы. Поэтому исследование указанных процессов актуально, имеет научное и прикладное значение.

Цель и задачи исследования. Изучение теплового состояния расплава в ковшовой ванне в процессе доводки металла по температуре на УКП в зависимости от варианта и режимов продувки и нагрева.

Метод, объект и параметры исследования. В исследовании применяли численный метод. Использовали последние версии ранее разработанных трехмерных математических моделей гидродинамики и теплообмена, реализованных в программной среде DELPHI [4]. Объектами исследований служили двухпозиционные УКП с ковшом емкостью 350 т (УКП-350), эксплуатируемые на ПАО «МК «Азовсталь» и однопозиционная УКП с ковшом емкостью 250 т (УКП-250), эксплуатируемая на ПАО «ДМКД».

Ввиду того, что в практических условиях эксплуатации ковшей, наряду с традиционно предусмотренными технологией режимами продувки расплава через донные фурмы (Ф1 и Ф2) иногда используются режимы продувки через погружную (ПФ) или комбинированные через ПФ и донную (ые) Ф1 и (или) Ф2, изучили и такие варианты, включая возможность еще и дифференцированной подачи аргона через Ф1 и Ф2.

Рассмотрели режимы продувки в широком диапазоне расхода аргона от 0,015 до 1,0М, где 1,0М – выбранный максимальный расход аргона (л/мин) на ковш. Исследовали режимы нагрева со скоростью 1-1,1; 2-1,8; 3-2,8 и 4-3,8 °С/мин (УКП-350) и наиболее используемый режим нагрева 3,3 °С/мин (УКП-250). Проанализировали контурные диаграммы в трех горизонтальных сечениях ванны (верхнем – поверхностном, на половине высоты ванны и придонном). Оценили величину градиента температуры (ΔT) в объеме ванны и его изменение после 5 мин нагрева, а для УКП-350 этот параметр еще и в зависимости от глубины погружения продувочной фурмы (0,9-3,9 м относительно зеркала металла). Также определили продолжительность усреднения металла по температуре (τ).

Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 1 представлены результаты расчета ΔT и τ ванны УКП-350 после нагрева с разной мощностью при продувке

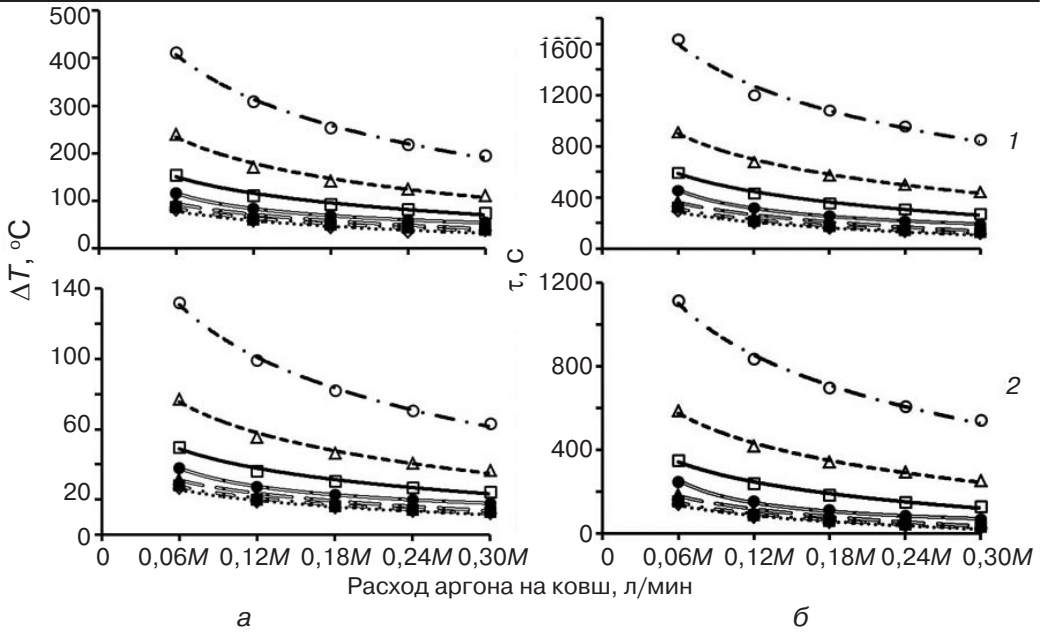


Рис. 1. Изменение ΔT (а) и τ (б) ковшовой ванны после нагрева режимами 1 (1, а, б) и 4 (2, а, б) при продувке ПФ, погруженной (м) на 0,9 (○, — · — · —); 1,4 (△, — — —); 1,9 (□, — — —); 2,4 (●, — — —); 2,9 (▲, — — —); 3,4 (■, — — —); 3,9 (◇, ······)

через ПФ, погруженную на разную глубину, с разной наиболее используемой интенсивностью.

Анализом результатов по контурным диаграммам (здесь не приведены) установили, что ΔT уменьшается с увеличением интенсивности продувки аргоном, увеличением глубины погружения ПФ и по мере снижения подводимой тепловой нагрузки. Наибольший ΔT (379,3 °C) находится в верхнем горизонте, наименьшей – в нижнем для вышеуказанных условий. Максимально продолжительное усреднение металла (τ) по температуре (1637 с \approx 29 мин) отмечено для вышеуказанного наибольшего значения ΔT . Получены также результаты и оценены факторы влияния на изменение ΔT и τ в зависимости от режимов продувки и нагрева (здесь не приведены).

Ниже показаны выборочные результаты исследования применительно к УКП-250. Анализ имеющихся данных о тепловом состоянии ванны в зависимости от режима продувки свидетельствует, в целом, о стабилизационном характере изменений ΔT и τ с повышением расхода аргона при неизменных параметрах нагрева. Установили (рис. 2), что наименьшее значение τ (в пределах 25-35 с) можно обеспечить при использовании совмещенной продувки через ПФ (от 0,18M) и равномерной продувки через Ф1 и Ф2 (0,12M на каждую). При этом значение ΔT после отключения модуля нагрева может находиться на уровне 20-25°C. Наихудшим из рассмотренных является вариант продувки только через ПФ (рис. 3). С точки зрения энергосбережения можно также рассматривать совмещенный режим продувки через ПФ (0,18M) с одновременной продувкой через Ф2 (0,06M). При таком режиме обеспечивается ΔT в пределах 35-40 °C, а величина τ находится на уровне 60 с.

На рис. 4 представлены результаты оценки влияния расхода аргона при продувке через ПФ и Ф1 на рассматриваемые параметры. Показано, что при использовании такого варианта продувки ванны после ее нагрева (хотя и обеспечивает ΔT на уровне 30-35°C) величина τ превышает значение этого параметра по сравнению с выше рассмотренным вариантом продувки и соответствует 70-75 с.

Анализ результатов оценки теплового состояния ковшовой ванны емкостью 250 и 350 т после завершения нагрева на УКП в зависимости от режимов продувки с

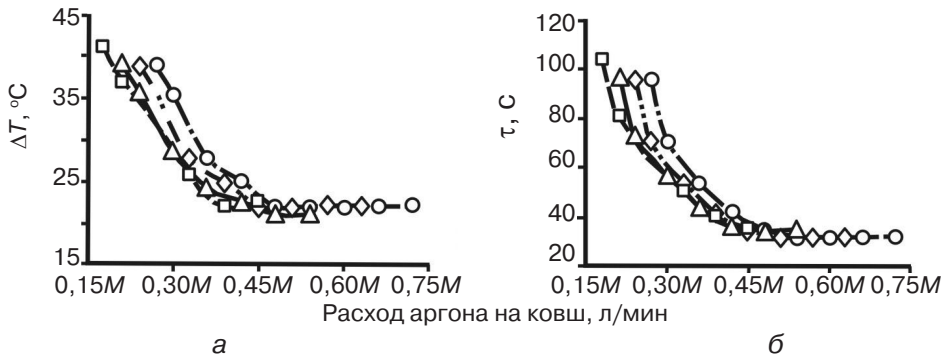


Рис. 2. Изменение ΔT (а) и τ (б) ковшовой ванны после нагрева со скоростью $3,3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ в зависимости от расхода аргона при разных режимах продувки: (—□—) – ПФ $0,15M$ и одновременно $\Phi 1$ и $\Phi 2$ равномерно от $0,015$ до $0,15 M$; (—△—) – ПФ $0,18M$ и одновременно $\Phi 1$ и $\Phi 2$ равномерно от $0,015$ до $0,18M$; (—◇—) – ПФ $0,21 M$ и одновременно $\Phi 1$ и $\Phi 2$ равномерно от $0,015$ до $0,21M$; (—○—) ПФ $0,24M$ и одновременно $\Phi 1$ и $\Phi 2$ равномерно от $0,015$ до $0,24M$

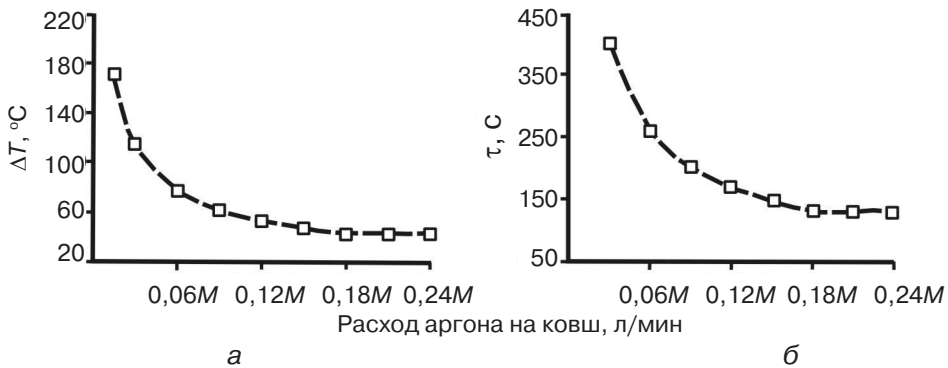


Рис. 3. Изменение ΔT (а) и τ (б) ковшовой ванны после нагрева в зависимости от расхода аргона только через ПФ

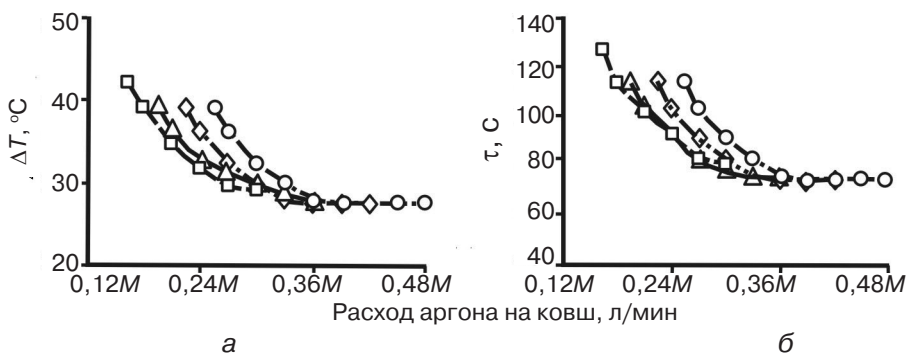


Рис. 4. Изменение ΔT (а) и τ (б) ковшовой ванны после нагрева в зависимости от разного расхода аргона через ПФ и одновременно $\Phi 1$: (—□—) – ПФ $0,15M$ и $\Phi 1$ – от $0,015$ до $0,15M$; (—△—) – ПФ $0,18M$ и $\Phi 1$ – от $0,015$ до $0,18M$; (—◇—) – ПФ $0,21M$ и $\Phi 1$ – от $0,015$ до $0,21M$; (—○—) – ПФ $0,24M$ и $\Phi 1$ от $0,015$ до $0,24M$

использованием только ПФ или (и) продувочных (Ф1 и Ф2) фурм, а также применяемых режимов нагрева свидетельствует о наличии закономерностей влияния рассмотренных факторов на тепловое состояние расплава. Причем такое влияние не зависит от масштабного фактора (разная емкость ковшей). Установили влияние расхода аргона, скорости нагрева и режима продувки на ΔT и τ при обработке расплава на УКП.

Проверку адекватности результатов расчета величины градиента температуры расплава в ванне ковша ΔT и продолжительности усреднения металла по температуре τ после завершения нагрева на УКП осуществили сопоставлением с расчетными и экспериментальными значениями аналогичных параметров, приведенными авторами работы [5]. Установили сходство и адекватность собственных результатов с результатами исследований параметров теплового состояния ковшовой ванны авторов указанной статьи.

Выводы

- Численно исследовано тепловое состояние ковшовой ванны емкостью 250 и 350 т при доводке металла по температуре на УКП в зависимости от режимов продувки и нагрева. Для перемешивания расплава при этом использованы только ПФ или (и) продувочные (Ф1 и Ф2 совместно или одну из них) фурмы.

- Наилучшие параметры теплового состояния ванны на УКП-250 достигнуты при совмещенной продувке через ПФ (от 0,18М) и равномерной продувке через Ф1 и Ф2 (от 0,12М на каждую) при фиксированном режиме нагрева со скоростью 3,3 °С/мин.

- Сокращению ΔT в ванне ковша при нагреве на УКП-350 способствует максимально возможная глубина погружения ПФ (до 3,9 м), а также использование исследованной 18-й ступени трансформатора, обеспечивающей скорость нагрева металла 3,8 °С/мин. Определено также, что для совмещенного режима продувки через ПФ и одну из фурм (Ф1 или Ф2) обеспечиваются лучшие параметры теплового состояния ванны при использовании фурмы Ф1.

- Установлена возможность использования ранее разработанных математических моделей для прогнозной оценки теплового состояния расплава в сталеразливочном ковше после нагрева на УКП в условиях комбинированной продувки ванны.



Список литературы

1. Изучение теплового состояния ванны установки ковш-печь / В. П. Пиптюк, В. Ф. Поляков, С. Е. Самохвалов и др. // *Металлург.* – 2011. – № 7. – С. 50-53.
2. Моделирование теплового состояния ковшовой доводки ванны установки ковш-печь мощностью 35 МВ·А / В. П. Пиптюк, С. Е. Самохвалов, В. Ф. Поляков и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – Днепропетровск: ИЧМ НАНУ, 2011. – Вып. 23. – С. 137-141.
3. Численное исследование режимов комбинированной продувки на установке ковш-печь большой мощности / В. П. Пиптюк, С. Е. Самохвалов, В. Ф. Поляков и др. // *Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії.* – Днепропетровск: НМетАУ, 2011. – С. 78-84.
4. Исследование гидродинамики 350-тонной ковшовой ванны при обработке стали на установке ковш-печь / В. П. Пиптюк, С. Е. Самохвалов, В. Ф. Поляков и др. // *Металлург.* – 2009. – № 11. – С. 47-50.
5. Овчинников Н. И., Щербаков В. А. Исследование теплообменных процессов в ковше установки типа АСЕА-СКФ // *Изв. вузов. Чер. металлургия.* – 1991. – № 7. – С. 24-27.

Поступила 18.03.2013