

УДК 669.17.046:51.001.57

**В.П.Пиптюк, С.Е.Самохвалов^{*}, И.А.Павлюченков^{*},
Е.Н.Дымченко^{**}, С.В.Греков, Р.Р.Гнып^{*}**

**ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ ВАННЫ КОВША ЕМКОСТЬЮ 140Т
ПРИ ОБРАБОТКЕ НА УКП**

*Институт черной металлургии НАН Украины,
Днепродзержинский государственный технический университет^{*},
ОАО «Енакиевский металлургический завод»^{**}*

Целью работы являлось изучение теплового состояния металлической ванны в ковше емкостью 140т при обработке на установке ковш–печь (УКП) переменного тока средней мощности (25МВ·А). Численное исследование осуществляли с использованием математического описания процессов тепло–, массообмена и гидродинамики расплава в ковше и соответствующих трехмерных математических моделей последних версий. Представлены результаты оценки теплового состояния металлической ванны (перепад температуры – ΔT , °С) для квазистационарных условий массопереноса в момент отключения электродугового нагрева и продолжительности гомогенизации металла по температуре ($\tau_{\text{гом}}$, с). Выявлены возможности сокращения ΔT , ($\tau_{\text{гом}}$, с) и обеспечения энергосбережения на этапе внепечной обработки стали.

Установка ковш–печь, тепловое состояние ванны, параметры, режимы нагрева и продувки, математическое моделирование.

Состояние вопроса. Результаты изучения теплового состояния ковшевой ванны емкостью 140т на УКП переменного тока, численно исследованного с помощью усовершенствованных трехмерных математических моделей тепло–, массообмена и гидродинамики [1, 2] и опубликованных исходных данных [3], представлены в статьях [4, 5]. Однако, в этих исследованиях используемая программа компьютерной реализации математического описания тепловых условий не учитывала важных, по мнению авторов, факторов влияния (конусность ванны, колеблемость массы плавки, конструктивное расположение донного двухфурменного продувочно-го блока, режимы продувки аргоном в широком диапазоне его расходов, регламенты нагрева расплава электродугой и т. д.). Кроме того, использование «старой» версии программы с принятыми допущениями, в ряде случаев, искажало результаты, а полученные при этом данные о состоянии ванны соответствовали приблизительно 10^{-01} секунде от начала продувки, т.е. нестационарным условиям массопереноса и, поэтому, давало ограниченное представление о характере, в частности, тепло–, массообмена в ванне. Поэтому требовалось уточнение ранее полученных данных с оценкой теплового состояния металлической ванны (ΔT) в момент отключения электродугового нагрева и определение $\tau_{\text{гом}}$ при обработке на УКП с использованием усовершенствованной программы.

Цель работы. Целью данной работы являлось изучение теплового состояния металлической ковшевой ванны при обработке на У КП переменного тока с учетом влияния новых дополнительных и ранее учтенных факторов, на параметры тепло-, массообмена и выявление возможности обеспечения энергосбережения на этом этапе внепечной обработки стали.

Обсуждение результатов исследования. Для уточнения ранее опубликованных результатов, характеризующих тепловое состояние ванны ковша цилиндрической формы, осуществили пересчет значений температуры металла в ванне, построение контурных диаграмм распределения температурных зон и определение ΔT в объеме ванны и в разных сечениях после отключения электродугового нагрева, а также оценили $\tau_{\text{гон}}^{\text{т}}$. Одновременно провели аналогичные исследования для конической формы ванны (конусность $2,8^\circ$). Исследования выполнили для аналогичных вышеуказанных условий продувки применительно к разной форме ванны. Номинальный режим продувки соответствовал $0,17M$, где M – максимально возможный расход аргона на ковш. Расположение продувочных фурм под углом 120° . Радиус удаления фурм (R_{Φ}) от центра днища ковша с радиусом $R_{\text{дн}}$ составлял $R_{\Phi}=0,6 R_{\text{дн}}$. Результаты исследований представлены на рис.1 и рис.2.

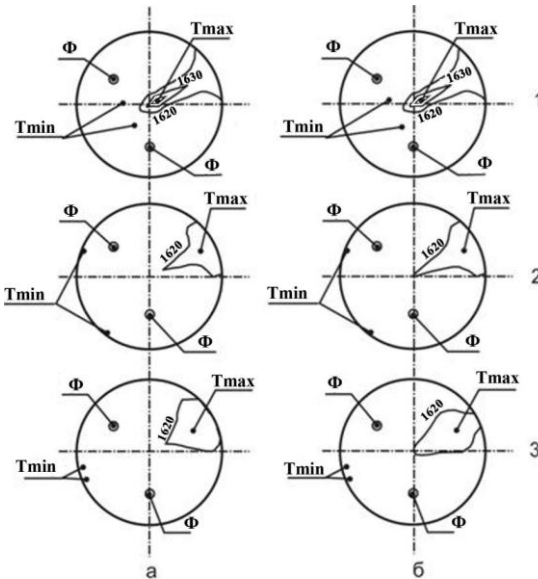


Рис.1. Зоны распределения температуры металла в ванне цилиндрической (а) и конической (б) формы после нагрева в течении 5–ти мин со скоростью $3,2^\circ\text{C}/\text{мин}$ при номинальном режиме продувки в горизонтальных сечениях: приповерхностном (1), на 0,5 высоты металла (2) и придонном (3). Обозначения: цифры на изолиниях – температура ($^\circ\text{C}$); T_{max} и T_{min} – место с максимальной и минимальной температурой соответственно; Φ – продувочная фурма.

Для цилиндрической формы ванны определен иной характер распределения температурных зон в донной части и на 0,5 ее высоты по сравнению с ранее полученными данными. Определен менее значительный пе-

репад температуры ($\Delta T = 32,0^{\circ}\text{C}$) в объеме ванны по сравнению с ранее полученным ($\Delta T = 76,3^{\circ}\text{C}$). При этом подтвержден ранее установленный характер распределения температуры по высоте ванны.

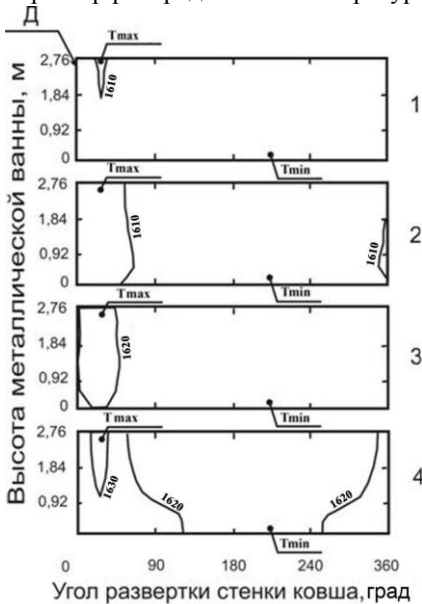


Рис.2. Зоны распределения температуры металла в слое расплава, прилегающем к боковым стенкам ковша конической формы, после нагрева в течение 5-ти мин со скоростью $1,2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ (1), $1,8^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ (2), $3,2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ (3) и $4,0^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ (4) при номинальном режиме продувки. Обозначения: Д – линия начала развертки; остальное – аналогично рис.1.

Установлено, что коническая форма ванны не оказывает влияния на изменение характера распределения температурных зон, но увеличивает перепад температуры в объеме ванны ($\Delta T = 37^{\circ}\text{C}$) и в горизонтальных сечениях по ее высоте. Кроме того, коническая ванна по сравнению с цилиндрической обеспечивает увеличение ΔT в объеме ванны на $2,0 - 6,2^{\circ}\text{C}$ в зависимости от подводимой электрической мощности.

С целью подтверждения результатов исследования (рис.1 и рис.2), применительно к ванне конической формы, представили расчетные параметры ΔT и $\tau_{\text{гом}}$ в зависимости от интенсивности продувки ванны аргоном и подводимой электрической мощности (таблица). Показано, что перепад температуры в разных горизонтах и в объеме металлической ванны при неизменной интенсивности продувки возрастает с увеличением подводимой электрической мощности. Увеличение интенсивности продувки при одинаковых значениях подводимой электрической мощности обеспечивает уменьшение перепада температуры в объеме ванны ковша и по горизонтам. Влияние рассмотренных факторов на изменение продолжительности гомогенизации металла по температуре имеет аналогичный характер.

Исследовано влияние указанных выше новых факторов на тепловое состояние ванны при равномерной подаче аргона через две фурмы в диапазоне расходов от 0,04М до М при разных значениях подводимой электрической мощности.

Таблица. Перепад температуры и продолжительность гомогенизации металла по температуре

Расход аргона на ковш, $\frac{\text{ед.объема}}{\text{ед.времени}}$	Подводимая электрическая мощность, МВт	Скорость нагрева, $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$	$\Delta T, ^{\circ}\text{C}$				$\tau_{\text{ГОМ}}, \text{C}$
			В горизонтальном слое:			В объеме ванны	
			Приповерхностном	На 0,5 высоты	Придонном		
0,17М	9,60	1,2	13,5	5,7	5,0	15,4	20
	10,15	1,8	19,0	7,8	7,2	21,6	37
	14,04	3,2	32,8	13,4	11,8	37,0	64
0,33М	16,44	4,0	40,3	16,3	14,4	45,4	77
0,50М			31,6	13,3	12,0	35,7	52
М			27,8	11,9	10,9	31,3	44
			27,0	11,7	10,7	30,6	42

Ниже (рис.3) представлены результаты изучения влияния некоторых из исследованных факторов на параметры теплового состояния ванны.

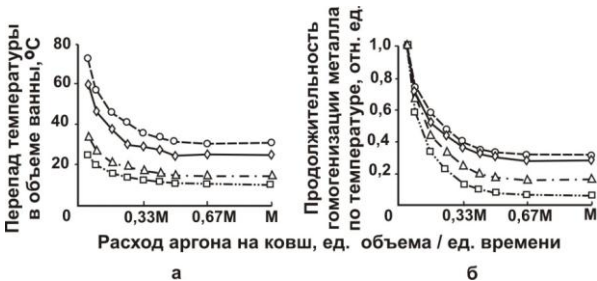


Рис.3. Изменение ΔT в объеме конической ванны (а) после нагрева длительностью 5 мин и $\tau_{\text{ГОМ}}$ в ковше конической формы (б) в зависимости от расхода аргона для разных режимов нагрева при подводимой электрической мощности 16,44 (—○—), 14,04 (—◇—), 10,15 (—△—) и 9,60 МВт (—■—). Обозначение: М – максимально исследуемый расход аргона на ковш.

Изменение перепада температуры металла в объеме ванны и продолжительности гомогенизации металла по температуре при обработке на УКП в зависимости от интенсивности продувки и величины подводимой электрической мощности имеет асимптотический характер. Увеличение

Изменение перепада температуры металла в объеме ванны и продолжительности гомогенизации металла по температуре при обработке на УКП в зависимости от интенсивности продувки и величины подводимой электрической мощности имеет асимптотический характер. Увеличение

интенсивности продувки свыше 0,33–0,42М на ковш не изменяет ΔT и $\tau_{\text{гом}}$ для соответствующих значений подводимой электрической мощности. Установлено преобладающее влияние расхода аргона на тепловое состояние ванны и продолжительность гомогенизации металла по температуре на У КП.

Заключение. С использованием усовершенствованных программ компьютерной реализации математических моделей тепло-, массообмена и гидродинамики металла при обработке на У КП переменного тока средней мощности (25МВ·А) исследовано тепловое состояние ковшевой ванны в момент отключения электродугового нагрева при квазистационарных условиях перемешивания расплава. Уточнены параметры теплового состояния металла в ковше цилиндрической формы. Установлены влияние конусности на перепад температуры в объеме и сечениях по высоте ванны ковша. Определена возможность уменьшения перепада температуры и сокращения продолжительности гомогенизации металла по температуре за счет изменения подводимой электрической мощности и интенсивности продувки. Выявлена целесообразность ограничения интенсивности продувки ванны до 0,33–0,42М для обеспечения энергосбережения без изменения условий перемешивания.

1. *Исследование* тепло-, массообменных процессов в ванне установки ковш-печь. Часть. 1 Математическая модель / В.П.Пиптюк, С.Е.Самохвалов, И.А.Павлюченков и др. // Теория и практика металлургии. – 2008. – №3. – С.3–5.
2. *Влияние* постоянного тока на характер массопереноса в металлическом расплаве установки ковш-печь. Часть 2. Модель массопереноса. / В.П.Пиптюк, С.Е.Самохвалов, И.А.Павлюченков и др. // Теория и практика металлургии. – 2007. – №4–5. – С.14–17.
3. *Параметры* моделирования тепловых процессов в ванне установки ковш-печь / В.П. Пиптюк, В.Ф. Поляков, С.Е. Самохвалов и др. // Процессы литья. – 2009. – №5. – С.34 – 41.
4. *Массо-,* теплоперенос в ванне емкостью 140т установки ковш-печь переменного тока / В.П.Пиптюк, С.Е.Самохвалов, И.А.Павлюченков, Д.Н.Турунов // Сталь. – 2007. – №11, – С.47–50.
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. 10–1.

Статья рекомендована к печати докт.техн.наук, проф. В.Ф.Поляковым

*В.П.Піптюк, С.Є.Самохвалов, І.О.Павлюченков, Є.М.Димченко,
С.В.Греков, Р.Р.Гнип*

Тепловий стан ванни ковша місткістю 140т при обробці на УКП

Метою роботи було вивчення теплового стану металеві ванни в ковші місткістю 140т при обробці на установці ківш-піч (УКП) змінного струму середньої потужності (25МВ·А). Чисельне дослідження здійснювали з використанням вдосконалених математичного опису процесів тепло-, масообміну і гідродинаміки розплаву в ковші і відповідних тривимірних математичних моделей останніх версій. Представлено результати оцінки теплового стану металеві ванни (перепад температури – ΔT , $^{\circ}\text{C}$) для квазістаціонарних умов масопереносу у момент відключення електродугового нагріву і тривалості гомогенізації металу по температурі ($\tau_{\text{гом}}$, с). Виявлено можливості скорочення ΔT , ($\tau_{\text{гом}}$, с) і забезпечення енергозбереження на етапі позапічної обробки стали.