

УДК 669.17.046:536.7.001.57

**В.П.Пиптюк, С.Е.Самохвалов, В.Ф.Поляков, В.В.Моцный,  
С.Н.Павлов, В.А.Кондрашкин, Ю.П.Махлай**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ КОВШЕВОЙ ВАННЫ УСТАНОВКИ КОВШ–ПЕЧЬ МОЩНОСТЬЮ 35 МВ·А**

*Институт черной металлургии НАН Украины (ИЧМ НАНУ),  
Днепродзержинский государственный технический университет (ДГТУ),  
ПАО Днепровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского (ДМКД)*

Приведены исходные данные для осуществления численных исследований тепловых процессов в металлической ванне установки ковш–печь (УКП) вместимостью 250 т. Показано, что перепад температуры металла в объеме ванны ковша в момент окончания обработки электрической дугой увеличивается с повышением интенсивности нагрева, а его величина определяется интенсивностью продувки и мощностью электрической дуги. Аналогичный характер влияния установлен на продолжительность гомогенизации металла по температуре.

**ковш–печь, перепад температуры металла, интенсивность нагрева**

**Состояние вопроса.** Особенностью УКП является возможность нагрева расплава электрической дугой, который осуществляется при одновременном перемешивании расплава. Ранее были рассмотрены особенности дугового нагрева в таких условиях [1], а также изучено тепловое состояние ковшовой ванны емкостью 350 т. Расширением начатых исследований является изучение теплового состояния металлической ванны установки ковш–печь вместимостью 250 т.

**Постановка задачи.** Исследование теплового состояния ковшовой ванны при обработке на УКП с учетом дугового нагрева проведено в ИЧМ НАНУ с помощью разработанных в ДГТУ трехмерных математических моделей гидродинамики и тепло–, массообмена [2,3], реализованных в программной среде DELPHI. В связи с тем, что дуговой нагрев осуществляется при одновременной донной подаче аргона, расчет режимов нагрева осуществляли для квазистационарных условий массопереноса (под квазистационарным или установившимся подразумевают такое состояние, при котором в каждой точке внутреннего пространства ковшовой ванны скорость течения металлического расплава остается постоянной во времени и является функцией только координат) с учетом равномерной (одинаковая для каждой из двух донных фурм) продувки ковшовой ванны аргоном с разной интенсивностью.

**Основные материалы работы.** В качестве объекта исследований рассмотрена эксплуатируемая в условиях кислородно–конвертерного цеха ПАО «ДМКД» однопозиционная УКП фирмы VAI Siemens с установленной мощностью трансформатора 35 МВ·А. Приведенные ниже энергосиловые параметры модуля нагрева УКП (табл.1) выбраны по паспортным и

фактическим (экспериментальным) данным или вычислены по известным зависимостям [4,5].

Геометрические размеры ковша, его компоновочные особенности, режимы продувки аргоном, использованные в исследованиях, представлены в статье [6]. В табл.2 приведены дополнительные исходные данные для расчета тепловых процессов в ковше при обработке на УКП.

Таблица 1. Основные энергосиловые параметры модуля нагрева УКП–250

Степень трансформатора	Полная мощность, МВ·А	Активная мощность, МВт	Сила тока, кА	Напряжение, В	Плотность тока, А/см <sup>2</sup>	cos φ	Длина дуги, мм	Диаметр электродов, мм	Диаметр распада электродов, мм
№3	28,9	21,1	53,06	315	26,19	0,73	97	508	950
№4	31,4	22,9	53,06	342	26,19	0,73	108		
№5	32,8	23,9	53,06	357	26,19	0,73	113		
№6	35,0	25,9	51,36	392	25,35	0,74	129		
№7	35,0	26,3	48,70	413	24,04	0,75	139		
№8	35,0	27,3	46,20	435	22,81	0,78	154		
№9	35,0	28,7	43,60	461	21,52	0,82	174		
№10	35,0	30,1	41,10	490	20,29	0,86	197		

Таблица 2. Дополнительные исходные данные для численных исследований тепловых процессов\*)

Масса плавки, т	Время обработки расплава на УКП, мин	
	Аргоном	Электрической дугой
244,4	51,5	19,4
218,5–269,0	6,0–97,0	5,0–33,3

\*) данные по режимам обработки на УКП обобщены для стали марки ОС за период с апреля 2010 г. по февраль 2011 г.

Экспериментальным путем был определен прирост температуры при нагреве на различных ступенях, что позволило оценить коэффициент усвоения электрической энергии расплавом по методике описанной в статье [1]. Результаты экспериментов и расчетов приведены в табл.3.

Численное исследование режимов нагрева осуществляли для условий равномерной продувки ковшовой ванны аргоном с интенсивностью от 100 до 2800 л/мин на ковш по нижеописанной схеме. В течении 5 минут осуществляется нагрев металла со скоростью, °С/мин: 3,9;3,3;2,5; 1,9 и 1,6 на 10, 9, 8, 7 и 6–ой ступенях трансформатора соответственно. Температура металла перед нагревом принята 1550°С. В данных исследованиях учитывалась существующая конусность (3,7°) футеровки сталеразливочного

ковша и практически используется вариант расположения продувочных узлов.

Таблица 3. Режимы нагрева и коэффициент усвоения электроэнергии при обработке стали на УКП–250

Ступень трансформатора	Активная мощность, МВт	Удельный расход эл. энергии, кВт·час/т·мин	Скорость нагрева по ВТИ, °С/мин	Фактическая скорость нагрева, °С/мин	Расход эл. энергии на нагрев 1 т стали на 1 °С, кВт·час	Коэффициент усвоения эл. энергии металлом, ПМЕ
№3	21,1	0,86	0,0	<0	–	–
№4	22,9	1,02	–*)	0–0,6	1,81	0,11
№5	23,9	1,08	1,5–1,7	1,2–1,3	0,91	0,26
№6	25,9	1,32	1,9–2,0	1,3–1,5	0,76	0,34
№7	26,3	1,37	2,2–2,5	1,7–2,2	0,70	0,32
№8**)	27,3	1,57	2,8–3,0	2,0–2,9	0,64	0,37
№9**)	28,7	1,67	3,2–3,4	3,2–3,5	0,53	0,44
№10	30,1	1,71	3,5–4,0	3,2–4,0	0,48	0,49

Примечание:

\*) – не указано в ВТИ.

\*\*\*) – наиболее часто используемая ступень.

Представленные на рис.1 контурные диаграммы, характеризуют тепловое состояние ванны УКП–250 после окончания нагрева металла по принятой схеме на наиболее часто используемых (8–ой и 9–ой) ступенях соответственно. Определено, что разница между максимальной и минимальной температурой в слоях металла снижается от поверхности ванны к днищу ковша и изменяется, в зависимости от исследуемых режимов продувки и нагрева, в поверхностном слое от 12,8 до 55,1<sup>0</sup>С, на половине высоты от 7,4 до 26,6<sup>0</sup>С и от 5,0 до 15,5<sup>0</sup>С в придонном слое.

На рис.2 представлены результаты исследования зависимости перепада температуры металла в объеме ковшовой ванны в момент окончания нагрева электрической дугой и продолжительности гомогенизации металла по температуре от расхода аргона при разной интенсивности нагрева.

Установлено, что перепад температуры в объеме металлической ванны имеет разную величину, которая зависит от режима нагрева и продувки. Перепад температуры металла в объеме ванны ковша после окончания обработки электродугой увеличивается с повышением скорости нагрева и понижением интенсивности продувки аргоном. Такой же характер влияния мощности нагрева и интенсивности продувки установлен на продолжительность гомогенизации расплава по температуре.

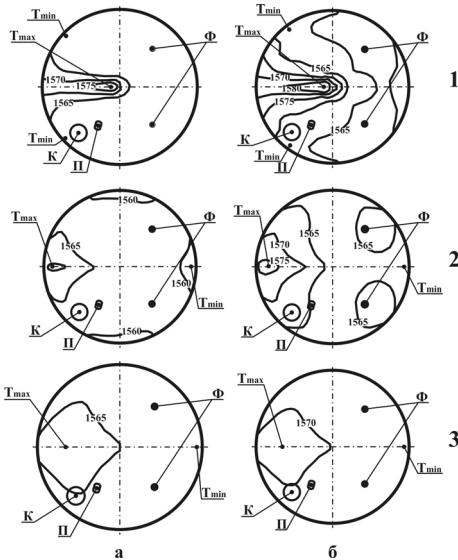


Рис. 1. Контурные диаграммы распределения температурных зон в ковшевой ванне УКП-250 после нагрева на 8-ой (а) и 9-ой (б) ступенях трансформатора при продувке аргоном с интенсивностью 200 л/мин на каждую из двух фурм в горизонтальных сечениях: приповерхностном (1), на 0,5 высоты (2) и в придонном (3). Цифры на изолиниях – значения температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ).  $T_{\min}$  и  $T_{\max}$  – точки с минимальными и максимальными значениями температуры расплава в слое. Ф, К и П – расположение фурм, мест ввода кусковых и проволочных добавок соответственно.

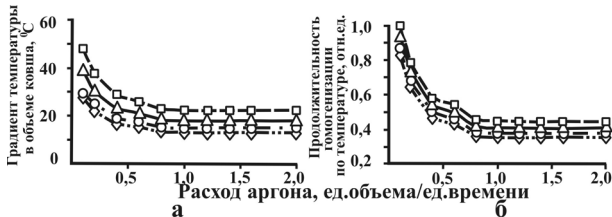


Рис. 2. Изменение перепада температуры металла в ковше (а) по окончании обработки электродугой и продолжительности гомогенизации металла по температуре в объеме ванны ковша (б) в зависимости от расхода аргона и интенсивности нагрева на УКП-250:  $\square$  – 3,3  $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ;  $\triangle$  – 2,5  $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ;  $\circ$  – 1,9  $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ;  $\diamond$  – 1,6  $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$

Адекватность численных исследований проверялась в промышленных условиях. Экспериментальным путем фиксировалась продолжительность усреднения расплава по температуре в ковше после окончания нагрева электродугой на УКП. Определена сходимость между расчетными и экспериментальными данными.

**Заключение.** Приведены основные исходные данные для адаптации ранее разработанной математической модели и исследования с ее помощью теплового состояния расплава в ковшевой ванне вместимостью 250 т при обработке на УКП переменного тока мощностью 35 МВ·А. Исследованиями определено, что перепад температуры металла в ванне снижается от поверхностной к донной ее части и зависит от интенсивности продувки и величины подводимой электрическими дугами мощности. Показано, что

перепад температури металла в об'ємі ванни ковша в момент закінчення обробки електричною дугою збільшується з підвищенням інтенсивності нагріву, а його величина визначається інтенсивністю продувки і підводимої електричеськими дугами потужністю. Аналогічний характер впливу встановлений на продовжителюність гомогенізації металу по температурі.

1. *Данні* для чисельного дослідження теплового стану ковшевої ванни великої ємності при обробці розплаву на УКП / В.П. Піптюк, В.Ф. Поляков, А.Б. Ковура і др. // Фундаментальні і прикладні проблеми чорної металургії.: Сб. научн. тр. – Дніпропетровськ: ІЧМ. – 2009. – Вип.19. – С.152–159.
2. *Вплив* постійного струму на характер масопереносу в металічному розплаві установки ковш–печь. Ч.2. Модель масопереносу / В.П. Піптюк, С.Е. Самохвалов, І.А. Павлюченков і др. // Теорія і практика металургії. – 2007. – №4–5. – С.14–17.
3. *Дослідження* тепло–, масообмінних процесів в ванні установки ковш–печь. Ч.1 Математична модель / В.П.Піптюк, С.Е.Самохвалов, І.А.Павлюченков і др. // Теорія і практика металургії. – 2008. – №3. – С.3–5.
4. *Вибір* параметрів трансформатора для агрегату ковш–печь і режими обробки сталі / Н.Ф. Ахметшин, І.Ю. Зинуров, В.С. Галян і др. // Електрометалургія. – 2001. – №10. – С.23–26.
5. *Нікольський Л.Е., Смоляренко В.Д., Кузнецов Л.М.* Теплова робота дугових сталеплавильних печей. – М.: Металургія, 1971. – 344с.
6. *Конструктивно–компоновочні* і технологічні параметри для чисельного дослідження гідродинаміки розплаву при обробці на установці ковш–печь потужністю 35 МВ·А / В.П. Піптюк, І.Д. Буга, С.Е. Самохвалов, В.Ф. Поляков і др. // Фундаментальні і прикладні проблеми чорної металургії.: Сб. научн. тр. – Дніпропетровськ: ІЧМ. – 2010. – Вип.21. – С.133–137.

*Стаття рекомендована до друку  
д.т.н., проф. Д.Н.Тогобицької*

**В.П. Піптюк, І.Д. Буга, С.Е. Самохвалов, В.Ф. Поляков, В.В. Моцний, С.М. Павлов, Ю.П. Махлай**

**Моделювання теплового стану ковшевої ванни установки ковш–печь потужністю 35 МВ·А**

Наведено вихідні дані для чисельного дослідження теплових процесів в металевій ванні установки ковш–печь (УКП) з ковшем місткістю 250 т. Показано, що в момент закінчення обробки електричною дугою перепад температури металу в об'ємі ванни ковша збільшується з підвищенням інтенсивності нагрівання, а його величина визначається інтенсивністю продування та потужністю електричної дуги. Аналогічний характер впливу виявлено на час гомогенізації металу по температурі.