

УДК 669.17.046.517В:531/534.001.5

В.П.Пиптюк¹⁾, В.Ф.Поляков¹⁾, И.Н.Логозинский²⁾, Г.Н.Польский³⁾,
Д.Н.Турунов⁴⁾, А.С.Сальников²⁾, Л.В.Чуприна³⁾, Е.Н.Дымченко⁴⁾,
В.В.Тягний³⁾, А.Г.Коваленко⁴⁾ С.В.Греков¹⁾, А.Г.Чичерин¹⁾,
А.С.Семыкина¹⁾

*Институт черной металлургии НАН Украины¹⁾,
ОАО «Днепрспецсталь»²⁾,
ОАО «Нижеднепровский трубопрокатный завод»³⁾,
ОАО «Енакиевский металлургический завод»⁴⁾*

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРОДИНАМИКИ ВАННЫ НА УСТАНОВКАХ КОВШ–ПЕЧЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА РАЗНОЙ МОЩНОСТИ

Приведены основные исходные данные для разработки трехмерной математической модели гидродинамики металлической ванны новой версии при обработке на установках ковш–печь (УКП) переменного тока. Указанные данные использованы в численных исследованиях процессов гидродинамики на УКП с емкостью ковша (по металлу) 60, 100 и 140т.

Современное состояние вопроса. В последнее время на металлургических и машиностроительных предприятиях Украины и стран СНГ проводится интенсивное техническое перевооружение сталеплавильных и сталелитейных цехов. Наряду с постепенной заменой мартеновских печей на кислородные конвертеры или электродуговые печи, модернизацией существующего сталеплавильного оборудования, оснащением МНЛЗ и современными линиями безопечной формовки, вводятся в эксплуатацию комплексы внепечной обработки, включающие УКП и вакууматоры разного типа и мощности.

Необходимость в таком оборудовании диктуется все возрастающими требованиями к качеству продукции металлопотребителей, энерго-, ресурсоэкономией и возможностями в обеспечении металлом МНЛЗ. К настоящему моменту на отечественных предприятиях действует уже более 20 единиц УКП переменного тока разной мощности.

Постановка задачи. Несмотря на многочисленные публикации об эффективности применения УКП при производстве стали широкого спектра марок, противоречивыми и недостаточно изученными представляются данные о знании процессов в ходе обработки полупродукта расплава на УКП, в т.ч. гидродинамики ковшевой ванны [1–2]. Целесообразность исследований гидродинамики обусловлена также влиянием характера и интенсивности перемешивания ванны на эффективность происходящих в ней процессов рафинирования и доводки стали по составу и температуре, обеспечивающих получение металла высокого качества для производства конкурентоспособной металлопродукции со стабильными служебными и

механическими показателями. Ниже приведены основные исходные данные, которые использованы при разработке трехмерной математической модели и исследовании с ее помощью процессов гидродинамики ковшевой ванны на УКП переменного тока (в работе принимал участие В.А.Буршитин).

Изложение основных материалов исследования.

На рис.1 представлена схема крышек установок (а) и днищ сталеразливочных ковшей (б), используемых на ОАО «Днепропецсталь» (ДСС), ОАО «Нижеднепровский трубопрокатный завод» (НТЗ) и ОАО «Енакиевский металлургический завод» (ЕМЗ) для обработки полупродукта на УКП переменного тока при производстве стали разного назначения электросталеплавильного, мартеновского и конвертерного способов выплавки.

Компоновочная совмещенная схема крышек установок и днищ сталеразливочных ковшей вышеприведенных УКП приведена на рис.2. Расположение и размеры технологических отверстий рассматриваемых УКП взяты по фактическим данным, эксплуатируемого на НТЗ и ЕМЗ оборудования. Упомянутые параметры для УКП с емкостью ковша (по металлу) 60т, три единицы которых эксплуатируется на ДСС, взяты применительно к такой установке фирмы «Даниэли».

Технологические отверстия, расположенные в крышке УКП и предназначенные для ввода в металлический расплав разных материалов, замера его температуры и отбора проб, имеют размеры, данные о которых представлены в табл.1.

Таблица 1. Размеры технологических отверстий в крышках УКП разной мощности

Предприятие	Емкость ковша (по металлу), т	Диаметр, мм		
		Отв. 1	Отв. 2	Отв. 3
ДСС	60	300	150	350
НТЗ	100	350	100	240
ЕМЗ	140	250	1 отв. – 90; 4 отв. – 75 (каждое)	300

Схема вертикального сечения сталеразливочного ковша приведена на рис.3. Схема донных продувочных фурм, которыми оснащены эксплуатируемые на ДСС (а), НТЗ и ЕМЗ (б) сталеразливочные ковши, представлена на рис.4. Основные размеры сталеразливочных ковшей разной емкости и продувочных фурм различного типа указаны в табл.2.

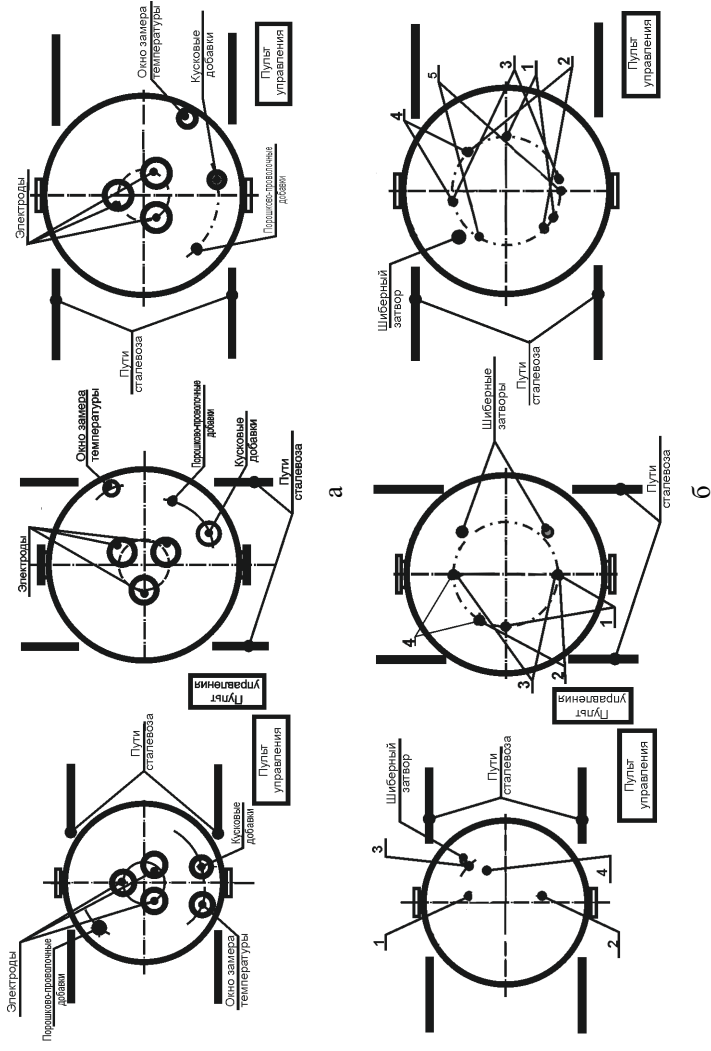


Рис. 1. Схема крышек установок (а) и днищ ковшей (б) УКП переменного тока, эксплуатируемых на ДСС, НГЗ и ЕМЗ (слева направо) соответственно.

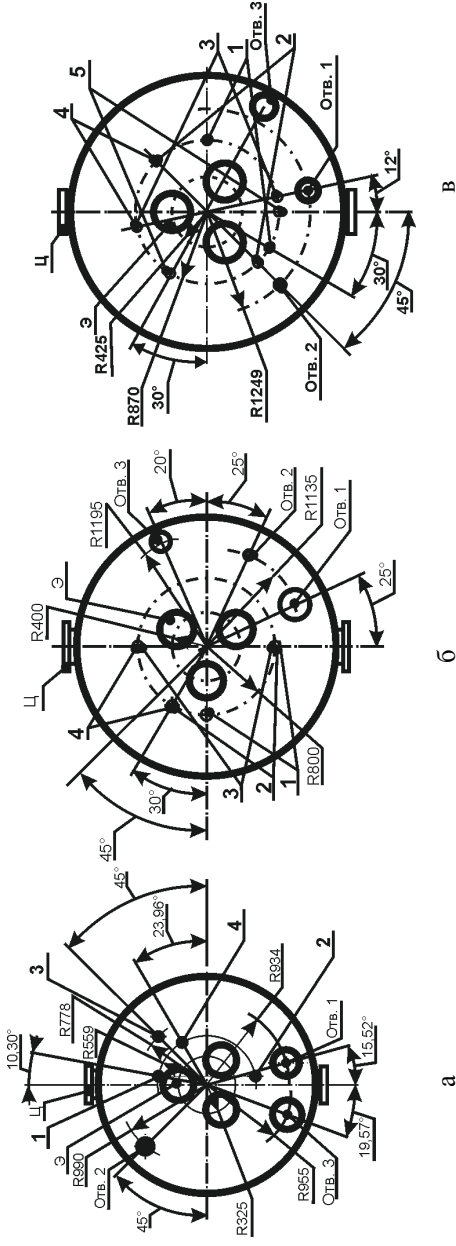


Рис.2. Компонентная совмещенная схема крышек установок и дниц ковшей УТП переменного тока, эксплуатируемых на ДСС (а), НТЗ (б) и ЕМЗ (в).

Обозначения, представленные на рис.2:

Отв.1 – отверстие в крышке УТП для ввода кусковых материалов; Отв.2 – отверстие в крышке УТП для ввода порошковой и алюминиевой проволоки; Отв.3 – отверстие в крышке УТП для замера температуры и отбора проб металла; Э – электроды модуля нагрева УТП; Ц – цапфы ковша; 1–4(5) – исследованные варианты расположения донных (ой) продувочных(ой) фурм(ы); используемые варианты на ДСС (рис. 2а) – 1, на НТЗ (рис. 2б) – 2 и на ЕМЗ (рис. 2в) – 5.

Таблица 2. Основные размеры сталеразливочных ковшей и донных продувочных фурм, используемых на У КП разных предприятий

Пред- приятие	Размер, мм			Диаметр, мм							Тип и размер (мм) продувоч- ных отвер- стий (сопел)
	H ₁	H ₂	B	ФД ₁	ФД ₂	ФД ₃	ФД ₄	Д ₁	Д ₂	Д ₃ (дюй- мы)	
ДСС	2400	3950	450	2120	2500	2760	3110	185	112	3/4	Пористая вставка
НТЗ	2610	3770	350	2520	2910	3100	3550	185	127	3/4	Щелевой 12шт– 0,15×20 24шт– 0,15×20
ЕМЗ	2760	4020	450	2950	3270	3370	3660	224	114	3/4	Щелевой 10шт– 0,20×17 20шт– 0,20×17

В качестве представительных марок стали принятых в исследовании процессов гидродинамики ковшевой ванны при обработке на У КП вышеуказанной емкости определены следующие: ШХ–15, 17Г1С и 85Г (ДСС); КП 2 (НТЗ) и Зсп (ЕМЗ). В табл.3 приведен усредненный химический состав стали указанных марок и температурный интервал их плавления.

Таблица 3. Усредненный химический состав и температурный интервал плавления стали представительных марок

Пред- приятие	Марка стали	Содержание элемента, %масс								Температу- ра, °С *	
		C	Mn	Si	S	P	Al	Ti	Tc	Tл	
ДСС	ШХ15	1,00	0,30	0,27	0,007	0,015	0,026	–	1395	1515	
	17Г1С	0,17	1,20	0,50	0,010	0,010	0,025	0,015	1482	1510	
	85Г	0,86	1,05	0,27	0,015	0,015	0,015	–	1432	1471	
НТЗ	КП2	0,50	0,85	0,42	0,010	0,015	0,022	–	1428	1482	
ЕМЗ	Зсп	0,18	0,53	0,23	0,013	0,018	0,002	–	1474	1513	

*Тс и Тл – температура солидус и ликвидус соответственно.

Обозначения, представленные на рис.3 и рис.4: 1 – металлический кожух ковша; 2 – теплоизоляционный слой футеровки ковша; 3 – футеровка шлакового пояса ковша; 4 – футеровка внутренней (рабочей) поверхности ковша; H₁ – высота наполнения ковша металлическим расплавом; H₂ – габаритная высота ковша; ФД₁ и ФД₂ – нижний и верхний внутренние диаметры ковша соответственно; ФД₃ и ФД₄ – нижний и верхний габаритные; а б диаметры ковша соответственно; Д₁ и Д₂ – больший и меньший диаметры продувочной фурмы; Д₃ – диаметр патрубка для

присоединения фурмы к трубопроводу подачи аргона; В – длина продувочной вставки фурмы; Р – транспортировочная ручка; Щ₁ и Щ₂ щелевые сопла по большему и меньшему концентрическому диаметру верхнего торца фурмы соответственно.

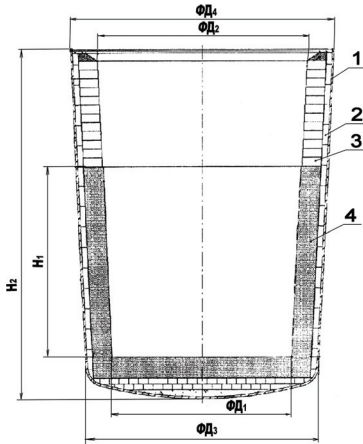


Рис.3. Схема вертикального осевого сечения сталеразливочного ковша

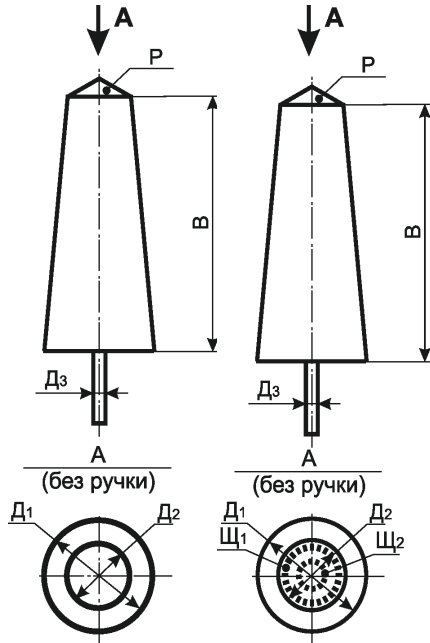


Рис.4. Схема донных продувочных фурм разного типа, используемых для оснащения сталеразливочных ковшей при обработке металла на УКП в условиях ДСС (а), НТЗ и ЕМЗ

В табл.4 приведены некоторые дополнительные технологические и конструктивные данные, использованные в качестве исходных для разработки математической модели и исследовании процессов гидродинамики при обработке ковшевой металлической ванны на УКП переменного тока разной мощности.

Ниже указаны использованные в численных исследованиях усредненные физические и теплофизические свойства жидких сталей и шлаков при температурах характерных для сталеплавильных процессов в соответствии с нижеприведенными литературными данными:

Таблица 4. Дополнительные технологические и конструктивные данные, принятые в качестве исходных при моделировании процессов гидродинамики ковшовой ванны на УВП переменного тока разной мощности

Предприятие	Марка стали	Емкость ковша, т	Масса плавки, т	Номер ковша	Масса шлака, т (Толщина шлака, см)	Интенсивность продувки расплава аргоном, л/мин	Расстояние от верха нето среза ковша до уровня расплава, мм	Угол ввода кусковых и проволочных материалов к вертикали, град	Высота (от места подачи до верхней кромки ковша) падения кусковых материалов, м	Скорость ввода проволочной и алюминиевой проволоки, м/с	Гранулометрический состав кусковых материалов (в поперечнике), мм	Диаметры проволочных и алюминиевой проволоки, мм
ДСС	ШХ15	90 60	60	-	П* 0,13 (1,1) С** 1,36 (11,0)	50-600	1080	0	3	1-6	3-60	9-16
	П* 0,13 (1,1) С** 1,3 (10,8)											
	85Г	П* 0,13 (1,1)										
НТЗ	КП2	140 100	100	1	П ³) 0,15 (0,8) С**) 0,58 (3,3)	50-600	660	0	3,1	1-6	3-60	9-16
		2		П ³) 0,25 (1,4) С**) 0,60 (3,4)								
ЕМЗ	3сп	180 140	140	-	П ³) 1,6 (7,3) С**) 2,73 (12,4)	50-600	570	0	3	1-6	3-60	9-16

П* – первичный печной,

С** – синтетический рафинирующий из ТПЭС

– плотность (ρ):	сталей – 6,94 (г/см ³) [4–6]; шлаков – 2,70 (г/см ³) [3, 7];
– удельная теплоемкость (C_p):	сталей – 0,792 (КДж/кг·К) [3, 4, 6]; шлаков – 1,476 (КДж/кг·К) [5, 8];
– теплопроводность (λ):	сталей – 26 (Вт/м·К) [8]; шлаков – 2,3 (Вт/м·К) [8];
– вязкость: (η):	сталей – 0,006 (Па·с) [9, 10]; шлаков – 0,1 (Па·с) [11];

Выводы.

Приведенные исходные данные использованы при создании трехмерной математической модели гидродинамики ковшевой ванны при обработке расплава на УКП переменного тока разной мощности. Отличием разработанной модели новой версии от ранее используемого аналога [12] является учет изменения объема пузырей диспергируемого аргона за счет изменяющегося ферростатического давления по мере продвижения газа от дна ковша к поверхности металлической ванны и скорости «проскальзывания» пузырьков аргона относительно потоков металла в ковше. В создании модели учтено также влияние собственных электромагнитных сил, образующихся за счет взаимодействия проходящего через расплав переменного электрического тока с металлической ванной.

Результаты исследований с помощью разработанной модели позволят сформулировать предложения по оптимизации компоновочно – конструктивных решений крышек установок и днищ ковшей при обработке металлического расплава на УКП переменного тока разной мощности.

1. *Основные направления исследований технологии обработки стали на агрегате «ковш–печь»* / В.А.Вихлевщук, В.П.Пиптюк, В.Ю.Болотов и др. // Сб. «Фундаментальные и прикладные проблемы металлургии».–2004.– Вып.8.– С. 189–195.
2. *Особенности современного оборудования и технологий внепечной обработки стали* / В.П.Пиптюк, В.Ю.Болотов, И.А.Павлюченков и др. // Сб. «Фундаментальные и прикладные проблемы металлургии».– 2005.– Вып.11.– С. 67–79.
3. *Производство стали на агрегате ковш–печь* / Д.А.Дюдкин, С.Ю.Бать, С.Е.Гринберг и др.//– Донецк. ООО «Юго–Восток», Лтд.,2003.– 300с.
4. *Островский О.И., Григорян В.А., Вишкарёв А.Ф.* Свойства металлических расплавов.– М.: Металлургия, 1988.– 304с.
5. *Каблуковский А.Ф.* Производство стали и ферросплавов.– М.: Металлургия,1991.– 335с.
6. *Математическое моделирование процессов внеагрегатной обработки стали* / В.А.Вихлевщук, А.П.Огурцов, И.А.Павлюченков и др.// К.:ИСМО МО Украины, 1997.– 151с.

7. *Смоляренко В.Д., Якушев А.М., Еднерал Ф.П.* Плотность и поверхностное натяжение известково-глиноземистых шлаков с добавками SiO_2 , MgO , Na_3AlF_6 // Известия ВУЗов. Черная металлургия.– 1965.– №1.– С.55–60.
8. *Теплофизические свойства плавильных пылей, шлаков и зол черной металлургии / А.Н. Афонина, В.М. Бабошин, Е.А. Кириченко и др. // Экспресс-информация М.: Черметинформация. – 1982.– 75с.*
9. *Вертман А.А., Самарин А.М.* Свойства расплавов железа. – М.:Наука.–1969.– 280с.
10. *Андронов В.Н., Чекин Б.В., Нестеренко С.В.* Жидкие металлы и шлаки. – М.: Металлургия.–1977.–128с.
11. *Физические свойства расплавов системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-CaF}_2$ /А.А.Акбердин, И.С.Куликов, В.А.Ким и др. – Металлургия.–1987.–144с.*
12. *Математическое моделирование гидродинамики шлакометаллической ковшевой ванны на установке ковш печь переменного тока / В.А.Вихлевшук, В.П. Пиптюк, В.Ю. Болотов и др. // Математичне моделювання. –2005.–№1 (13). –С.53–58.*

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук Э.В.Приходько*