

УДК 669.17.046.517В:51.001.57

**В.П.Пиптюк, В.Ф.Поляков, А.В.Ковура\*, А.А.Травинчев\*,  
И.Л.Бузун\*,С.Н.Павлов\***

**ДАнные для моделирования гидродинамики ковшевой  
ванны большой емкости при обработке расплава на УКП**

*Институт черной металлургии НАН Украины,  
\*ОАО «МК «Азовсталь»*

Приведены основные исходные данные для численных исследований гидродинамики и массопереносных процессов на установке ковш-печь (УКП) с емкостью ковшевой ванны 350 т. Исследования осуществляются с помощью трехмерной математической модели новой версии.

**Состояние вопроса.** Обработка стали на (УКП) является неотъемлемой частью современной технологии производства высококачественного металла. Использование УКП способствует увеличению производительности сталеплавильных агрегатов, обеспечивает повышение степени рафинирования стали от вредных примесей, гомогенизирует металл и стабилизирует его температуру и химический состав, позволяет сократить расход энергетических и материальных ресурсов. Являясь буфером между сталеплавильным агрегатом и МНЛЗ, УКП согласовывает их работу давая, тем самым, возможность увеличить количество плавок разливаемых в серию.

Процессы обработки стали на УКП основаны на подогреве металла электрическими дугами, в сочетании с перемешиванием металла инертным газом. Наличие синтетического шлака определенного состава, соответствующего обрабатываемой марке стали, обеспечивает эффективное рафинирование металла и более полное использование раскислителей и легирующих материалов.

Ежегодно возрастает количество вводимых в эксплуатацию УКП в отечественной металлургии, на предприятиях стран СНГ и в мире [1,2]. К настоящему моменту на металлургических и машиностроительных предприятиях Украины действует 15 УКП и 8 планируется ввести в эксплуатацию в ближайшие годы.

**Постановка задачи.** Динамичное расширение масштабов применения УКП и ужесточение конкуренции на рынке сбыта металлопродукции определяет повышенный интерес ученых и производителей к исследованию процессов, происходящих при обработке металлического расплава на таком оборудовании. Значительная доля указанных исследований осуществляется с использованием математического моделирования [3]. Это объясняется тем, что данный метод является одним из наиболее доступных, дает достаточную степень точности и сходимости с промышленными данными [3–5], а, в ряде случаев, полученные при этом результаты согла-

суются с фактическими измерениями даже лучше чем при физическом моделировании [6].

Однако имеющиеся модели, во-первых, учитывают не все основные факторы, оказывающие влияние на происходящие в ванне процессы и, во-вторых, учитываемые факторы, ввиду их многообразия, имеют разное влияние на протекающие металлургические процессы. Поэтому, несмотря на значительный объем информации по обработке металла на У КП, полученной с помощью математического моделирования, имеющиеся результаты отличаются и, в некоторых случаях, противоречат друг другу, не позволяя обобщить их и выявить общие для происходящих процессов закономерности. Также необходимо учитывать то, что действующие У КП были введены в эксплуатацию различными фирмами в разные периоды времени и поэтому их конструктивно-компоновочные решения отличаются между собой, что также не способствует идентичности результатов исследований для аналогичных процессов на У КП с одинаковыми характеристиками.

С целью рационализации технологии внепечной обработки стали в конкретных производственных условиях, авторами разработана методика исследований процессов протекающих на У КП, в основу которой положено изучение гидродинамики, тепло-, массообмена, а также процессов плавления и усвоения вводимых добавок с помощью усовершенствованных трехмерных математических моделей, созданных в ДГТУ по исходным данным ИЧМ НАНУ [7, 8]. Моделирование осуществляется на основе промышленных данных, включающих конструктивное описание установки и технологический регламент обработки стали.

**Изложение основных исходных данных.** В качестве объекта исследований рассмотрены действующие в условиях ККЦ ОАО «МК «Азов-сталь» две двухпозиционные У КП (LF1 и LF2) фирмы ФАИ Фукс с емкостью ковша 350 т (рисунок 1). Особенностью данного комплекса оборудования является то, что независимо от того на какую установку (LF1 или LF2) и позицию (А или В) в данный момент времени подается ковш на обработку, расположение продувочного узла относительно осей сталевоза остается постоянным, а сталевоз перемещается только параллельно поперечной оси цеха. Поэтому необходимо рассматривать компоновочные схемы каждой из У КП, включая обе позиции, и производить расчеты для каждой из них отдельно.

Ниже приведены основные исходные данные, используемые при расчете гидродинамики и массопереноса в ковшевой ванне с помощью усовершенствованной трехмерной математической модели.

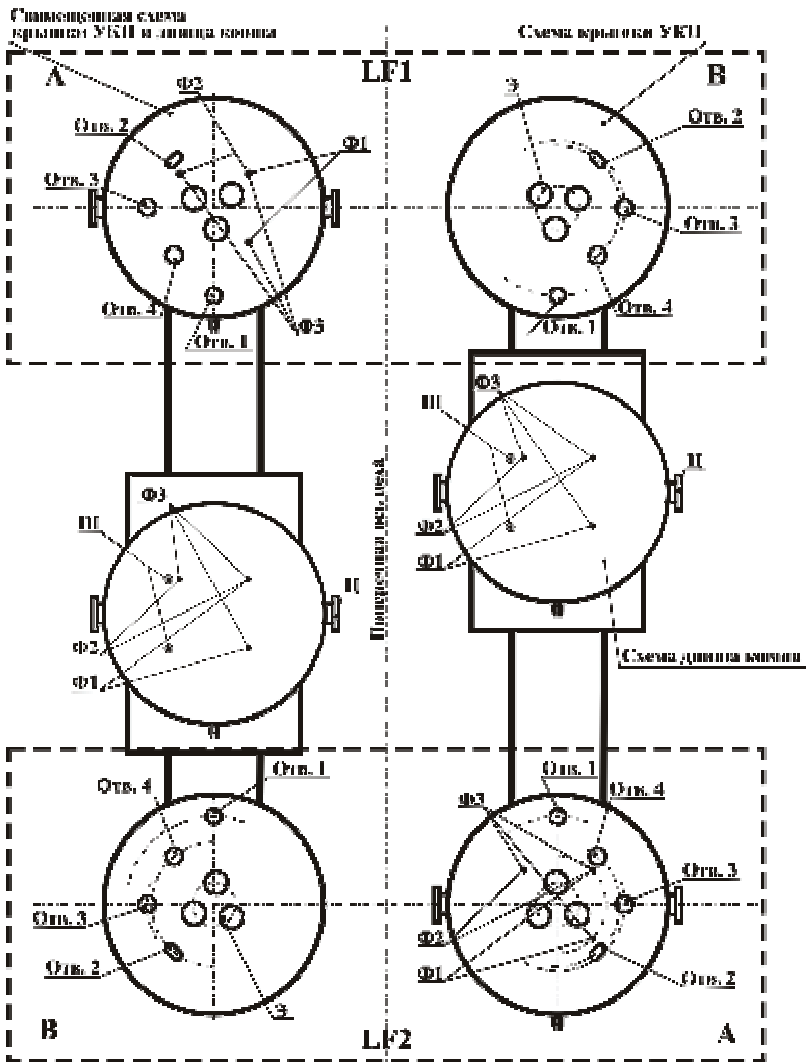


Рис. 1. Схема участка внепечной обработки в ККЦ ОАО «МК «Азовсталь»

Обозначения, представленные на рис. 1:

Отв. 1 – отверстие в крышке УКП для ввода кусковых добавок; Отв. 2 – отверстие в крышке УКП для ввода проволочно-порошковых добавок; Отв. 3 – отверстие в крышке УКП для замера температуры и отбора проб; Отв. 4 – отверстие в крышке УКП для аварийной фурмы; Э – электроды; Ц – цапфы; Ш – шибер; Ф – донная фурма (цифра – номер варианта расположения фурмы), 1 – используемый вариант, 2, 3 – предложенные к исследованию варианты.

На рис.2 представлены компоновочные схемы, объединяющие крышки УКП (LF1 и LF2) и днища сталеразливочных ковшей. Расположение и размеры технологических отверстий рассматриваемых УКП взяты по рабочим чертежам данного оборудования.

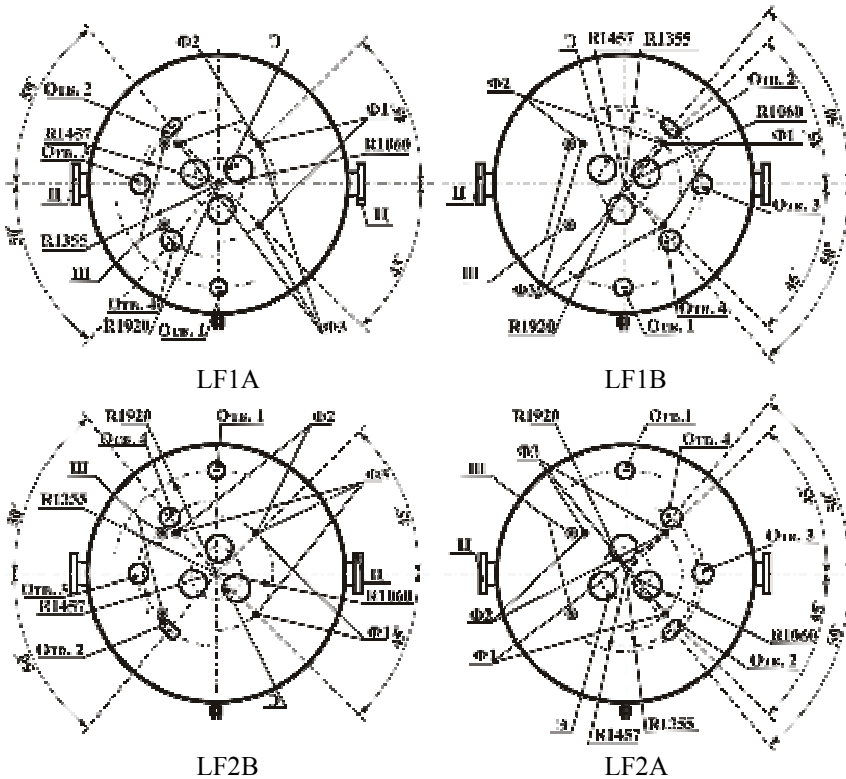


Рис.2. Компоновочные схемы совмещения крышек УКП (350 т) и днища ковша. Обозначения приведенные на рис. 2 аналогичны рис. 1.

УКП оснащена графитовыми электродами диаметром 508 мм (диаметр их распада 950 мм). Технологические отверстия, расположенные в крышках УКП и предназначенные для ввода в металлический расплав разных материалов, замера его температуры и отбора проб, ввода аварийной фурмы, имеют следующие размеры: Отв. 1 – диаметр 320 мм; Отв. 2 – 200х200 мм; Отв. 3 – диаметр 400 мм; Отв.4 – диаметр 400 мм.

Схема вертикального сечения сталеразливочного ковша с основными размерами приведена на рис.3. На рис.4 представлена схема донной щелевой продувочной фурмы, которыми оснащены эксплуатируемые в ККЦ ОАО «МК «Азовсталь» сталеразливочные ковши. Щели сечением 20х0,18 мм выходят с торцевой стороны фурмы (диаметр 117 мм) и расположены

по двум концентрическим окружностям (на большей окружности находится 36 щелей, а на меньшей – 18).

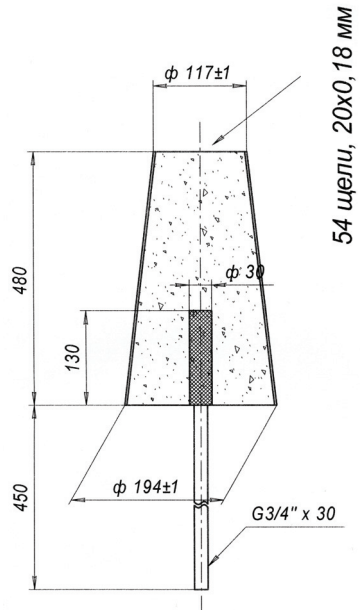
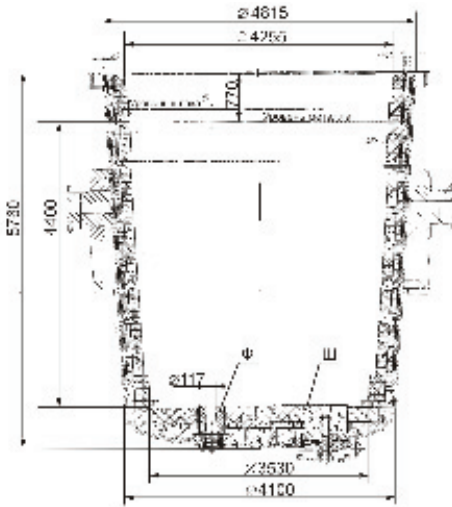


Рис.3. Схема вертикального осевого сечения сталеразливочного ковша КС-350.  
 Рис.4. Схема продувочной фурмы ковша  
 Ф – щелевая фурма; Ш – шибер.

Исследование гидродинамики осуществляется для технологических условий производства следующих марок стали: ASTM A36, B040, RPSTP-1 и X60(Nb-V), которые являются представителями четырех групп марок сталей (низколегированные, низкокремнистые, углеродистые и штрипсовые) производимых в условиях ОАО «МК «Азовсталь».

Для моделирования процессов гидродинамики кроме конструктивно-компоновочных данных необходимы также технологические параметры, такие как интенсивность продувки, регламент ввода добавок и т.д. (табл.1).

В табл.2 приведены основные физические и теплофизические свойства стали и шлака при температурах сталеплавильных процессов, которые учитываются при математическом моделировании.

Таблица 1. Дополнительные технологические параметры обработки стали на УКП в ковше емкостью 350 т необходимые для математического моделирования металлургических процессов

Марка стали	Емкость ковша, т Масса шлаки, т	Интенсивность продувки расплава аргоном (на каждую форму), л/мин	Угол наклона трубочки для подачи кусковых добавок относительно вертикальной оси УКП, град	Угол ввода порошочно-порошковых добавок от-носительно вертикальной оси УКП, град	Высота свободного падения кусковых добавок, мм	Скорость ввода порошковой проволоки, м/с	Гранулометрический состав кусковых добавок (в поперечнике), мм	Диаметр порошковой проволоки и алюминий-вой катанки									
									45	0	1710	до 6	5–60	9–16			
									ASTM A36	400 350	50–600	45	0	1710	до 6	5–60	9–16
									B040								
									RPSTP-1								
X60(Nb-V)																	

Таблица 2. Физические и теплофизические свойства стали и шлака [9]\*)

	Плотность, ρ кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплоемкость, С <sub>p</sub> кДж/кг·К	Теплопроводность, λ Вт/м·К	Вязкость, η Па·с
Сталь	6940	0,792	26	0,006
Шлак	2700	1,476	2,3	0,1

\*) данные могут изменяться по мере их накопления и уточнения;

**Выводы.** Приведены исходные данные для проведения численных исследований гидродинамики ковшевой ванны емкостью 350 т при обработке металлического расплава на У КП с использованием усовершенствованной трехмерной математической модели. В отличие от ранее проведенного численного анализа гидродинамики ковшевых ванн малой и средней мощности при обработке на У КП, особенностью настоящих исследований является поиск унифицированного варианта многопозиционной обработки расплава на У КП большой мощности с учетом конкретных производственных условий при 2–3 фурменной продувке расплава диспергированным аргоном.

Результаты моделирования гидродинамики будут положены в основу исследований процессов рафинирования и доводки металла происходящих на У КП и в дальнейшем позволят сформулировать рациональные энерготехнологические режимы внепечной обработки стали.

1. *Смирнов А.Н., Сафонов В.И.* Вне печи // *Металл.* – 2004. – №12 (60). – С. 20 – 24.
2. *Нагрев* стали разрядом постоянного тока на установках внепечной обработки / Г.И.Окорков, А.И.Донец, Ал.Г.Шалимов и др. // *Сталь.* – 1995. – №5. – С.36–40.
3. *Jonsson Par G., Jonsson Lage T. I.* The use of fundamental process models in studying ladle refining operations. // (Royal Institute of Technology, SE – 10044 Stockholm, Sweden). *ISIJ Int.* 2001. – 41. – №11. – P.1289 – 1302.
4. *Wu Yong-jun, Jiang Zhou-hua, Jiang Mao-fa* Dongbei daxue xuebao. Ziran kexue ban // *J. Northeast. Univ. Natur. Sci.* 2002. – Vol. 23, №3. – P. 247–250.
5. *Deb Prashanta, Mukhopadhyay Aniruddha* Operational experience with a mathematical model for temperature prediction in secondary steelmaking // *Steel Res.* – Vol. 72. – №5–6. – P.200–207.
6. *Madan M., Satish D., Mazumbar D.* Modeling of mixing in ladles fitted with dual plugs // *ISIJ Int.* 2005. – Vol. 45, №5. – P.677–685.
7. *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.
8. *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.
9. *Основные* данные для численных исследований гидродинамики ванны на установках ковш-печь переменного тока разной мощности / В.П.Пиптюк, В.Ф.Поляков, И.Н.Логозинский и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.: Сб.научн. тр.ИЧМ.* – Вып. 14. – 2007. – С.145–153.

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