

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.

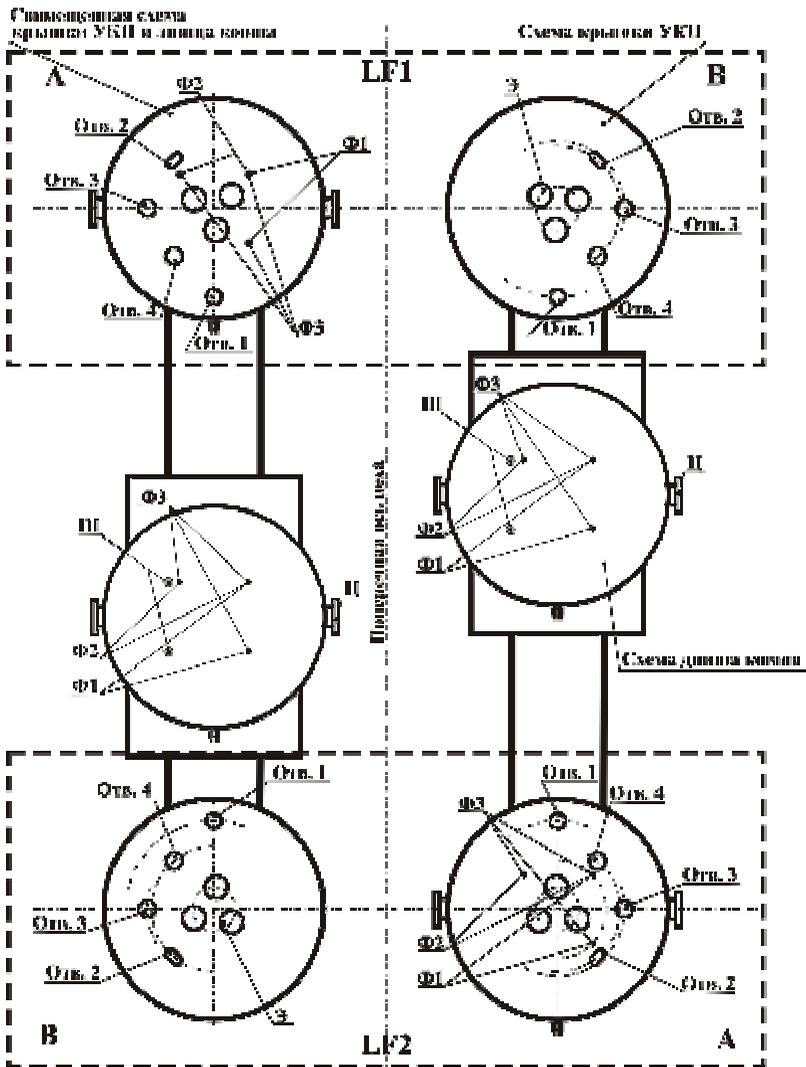


Рис. 1. Схема участка внепечной обработки в ККЦ ОАО «МК «Азовсталь»

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.

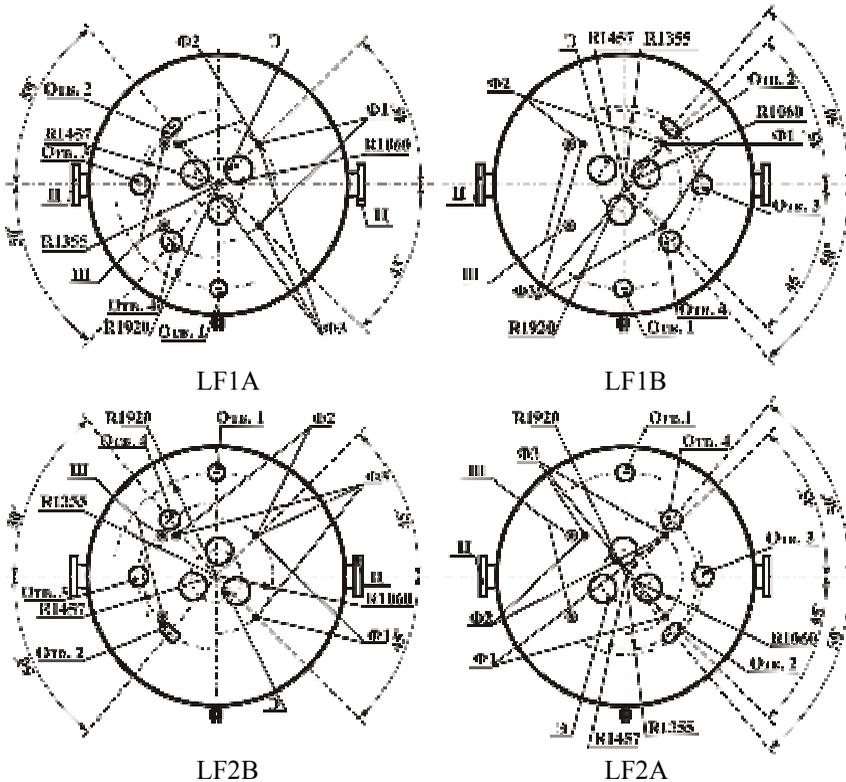


Рис.2. Компоновочные схемы совмещения крышек УКП (350 т) и днища ковша. Обозначения приведенные на рис. 2 аналогичны рис. 1.

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).

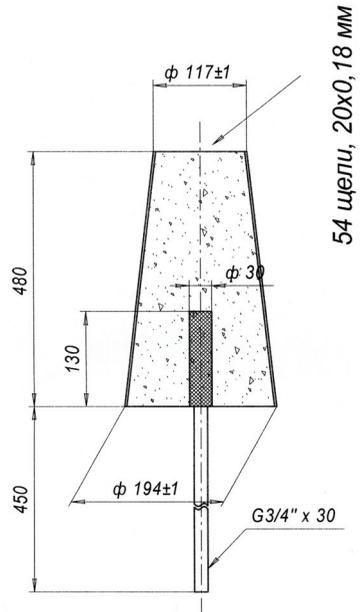
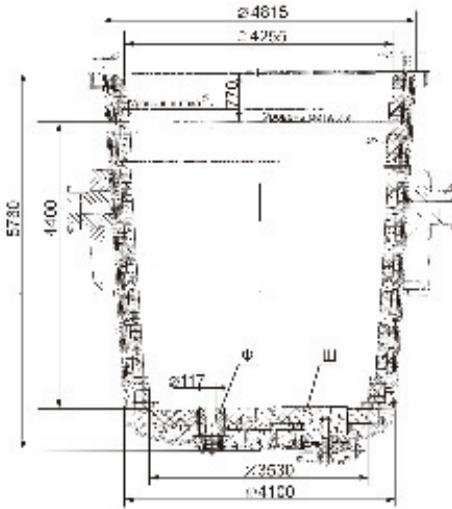


Рис.3. Схема вертикального осевого сечения сталеразливочного ковша КС-350. Ф – щелевая фурма; Ш – шибер.

Рис.4. Схема продувочной фурмы ковша

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	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
	Масса шлаки, т							
	400							
	350							
	X60(Nb-V)							
ASTM A36		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 ³	Удельная теплоемкость, С _p 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 УКП с использованием усовершенствованной трехмерной математической модели. В отличие от ранее проведенного численного анализа гидродинамики ковшевых ванн малой и средней мощности при обработке на УКП, особенностью настоящих исследований является поиск унифицированного варианта многопозиционной обработки расплава на УКП 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 УКП 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*