

УДК 669/17:669.02/09

**В.П.Пиптюк, В.Ю.Болотов<sup>1</sup>, И.А.Павлюченков<sup>1</sup>, И.Н.Логозинский<sup>2</sup>**

## **ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ**

*ИЧМ НАН Украины, Днепродзержинский государственный технический  
университет<sup>1</sup>, ОАО «Днепроспецсталь»<sup>2</sup>*

*(В работе принимали участие В.А.Буриштин, Е.В. Семькина)*

Рассмотрены основные отличия современных установок ковш–печь (УКП) от установок комплексной доводки металла (УКДМ), сопоставлены особенности технологий обработки металла на УКП и УКДМ, указаны направления исследований по оптимизации технологии обработки металла на УКП

За последние десять лет количество эксплуатируемых в мировой металлургии УКП возросло почти в 2 раза и сегодня насчитывает свыше 500 единиц [1,2]. На текущий момент на металлургических и машиностроительных предприятиях Украины функционирует около десяти современных УКП [1,3,4] импортного и отечественного производства, в том числе на ПО им. Фрунзе (г.Сумы), НКМЗ (г.Краматорск), ОАО «Днепроспецсталь» (г.Запорожье – 2 единицы), ОАО ММЗ «Истил» и ДМЗ (г.Донецк – по 1–й единице), ЕМЗ (г. Енакиеве – 2 единицы), ОАО «НТЗ» (г.Днепропетровск). По данным УкрГИПРОМеза планируется оснащение УКП действующих кислородно–конвертерных цехов меткомбинатов Азовсталь, ДМК им. Дзержинского, а также вновь строящихся цехов ОАО «Запорожсталь» и ОАО «НТЗ».

Основные сведения о видах, технологических функциях и конструкциях УКП изложены в [1,3–8]. Появлению на отечественных металлургических предприятиях УКП предшествовало их оснащение УКДМ, внепечная обработка стали на которых осуществляется за счет перегрева металла в сталеплавильном агрегате. Наличие электродугового модуля для нагрева стали является главным отличием УКП от УКДМ. Электродуговой подогрев металла в сталеразливочном ковше на УКП осуществляется по принципу, реализуемому в дуговых сталеплавильных печах (ДСП).

При использовании УКДМ металл перед выпуском плавки перегревают, чтобы компенсировать потери тепла от ввода добавок, а также за счет естественных потерь при транспортировании ковша от плавильного агрегата до разливки. Это, зачастую, приводит к последующему охлаждению перегретого металла в процессе его обработки на УКДМ, что вызывает изменение состояния расплава и увеличивает затраты на производство стали. По мнению ряда авторов [3,9], перегрев металла перед обработкой на УКДМ находится в пределах

60–80<sup>0</sup>С. При этом передача тепла происходит в направлении от металла к шлаку, добавкам и футеровке. Относительно низкая, в большинстве случаев, температура рафинирующего шлака на УКДМ определяет его сравнительно малую активность. Нагреваясь от металла, шлак забирает его тепло. Для компенсации тепловых потерь металла при отсутствии УКП, в ряде случаев, используют технологию химического подогрева [10–12], что вызывает дополнительный расход алюминия 0,42 кг/т и кислорода 0,39 нм<sup>3</sup>/т (при подогреве на 10<sup>0</sup>С) и приводит к дополнительному окислению металла.

Дополнительному охлаждению и окислению металла способствует также интенсивное перемешивание расплава на УКДМ в процессе его усреднительной продувки погружной фурмой сверху. Ввиду кратковременности перемешивания металла и шлака не представляется возможным эффективное использование сульфидной емкости наведенного рафинирующего шлака.

К числу недостатков обработки стали на УКДМ следует также отнести повышенный расход огнеупоров (0,4 кг/т) [3]. Используемая, в последнее время, продувка на УКДМ через донные устройства – более технологична, однако проблема охлаждения металла не исключается.

В отличие от УКДМ продувка металла аргоном (азотом) на УКП осуществляется на протяжении всего периода обработки. Возможность «мягкого» регулирования расходом газа по ходу обработки в ковше и использование донных пробок разного вида обеспечивает подачу диспергированного газа, что практически исключает возможность бурления шлакометаллического расплава и, как следствие, оголение зеркала металла с его негативными последствиями.

При подогреве металла на УКП температура шлака выше температуры металла за счет того, что электродуги погружены в шлак. Поэтому шлак находится в жидком состоянии и активно взаимодействует с металлом на протяжении всей обработки на УКП, исключая период на его формирование. Наличие электродугового нагрева позволяет, за счет присадки ТШС, получать шлак требуемого состава.

Перегрев шлака относительно зеркала металла при нагреве расплава электродугой по данным [13] составляет 50<sup>0</sup>К, а в работе [3] сообщается об указанном перепаде температур в пределах 50 – 150<sup>0</sup>С. Поэтому нагрев металлического расплава в ковше на УКП, в отличие от УКДМ, происходит сверху вниз, т.е. тепло передается от шлака к металлу и вводимым добавкам.

Данные о перепаде температур в объеме ковшевой ванны также противоречивы. По информации [14] расчетное значение перепада температуры стали по высоте ковша емкостью 150 т при нагреве на УКП типа ASEА–SKF (без продувки аргоном) находится в пределах 50– 150<sup>0</sup>С. Но авторами [15] сообщается, что температура металла у подоины ДСП

перед выпуском обычно на 50–70<sup>0</sup>С ниже, чем на поверхности ванны, а по данным [3] этот перепад составляет 20–50<sup>0</sup>С.

Обеспечение эффективной отсечки печного шлака на выпуске плавки, наведение (форсированное формирование) синтетического рафинирующего шлака оптимального состава и определенной кратности в ковше с основной или высокоглиноземистой футеровкой, обеспечение его жидкоподвижности и перемешивания с металлом на протяжении всей внепечной обработки является гарантией наиболее рациональных условий очищения стали от вредных примесей, уменьшения количества и модифицирования неметаллических включений, т.е. получения чистых и со стабильными свойствами сталей.

Вопросы рафинирования и доводки стали по химическому составу и температуре в ковше на выпуске из плавильного агрегата и на УКДМ достаточно подробно рассмотрены в работах [3,16,17]. Численными исследованиями [16] рекомендован режим ввода ТШС системы CaO – CaF<sub>2</sub> при быстротечном (4–8 мин) выпуске из конвертера в кусках фракцией 5–30 мм для обеспечения интенсивного (за 1-2 мин) формирования рафинирующего шлака. Такая технология рафинирования металла кусковой ТШС (5–7 кг/т) используется при производстве углеродистой и низколегированной стали с содержанием серы 0,010–0,020% . При выплавке особонизкосернистой стали (0,002–0,005% S) применяют глубокое рафинирование кусковой ТШС (10–12 кг/т) на выпуске и продувку на УКДМ порошкообразной смесью на основе силикокальция (1–2 кг/т).

Рассмотрены основные факторы, влияющие на процесс десульфурации металла в ковше на выпуске из сталеплавильного агрегата и на УКДМ за счет обработки ТШС и порошкообразными материалами (ТШС + SiCa + AL) [17]. К числу таких факторов относятся состав и расход ТШС, момент их ввода, состав металла и шлака, температурный режим, футеровка ковша и др. В качестве базового приводится следующий состав ТШС: CaO : CaF<sub>2</sub> = 3(4):1.

Для повышения десульфурующей способности смеси (D<sub>s</sub>) и снижения температуры плавления в базовый состав ТШС вводят до 10% алюминия и/или такое же количество магниезиального порошка [18]. Сообщается, что при продувке расплава аргоном и обработке ТШС в ковше (расход смеси 7,0–17,8 кг/т) десульфурация стали почти линейно возрастает, в отличие от обработки без аргона (в этом случае максимальная D<sub>s</sub> наблюдается при расходе ТШС 8–9 кг/т). Показана важность обеспечения оптимального фракционного состава ТШС и момента их ввода в ковш при максимальной турбулентности расплава. По мнению автора обработка стали кусковыми ТШС на выпуске для получения содержания серы на уровне 0,010–0,015% недостаточна и необходима дополнительная обработка на УКДМ. В то же время, по мнению авторов [3], использование ТШС традиционного состава (CaO

+CaF<sub>2</sub>) для условий У КП не оправдано. Авторы считают, что для оценки окисленности рафинирующего шлака необходимо ориентироваться только на содержание в нем оксида железа, которое должно находиться на уровне 0,5% . Для сталей, раскисленных алюминием, оптимальный состав рафинирующего шлака, по их мнению, должен быть следующим: 58–62% CaO, 8–10% SiO<sub>2</sub>, 6–8% MgO, 20–25% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,5% FeO, 0,13–0,15% MnO, а для нераскисленных алюминием сталей состав шлака должен отличаться от вышеуказанного содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5–8%) и наличием дополнительного компонента CaF<sub>2</sub> (5–10%). На примере раскисленной кремнием стали SAE 1008 показано изменение состава шлака по ходу обработки на У КП. Отмечается, что шлак такого состава сформировался уже на 8–ой минуте после начала обработки.

Из приведенных данных по десульфурации стали при обработке на У КП [3] следует, что на десульфурующую способность шлака оказывает влияние не только его химический состав, но и количество шлака. На практике кратность шлака составляет 2,0–3,5. При работе У КП, вследствие нагрева расплава электродугой, условия рафинирования отличаются от аналогичного процесса в ковше на У КДМ. По мнению авторов [3], толщина слоя шлака на У КП должна увязываться не только с требованиями по обеспечению десульфурации, но и с длиной электродуги и технико–экономическими показателями установки. Поэтому толщина слоя шлака на У КП должна на 20–25% превышать длину дуги.

Отмечается использование для десульфурации на У КП, сталей раскисленных алюминием и кремнием, базового состава шлака системы CaO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub> – MgO [18] . При этом высокая жидкоподвижность шлака достигается при отношении основности  $B = \text{CaO} / \text{SiO}_2$ , к содержанию Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $B/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) в пределах 0,25–0,35. С этой целью вводят плавиковый шпат, а для форсированного формирования используют базовую твердую ТШС извести и плавикового шпата в том же соотношении компонентов, что приведено выше [16]. По мнению автора [18], такая технология десульфурации стали широко применяется как на У КДМ, так и на У КП. Вместе с тем, в ТШС, используемые на У КП, предлагается добавлять отходы ферросплавного производства, шлаки алюмотермического производства кремния, отходы производства, содержащего Na<sub>2</sub>O, и др. материалы взамен CaF<sub>2</sub> (из экологических соображений).

Подчеркивая актуальность оптимизации состава шлака при обработке на У КП раскисленной алюминием низкоуглеродистой стали, автор [18] отмечает необходимость обеспечения содержания в шлаке  $\text{FeO} + \text{MnO} \leq 1,0\%$  для глубокой десульфурации стали ( $\leq 0,005\%$  S). Из опыта выплавки стали в ДСП известно, сообщает автор указанной работы, что высокораскисленные белые шлаки на У КП можно получить только при работе на низких ступенях напряжения трансформатора. Формирование таких шлаков обеспечивают раскислением порошкообразными коксом и

алюминием. Вместо порошкообразного алюминия часто применяют гранулированный алюминий или его сечку, а также отходы алюмотермического производства. Наведение высокораскисленного шлака для десульфурации нераскисленной алюминием стали осуществляют с добавками порошкообразных кокса, ферросилиция, силикокальция. Для получения коэффициента распределения серы между шлаком и металлом ( $L_s$ )  $\geq 120$ , отмечает автор, при содержании в шлаке ( $\text{FeO} + \text{MnO}$ )  $< 1$  необходимо обеспечить его основность  $B = 3,5 - 4,0$ .

Значение  $L_s$  зависит не только от состава и жидкоподвижности шлака, но и от продолжительности обработки на У КП. Актуальной является продолжительность формирования шлака (особенно в условиях сокращения продолжительности разливки на МНЛЗ и повышенном содержании серы в исходном металле). По данным автора, варьирование технологическими приемами при указанной обработке стали на У КП и присадка на формирующийся рафинирующий шлак мелкого алюмотермического шлака позволило сократить продолжительность шлакообразования с 12–15 до 10–12 мин и обеспечить максимальную степень десульфурации стали – 80–85%. Подчеркивается, что высокая степень десульфурации стали на У КП достигается в условиях интенсивного перемешивания (обычно через 2–3 донные фурмы) и через эксцентрично расположенные донные фурмы более эффективна, чем через верхнюю погружную фурму. Использование только верхней фурмы при глубокой десульфурации металла приводит к интенсивному износу футеровки шлакового пояса ковша. Расход аргона зависит от задач обработки и количества донных фурм. Максимальный расход ограничивается возможностью оголения зеркала металла. Обычно интенсивной считают продувку при 5 л/(мин.т), т.е. при емкости ковша 100 т эта величина составляет 500 л/мин. Приводятся данные о том, что степень десульфурации стали при заданном составе шлака, насыщенном СаО (расход извести 15 кг/т), и его количестве определяется не расходом газа, а мощностью перемешивания.

По другим данным [3] отмечается, что при перемешивании имеется вероятность увеличения в стали количества неметаллических включений (НВ), как за счет эмульгирования шлака и затягивания его конвективными потоками, так и за счет окисления оголенного металла в районе «аргонного пятна». Моделируя процесс удаления НВ установлено, что степень рафинирования определяется интенсивностью продувки и турбулизацией процесса. С целью более эффективного рафинирования стали от НВ продувка должна осуществляться на максимальной площади с максимальным количеством пузырьков и интенсивностью, не допускающей их вибрации. Для этого в реальных условиях производства рекомендуется использовать ковши с 2-мя пористыми пробками, а продувку осуществлять с низкой (3,5–5 см<sup>3</sup>/мин) интенсивностью, особенно после образования жидкоподвижного шлака, присадки

раскислителей и легирующих. Результаты моделирования степени рафинирования, количества пузырьков и их поведения от интенсивности продувки приведены на рис.1. Определено, что при используемых режимах продувки стали аргоном на УКП, снижения содержания газов в металле не происходит.

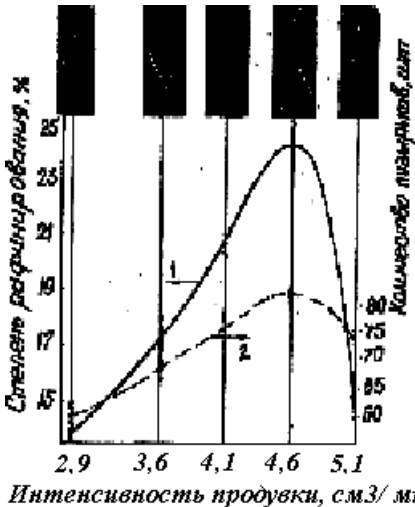


Рис. 1 – Зависимость степени рафинирования стали от интенсивности продувки и количества пузырей. 1 – изменение степени рафинирования стали; 2 – изменение количества пузырей газа и их поведение.

Влияние параметров продувки аргоном на изменение температуры и состава стали в ковшах емкостью 250–350т на УКДМ, а также в процессе их наполнения рассмотрены авторами [19]. Исследовано изменение состава стали по ходу аргонной обработки (0,6–1,5 м<sup>3</sup>/мин) на УКДМ и по ходу разливки на МНЛЗ. Рассчитано изменение температуры стали при вводе добавок, в т.ч. ТШС, и определен оптимальный гранулометрический состав добавок для обработки на УКДМ. Приведены результаты расчета гидродинамики в ковше емкостью 350т по ходу его наполнения. Установлено, что при продувке аргоном (расход составлял 35–95 нм<sup>3</sup>/т) в первые 2–3 мин скорость снижения температуры металла в ковше максимальна и составляла 2,6–7,8<sup>0</sup>С/мин. При этом интенсивность охлаждения ковшевой ванны увеличивалась с повышением исходной температуры металла в ковше. В дальнейшем скорость снижения температуры стали уменьшалась до 1,6–1,8<sup>0</sup>С/мин и была практически постоянной.

Вопросы гомогенизации ковшевой ванны по составу и температуре на УКП рассмотрены в монографии [3]. Сообщается, что снижение температуры металла (начальная температура стали 1600<sup>0</sup>С) в ковше емкостью 100 т (расход аргона 0,3 м<sup>3</sup>/мин) за одну обработку (50 мин) за счет аргона, составит 0,26<sup>0</sup>С/мин. Расход аргона для продувки на 100–150 тонных ковшах через донные фурмы обычно составляет 70–80 л/мин, отмечают авторы при сопоставлении вариантов продувки аргоном на УКДМ и УКП. При продувке металла необходимо обеспечивать минимальную скорость движения на границе шлак–металл в период рафинирования. Скорость движения металла при продувке сверху (даже

при максимальном погружении фурмы) более чем в 2 раза превышает аналогичный показатель при продувке через донные фурмы, а поступательное движение фурмы приводит к оголению зеркала металла и др. негативным последствиям интенсивного перемешивания. Кроме того, расход аргона при донной продувке (по сравнению с продувкой сверху) примерно в 2 раза ниже.

Методом математического моделирования этими же авторами изучено влияние расположения донных продувочных пробок и расхода аргона на характер газодинамической картины в 135-тонном сталеразливочном ковше. Установлено, что при увеличении расхода аргона с 40 до 150 л/мин с однофурменной донной продувкой вертикальная скорость газожидкостного потока на границе шлак–металл увеличивается с 0,18 до 0,45 м/с. Приводятся данные о том, что продолжительность прохождения газа в металле от начала открытия продувочных пробок до выхода на границу шлак–металл составляет 2–2,5с (при расходе аргона 80 л/мин). Продолжительность усреднения расплава в 100-тонном ковше при расходе аргона 100 л/мин – 47 с.

Приведенные результаты противоречивы и требуют уточнения. Одновременно требуют также дополнительного изучения и уточнения приведенные данные о влиянии места расположения и количества донных продувочных пробок на характер гидродинамики расплава в ковше с точки зрения организации оптимальных условий тепло-,массообмена с учетом верхнего концентрированного электродугового нагрева для форсированного формирования рафинирующих шлаков и их эффективного использования, рационализации режимов усреднения и усвоения добавок ковшевой ванны и т.д.

В работах [3,18] достаточно подробно рассмотрено влияние футеровки ковша на эффективность внепечной обработки и ее стойкость в процессе эксплуатации, как на УКДМ, так и на УКП. Отмечается, что для условий работы УКП в технологическом потоке современных электросталеплавильных и конвертерных цехов с разливкой на МНЛЗ рациональной (с учетом удельных затрат на огнеупоры) является равная стойкость днища и продувочного узла и в два раза большая стойкость футеровки стен и шлакового пояса.

Автор [18] отмечает также влияние состава стали на показатели десульфурации стали при внепечной обработки на УКП. Практика нормального цикла (40–50 мин) эксплуатации УКП показывает, что при производстве низкосернистой стали ( $\leq 0,003\% S$ ) содержание серы в металле после выпуска в ковш не должно превышать 0,010–0,015% . По сравнению японской фирмы Kawasaki Steel при обработке стали на УКП можно достигнуть содержания серы в металле на уровне 0,0005% при продолжительности обработки до 60 мин с одновременной продувкой металла аргоном с интенсивностью 0,058 м<sup>3</sup>/т мин (при емкости ковша 100–150 т расход аргона составляет 5800–8700 л/мин) через два

продувочных блока в днище ковша и тщательном контроле состава рафинирующего шлака. Указанные режимы продувки аргоном противоречат соответствующим данным [3,20,21] и требуют расчетно-экспериментального уточнения и проверки.

Лидирующие позиции в мире по разработке конструкций УКП и технологий обработки металла с их использованием принадлежат западноевропейским, японским и американским фирмам. Среди них фирмы Хюттенверке Крупп Маннесман, Фукс Системтехник и др. (Германия), Фест Альпина (Австрия), Даниэли (Италия), ASEA-SKF (Швеция), Sollac (Франция), Kawasaki Steel, Aichi Steel Works, NKK Corp, Daido Steel и др. (Япония), Finkl and Sons, Midland Ross и др. (США).

Многочисленные публикации [20–26] в указанном направлении свидетельствуют о том, что к настоящему времени за рубежом накоплен опыт, обеспечивающий производство стали со сверхнизкими содержаниями вредных примесей ( $S \leq 0,001\%$  ,  $P \leq 0,005\%$  ), низкой концентрацией газов ( $O \leq 0,001\%$  ,  $N \leq 0,0015\%$  ,  $H \leq 0,000010\%$  ) и неметаллических включений, в т.ч. с измененной морфологией. И хотя такая информация имеет рекламную направленность, все же дает представление о характере и уровне исследований в интересующих вопросах, а, в некоторых случаях, позволяет их конкретизировать. Так, в [20] сообщается, что в числе направлений исследования по рационализации технологии обработки стали в ковше – оптимизация режимов продувки расплава инертным газом для растворения добавок, выделения включений и его гомогенизации, уточнения места ввода добавок и положения продувочного блока (рис.2). Сообщается также о коллективном проекте EGKS Общества немецких металлургов (VDEh) по разработке моделей с их последующей адаптацией на практике.

Авторы [27], перечисляя основные подходы при создании системы управления технологическим процессом рафинирования и доводки стали на изготавливаемых фирмой Даниэли УКП, подчеркивают ее гибкость, учитывающую особенности конкретного заказа. Наиболее важным оценочным параметром в реализации указанной системы управления, по мнению авторов, является температура стали с обеспечением ее непрерывного контроля. Утверждается, что хорошо отлаженная модель теплового баланса при управлении технологическим процессом на УКП обеспечивает более точную оценку температуры, чем одиночные её измерения. При рассмотрении режимов подачи добавок указывается на необходимость учета их свойств, гранулометрического состава и др. параметров. Обсуждая проблемы десульфурации отмечается возможность оснащения УКП дополнительными (погружаемыми сверху) продувочными устройствами, в т.ч. для инжектирования порошкообразных реагентов для повышения эффективности процесса.



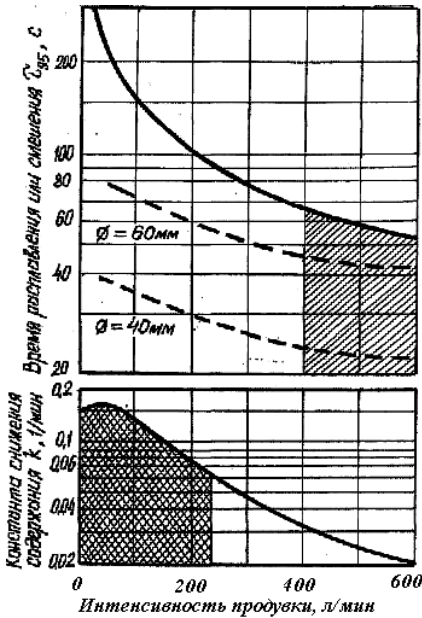


Рис.2. Влияние интенсивности продувки газом на различные стратегии продувки. Условные обозначения:

----- время смешивания при оптимизированном положении продувочного блока или места ввода добавок.

- - - - время оплавления корольков железа при 1600°C;

///-оптимальный режим работы при продувке во время ввода легирующих; Ø60мм и Ø40мм – диаметр корольков железа;

XX-оптимальный режим работы при продувке для улучшения степени чистоты металла по неметаллическим включениям (НВ);

$$k = (O_{ges}(t) - O_{ges,\infty}) / t(O_{ges0} - O_{ges,\infty});$$

где  $t$  – время;  $O_{ges}(t)$  – количество НВ в момент времени  $t$ ;  $O_{ges,\infty}$  – количество НВ в конце обработки;  $O_{ges0}$  – количество НВ в начальный момент обработки

Исследования, в т.ч. моделирование, отдельных сторон и процессов внепечной обработки стали на УКП осуществляются в СНГ и на Украине. В работах российских исследователей [28–30] методами математического и физического моделирования изучались кинетика реакций взаимодействия системы металл–шлак на УКП, динамика плавления порошкообразных добавок вводимых инжекционным способом с учетом намораживания металлической оболочки и гидродинамики процессов шлаковой ванны.

Именуются данные о проводимых работах в интересующих направлениях НМетАУ, ИЭС НАНУ, ДонГТУ, ДГТУ, ПГТУ, ФТИМиС НАНУ, исследовательскими подразделениями металлургических предприятий и ОАО «Завод «Универсальное оборудование». В частности, авторы [31] сообщают о результатах в построении моделей для создания АСУТП в сталеплавильных агрегатах на примере ДСП. По их мнению, прогноз химического состава и температуры металла позволяет решить задачи управления и повышения эффективности работы агрегата, цеха, предприятия. В основе системы прогнозирования – термодинамический расчет равновесного состава. Построенная на основе исследования компьютерная система автоматического проектирования и управления

технологическим процессом опробована и внедрена, в частности, на Молдавском металлургическом заводе. Однако, по мнению производителей, требует совершенствования и корректировки по ряду вопросов.

Возможность повышения теплового КПД процесса нагрева металла за счет организации горения электродуги непосредственно в объеме расплава сообщается в работе [32]. По мнению автора такая технология позволит совместить процессы нагрева и рафинирования стали химически активными элементами, восстанавливаемыми из оксидов непосредственно в объеме ванны.

Определенный интерес представляют результаты работы [33,34] по использованию разработанной математической и регрессионной моделей для расчета изменения температуры расплава при его обработке на УКП. Моделирование учитывает изменение температуры за счет электродугового нагрева и потерь теплоты расплава от ввода добавок, через футеровку и излучение с поверхности металла в ковше. Приводятся расчетные данные об изменении температуры в ковше емкостью 100 т при обработке металла на 4-ой, 6-ой и 9-ой ступенях трансформатора УКП. Показана достаточно высокая адекватность расчетных и экспериментальных данных.

Имеются сведения о проводимых работах на действующих современных УКП в направлении оптимизации режимов продувки, расположения продувочных элементов, сокращения продолжительности обработки металла и др. [35].

#### **Выводы.**

Таким образом, опубликованные результаты исследований рассматриваемого направления в СНГ и Украине свидетельствуют об отсутствии единой концепции как в вопросах конструкции (компоновки) УКП, так и в трактовке о порядке и параметрах производимых на ней технологических операций. Разноречивы требования к составам ТШС для рафинирования идентичных групп марок стали с учетом условий производства и требований заказчика. Отсутствуют данные о комплексном исследовании технологических процессов рафинирования и доводки стали на УКП на базе знаний о явлениях гидродинамики и тепло-,массообмена в ковшевой ванне изменяющейся турбулентности за счет совмещенного конвективного перемешивания расплава диспергируемым газом через днище ковша и электромагнитных сил дугового разряда в верхней шлакометаллической зоне, а также степени влияния переменных технологических параметров на характер и продолжительность их протекания.

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. Окорочков, А.И. Донец, Ал.Г. Шалимов и др. // *Сталь.* – 1995. – № 5. – С. 36 – 40.
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. *Основные* направления исследований технологии обработки стали на агрегате «ковш – печь» / В.А. Вихлевщук, В.П. Пиптюк, В.Ю. Болотов, И.А. Павлюченков // *Сб. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – 2004. – Вып. 8. – С. 189 – 195.
5. *Вимер Г.Э.* Обзор технологий и агрегатов ковшевой металлургии // *Черные металлы.* – 1998. – Ноябрь – Декабрь. С. 26 – 29
6. *Мюллер Ф., Смоляренко В.Д.* Некоторые тенденции развития сталеплавильного производства // *Электрометаллургия.* – 2001. – № 10. – С. 15 – 23.
7. *Отечественные* агрегаты ковш – печь емкостью 12 – 300 т / И.Ю. Зинуров, Н.И. Воробьев, М.Г. Кузьмин и др. // *Электрометаллургия.* – 2003. – № 9. – С. 2 – 6.
8. *Проектирование* и оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов; Учебник / В.А. Гладких, М.И. Гасик, А.Н. Овчарук и др. – Днепропетровск: Системные технологии, 2004. – 736 с.
9. *Использование* установки ковш – печь в составе технологического цикла электросталеплавильного производства / И.В. Деревянченко, В.А. Голинок, О.Л. Кучеренко и др. // *Сталь.* – 2001. – № 1. – С. 26 – 29.
10. *Химический* подогрев стали в ковше в конвертерном производстве АО «Северсталь» / С.М. Чумаков, Г.П. Урюпин, С.Д. Зинченко и др. // *Тр. IV конгресса сталеплавыльщиков.* г. Москва, 10 сентября 1996 г. Ассоциация сталеплавыльщиков. – М.; ОАО «Черметинформация». – 1997. – С. 295 – 296.
11. *Разработка* технологии химического подогрева стали в ковше / Д.В. Захаров, М.К. Филяшин, А.И. Дагман и др. // *Тр. VI конгресса сталеплавыльщиков.* г. Череповец, 17 – 19 октября 2000 г. Ассоциация сталеплавыльщиков. – М.; АО «Черметинформация». – 2001. – С. 80 – 81.
12. *Совершенствование* конвертерного производства стали в ОАО ММК / Р.С. Тахаутдинов, В.Ф. Сарычев, Ю.А. Бодяев и др. // *Сталь.* – 2002. – № 1. – С. 12 – 14.
13. *Сосонкин О.М., Шишимиров М.В.* Особенности теплообмена в дуговой сталеплавильной печи // *Сталь.* – 2004. – № 8. – С. 34 – 36.
14. *Кучаев А.А.* Экспериментальное исследование и компьютерное моделирование температурного поля в установке ковш – печь // *Металл и литье Украины.* – 2003. – № 1 – 2. – С. 34 – 39.
15. *Результаты* первого этапа освоения дугового плавильного агрегата постоянного тока нового поколения на ОАО «Курганмашзавод» / А.Ф. Афанаскин, И.Д. Андреев, Н.С. Власов и др. // *Литейное производство.* – 2000. – № 11. – С. 20 – 23.
16. *Математическое* моделирование процессов внеагрегатной обработки стали / В.А. Вихлевщук, А.П. Огурцов, И.А. Павлюченков и др. – Киев: ИСПО МО Украины, 1997. – 151 с.
17. *Смирнов Н.А.* О рациональной технологии внепечной десульфурации стали твердыми шлаковыми смесями // *Электрометаллургия.* – 2003. – № 5. – С. 35 – 41.

- 18 *Смирнов Н.А.* Оптимизация технологии десульфурации стали на установке ковш – печь // *Электрометаллургия.* – 2004. – № 1. – С. 20 – 28.
19. *Вихлевицук В.А., Харахулах В.С., Бродский С.С.* Ковшевая доводка стали. – Днепропетровск: Системные технологии, 2000. – 190 с.
20. *Х. – У. Линденберг.* Вклад металлургических исследований в повышение качества на примере производственного цикла «ковшевая металлургия – непрерывное литье» // *Черные металлы.* – 1999. – Октябрь. – С. 18 – 25.
21. *Ковшевая* обработка стали для получения толстого листа / Н. Банненберг, Р. Брукхауз, Г. Лахмунд и др. // *Черные металлы.* – 1998. – Ноябрь – Декабрь. – С. 30 – 34.
- 22 *Геллер К.* Опыт работы фирмы «Фукс Системтехник» с металлургическими и машиностроительными предприятиями России и СНГ и новые возможности по созданию и реконструкции металлургического оборудования // Тр. VII конгресса сталеплавильщиков. г. Магнитогорск, 15 – 17 октября 2002 г. Ассоциация сталеплавильщиков, – М.: ОАО «Черметинформация». – 2003. – С. 245 – 252.
23. *Kunze H.G., Lauter Horst, Meger P.* The ladle Surnace in secondary metallurgy // *Fuchber Huttenprax Metallweiterverach.* – 1985. – 23, № 4. – S. 245 – 246, 248.
24. *Schittly Ph.* The ladle furnace // *Conf. Pros. Toronto Meet, 1984, Dec. 4 – 7.* – Vol. 42 «Warrendale» (Pa), 1985. – P. 211 – 217.
25. *Rebovich Walter M., Eyners Harald B.* Ultra – clean steel with VAD and its economic alternative – VAI // *Iron and Steel Eng.* – 1991. – 68, № 4. – P. 30 – 33.
26. *Production of high purity bearing steels in the BOF – LF – CC route / Endo V., Doi K., Matsushima Y.* at al // *Steel Times.* – 2000. – V. 22, № 10. – P. 374 – 376.
27. *Романо М., Зочки Г.* Установки ковш – печь на заводах с полным металлургическим циклом // *Электрометаллургия.* – 2004. – № 3. – с. 24 – 26.
28. *Ровнушкин В.А., Ильин В.И., Фетисов А.А.* Кинетические закономерности окислительно – восстановительных реакций при обработке стали синтетическими шлаками на установке ковш – печь // Тр. VII конгресса сталеплавильщиков, г. Магнитогорск, 15 – 17 октября 2002 г. Ассоциация сталеплавильщиков, – М.: ОАО «Черметинформация». – 2003. – С. 439 – 443.
29. *Лозовая Е.Ю., Жучков В.И., Некрасов А.В.* Кинетика плавления ферросплавов при их вдувании в железноуглеродистый расплав // *Электрометаллургия.* – 2001. – № 1. – С. 41 – 45.
30. *Новиков Ю.П.* Гидродинамические и тепловые процессы в шлаковой ванне трехфазной печи // *Электрометаллургия.* – 2001. – № 12. – С. 19 – 23.
31. *Термодинамика* и кинетика процессов в сверхмощных ДСП и принципы интенсификации и оптимизации выплавки и внепечной обработки стали / С.А. Храпко, И.В. Деревянченко, А.В. Гальченко и др. // Тр. VII конгресса сталеплавильщиков, г. Магнитогорск, 15 – 17 октября 2002 г. Ассоциация сталеплавильщиков, – М.: ОАО «Черметинформация». – 2003. – С. 297 – 303.
32. *Низяев К.Г.* Внепечная обработка стали погружаемой электродугой // Тр. VII конгресса сталеплавильщиков, г. Магнитогорск, 15 – 17 октября 2002 г. Ассоциация сталеплавильщиков, – М.: ОАО «Черметинформация». – 2003. – С. 496 – 497.
33. *Разработка* математической модели теплоэнергетических процессов в агрегате «печь – ковш» для создания АСУ / О.Н. Кукушкин, С.В. Бейцун, А.В. Жаданос и др. // Сб. науч. тр. Национального горного университета. – 2004. – № 19, Т. 2. – С. 177 – 182.

34. *Математическая* модель нагрева расплава на установке «печь – ковш» / О.Н. Кукушкин, С.В. Бейцун, А.В. Жаданос // Математичне моделювання. – 2004. – № 1 (11). – С. 52 – 55.
35. *Сиддики Ф., Коломота В.Н., Пильчук Р.Н.* Совершенствование технологии внепечной обработки стали // Сталь. – 2003. – № 11. – С. 24 – 26.

*Статья рекомендована к печати  
д.т.н., проф.. В.Ф.Поляковым*