

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ НА  
УСТАНОВКЕ «ПЕЧЬ–КОВШ» В УСЛОВИЯХ МАРТЕНОВСКОГО ЦЕХА***Институт черной металлургии НАН Украины, НМетАУ*

Предложена модель процесса шлакообразования в процессе внепечной обработки стали мартеновского производства. Предлагаемая модель позволяет оптимизировать процесс внепечной обработки на установке «печь–ковш» емкостью 70–150т и «печь–ковш + вакууматор».

**Анализ состояния проблемы.**

Развитие технологий внепечной обработки стали в последние годы позволило дополнительно повысить качество выпускаемой стали (снизить содержание серы, уменьшить количество НВ, повысить однородность стали и уменьшить содержание в ней газовых примесей, например водорода.). При этом наиболее экономичным и распространенным в мировой практике стал по мнению специалистов агрегат комплексной обработки стали (АКОС) типа «печь–ковш» (по международной технологии– LF или LHF), созданный путем объединения установок комплексной доводки стали (УКДМ) с нагревательным модулем. Так как мартеновские цеха некоторых металлургических комбинатов Украины, все еще не выработавшие свой технологический ресурс, начали оснащаться установками «печь–ковш» + «вакууматор», оказалось, что с применением этой новой технологии мартеновский цех превратился из убыточного, энергоемкого и морально устаревшего производства в подразделение металлургического комбината, дающее экономически выгодную и конкурентоспособную продукцию, очень востребованную в настоящих условиях.

В условиях мартеновского цеха принято проводить отбор нескольких проб металла на различных этапах внепечной обработки, чтобы определить изменения, происходящие в металлическом расплаве. Также проводится замер содержания водорода в стали (он не должен превышать 2 ppm). Однако отбор и анализ пробы шлака не проводится, или проводится в исключительных, специальных случаях – проводить дорогостоящий анализ пробы шлака, не являющегося конечной продукцией передела, в настоящих рыночных условиях экономически нецелесообразно. В тоже время именно формирование шлака определяет течение процесса десульфурации и модифицирования стали.

**Постановка задачи.**

Данная работа посвящена моделированию процесса шлакообразования и определению химического состава шлака (масс.%), получаемого в результате загрузки извести, плавикового шпата и других материалов в процессе внепечной обработки. При создании модели шлакообразования

используются разработанная ранее в ИЧМ физико–химическая модель направленной связи [1], и проведенные ранее сотрудниками ИЧМ исследования процессов ковшевой доводки стали [2].

Разработанная модель позволяет более полно оценить распределение элементов на границе раздела фаз «металл–шлак», определить основные характеристики получаемого шлака (вязкость, сульфидная емкость ( $C_S$ ) и т.д.), а также косвенным путем рассчитать коэффициенты распределения элементов  $L_{Si}$ ,  $L_{Mn}$ ,  $L_S$ . Данные расчеты позволяют точнее определить количество загружаемых материалов в установку «печь–ковш» и повысить управляемость процесса внепечной обработки, т.е. добиться более точно попадания в середину интервала хим. состава модифицируемой стали поэлементно (для таких элементов как С, Si, Mn, S).

### **Изложение основных материалов исследования.**

Модель на данном этапе адаптирована для внепечной обработки марок сталей КП–2 и R–7 для установки «печь–ковш» емкостью 70–150т. Необходимо отметить, что в обычном режиме работы на наш взгляд достаточно 600–800 кг массы наведенного шлака (для 100т. установки «печь–ковш»), чтобы решить основные задачи, поставленные перед шлаком (защита зеркала металла от вредных газовых примесей атмосферы, защита от потери жидким металлом полученного тепла, процессы десульфурации стали и т.п.). В то время как на ранних этапах освоения процессов внепечной обработки с помощью аналогичной установки «печь–ковш»+«вакууматор» масса шлака в ковше могла превышать 1500кг.

Добиться высокой степени точности расчета удалось с помощью введения в модели такого понятия, как коэффициент загрузки ( $k_{EI}$ ). Под этим термином подразумевается масса модифицирующей добавки (кг), которую необходимо загрузить в ходе внепечной обработки для повышения содержания данного элемента в изготавливаемой стали на 0.01 масс.% с текущего до требуемого уровня (для серы – 0,001%). Первоначально в модели используется парциальный коэффициент загрузки ( $k'_{EI}$ ), учитывающий модификацию стали лишь по данному элементу (основной ориентир для определения коэффициентов загрузки  $k'_{EI}$  на данном этапе химический анализ стали–полуфабриката, поступивший с мартеновского передела). На следующем этапе модель формирует количество загружаемых материалов, определяет химический состав (масс.%) и вес (кг) получаемого из данных добавок шлака в ковше. После получения эти данных становится возможным расчет технологических характеристик шлака (сульфидной емкости шлака  $C_S$ , вязкости и т.д.), коэффициентов распределения элементов  $L_{Si}$ ,  $L_{Mn}$ ,  $L_S$ . Их определение позволяет уточнить и скорректировать коэффициент загрузки ( $k_{EI}$ ) с учетом вышеперечисленных характеристик шлака и пересчитать подачу загружаемых на данный ковш материалов.

В ходе выполнения работы был проведен анализ различных режимов загрузки модифицирующих материалов, который показал, что на первом

этапе выпечной обработки необходимо навести высокоосновной шлак с заданными физико-химическими свойствами, например, с высокой сульфидной емкостью. Это позволяет резко снизить содержание серы в металле до минимально безопасного предела (менее 0,018). Для выполнения этой задачи в начале выпечной обработки стали загружается известь и при необходимости плавиковый шпат.

### Результаты исследования.

Исследования показали, что основную модификацию выплавляемой стали по таким элементам как С, Si, Mn необходимо проводить на втором этапе выпечной обработки, так как данные процессы (особенно увеличение содержания Si в стали и шлаке за счет ввода SiMn, FeSi, SiCa) замедляют десульфурацию стали. При этом особое внимание в разработке модели модификации хим. состава стали необходимо уделять модификации Si. В табл. 1–2 приведены примеры основных технологических данных, типичные при производстве таких марок стали, как КП–2 и R–7.

Таблица 1. Химический состав стали и соответствующих загружаемых материалов

Сталь		КП–2		R–7	
№ плавки		1	2	1	2
Печь–ковш	CaO	265	530	735	700
	CaF <sub>2</sub>	67	50	80	60
	FeSi	240	300	145	100
	SiMn	35	200	40	300
	FeCr	–	–	130	120
	ЭБ	120	185	105	120
Вакууматор	CaF <sub>2</sub>	35	40	30	40
	FeSi	–	–	–	–
	SiCa	160	160	82	160
	Al	48	48	131	48
	FeTi	–	–	50	50
	ЭБ	–	–	–	–
Начальная проба	C	46	55	39	34
	Mn	59	63	70	35
	Si	26	24	27	24
	P	14	14	12	12
	S	24	23	20	24
	Cr	–	–	10	10
Ковшечная проба	C	56	56	45	47
	Mn	66	61	73	66
	Si	29	28	31	29
	P	14	18	10	12
	S	7	10	6	10
	Cr	15	11	20	19
	Ni	–	5	8	–

Таблица 2. Технологические параметры процесса внепечной обработки стали КП–2 и R–7

Сталь	КП–2		R–7	
	1	2	1	2
№ плавки				
Т перед <i>LHF</i> , °С	–	1580	1504	1574
Т печь–ковш, °С	1627	1629	1638	1629
Т вакууматор, °С	1626	1622	1635	1620
Т перед выпуском, °С	1630	1635	1630	1645
Т в ковше, °С	1590	–	1600	1640
Сумма аргона, м <sup>3</sup>	3912	5323	5482	5546
Давление, атм.	1,7	1,8	1,8	1,8
H <sub>2</sub> , ppm	0,9	1,4	1,6	1,2

Представленные на производстве рекомендации по изменению режима загрузки модифицирующих материалов для производства данных марок стали позволили уменьшить массу шлака на 10–30% с выполнением тех же задач, а также снизить содержание водорода в стали на 0,2–0,3ppm. Помимо увеличения управляемости процесса внепечной обработки, разработанная модель может использоваться для экономии ресурсов и средств, благодаря более рациональному использованию загружаемых материалов, в тех случаях, когда для этого имеется возможность, при точном соблюдении требований, предъявляемых к конкретной марке стали.

#### **Выводы и перспективы дальнейших поисков.**

Конечной задачей разрабатываемой модели является обеспечение на должном уровне контроля и управления ходом внепечной обработки стали мартеновского производства, например КП–2, на установке типа «печь–ковш» + «вакууматор» (емкостью 100–130 т) – решить задачи расчета количества загружаемых модификаторов стали, с исключением при этом вероятности ошибки так называемого «человеческого фактора». Первоначально разработанную модель предлагается использовать параллельно с производственным процессом, как вспомогательный инструмент технического персоналу, работающему на пульте управления установкой «печь–ковш» + «вакууматор». В дальнейшем, когда моделью будет обеспечиваться виртуальная загрузка добавок с высокой точностью по расчетным и фактическим величинам получаемого химического состава стали, становится возможным включение модели в АСУТП при внепечной обработке стали мартеновского производства.

1. Э.В. Приходько. Металлохимия многокомпонентных систем. – М.: Металлургия. –1995. –320 с.
2. В. А. Вихлевицук, В.С. Харатулах, С.С. Бродский. Ковшевая доводка стали. – Днепропетровск: Системные технологии. –2000. –190 с.

*Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. Э.В.Приходько*