



## Контроль параметров конвертерной ванны

*Проанализировано развитие методов контроля параметров конвертерной ванны. Табл. 2.  
Библиогр.: 7 назв.*

**Ключевые слова:** конвертер, ванна, контроль

*The development of methods for monitoring the parameters of converter bath was analyzed.*

**Keywords:** converter, bath, monitoring

### 1. История и состояние вопроса

#### 1.1. Косвенные методы контроля (КМК)

Высокая скорость протекания конвертерного процесса, невидимость происходящего в ванне для оператора, значительный удельный вес вспомогательных операций в общей продолжительности плавки вызвали необходимость в приборном контроле параметров, прежде всего содержания углерода и температуры, уже в самом начале существования конвертерных процессов.

Естественно, что вначале обратили внимание на факел сгорающего монооксида углерода, и появились косвенные методы контроля (КМК), основанные на спектрометрии газов: Roscoe К. (Германия, 1863), Чернов Д.К. (Россия, 1876), Glaser L.C. (Германия, 1920). Доступность этого объекта КМК вызвала попытки его использования и в дальнейшем: ДМЗ им. Петровского (1940-1941), (США, 1941), Чусовской МЗ (1942-1945), ДГЗ (1952) применительно к бессемеровскому процессу. Спектр пламени томасовского конвертера оказался менее информативен, а необходимость передувки металла для снижения содержания фосфора делала этот КМК практически бесполезным.

Спектр пламени кислородного конвертера, также оказался слабее бессемеровского, но, тем не менее, была сделана попытка его использования (ДМЗ, 1958).

Простота использования косвенных методов контроля кислородно-конвертерного процесса вызвала к жизни в 1950-70-х гг. в ведущих металлургических странах, в том числе и в нашей стране, свыше двух десятков КМК, большинство из которых давали лишь качественную информацию и не нашли применения на производстве. Лишь некоторые (например, акустический) нашел практическое применение, начиная с конвертерных процессов донного воздушного дутья (Германия, 1955).

Но «Dum spiro, spero» («Пока дышу, надеюсь»), а надежда умирает последней.

#### 1.2. Прямые методы непрерывного контроля (ПМНК)

Прямые методы контроля температуры конвертерной ванны были одновременно и непрерывными ПМНК и впервые были опробованы применительно к малобессемеровскому процессу (Великобритания, 1950). Успехи в материаловедении огнеупоров позволили обеспечить непрерывный замер температуры ванны в кислородном конвертере (КК) в Германии (1962, продолжительность замера 2-3 плавки), Австрии (1962, до 18 плавки), Японии (1964, 6 плавки), ДМЗ-КПИ (1964, 2 плавки), КМЗ-КИА (1964, 3-5 плавки). Технические трудности по замене измерительного блока не были преодолены и от этого направления ПМНК пришлось отказаться.

В 1962 г. на основе разработок Leeds Nortrup (США) - IRSID (Франция) был создан ПМНК текущего содержания углерода в конвертерной ванне по составу отходящих газов, позволяющий прогнозировать и ее температуру, который получил распространение во Франции, Германии, США, Великобритании, Японии, Канаде, Италии, Бельгии, Нидерландах, Люксембурге и других странах. Однако потери углерода за пределами действия системы, рост требований к точности состава стали заставили отказаться от этого метода, а существующие системы являются вспомогательным методом контроля, используемым не в полной мере. В частности, при промежуточной остановке продувки для скачивания шлака, химический состав металла и его температура могут быть использованы для расчета последующей траектории процесса во втором периоде продувки. При непрерывной продувке фиксируемый системой переход к интенсивному окислению углерода может быть использован для индивидуальной алгоритмизации периодов до и после этого перехода.

#### 1.3. Прямой метод дискретного контроля (ПМДК)

В 1965 г. по предложению компании General Electric на предприятии фирмы Jones & Joughlin St. Co (обе США) было опробовано дискретное измерение тем-

Таблица 1.  $\delta_c$  и  $\delta_t$  в зависимости от содержания углерода в стали

Параметр	Источник	Содержание углерода, %			
		<0,10	< 0,25	0,25-0,60	> 0,60
$\delta_c$ , ppm	3	60-320 130/7	60-740 415/15	260-1120 680/5	560-760 660/2
	0	1300 1300/1	1300 1300/1	1300 1300/1	1300 1300/1
$\delta_t$ , °C	3	5-28 11/9	5-28 13/16	6-28 14/2	28 28/1

Числитель – диапазон величин; знаменатель – средняя величина/количество случаев

пературы ванны забрасываемой в конвертер бомб-термопарой, получившее распространение в ряде ККЦ США. Неопределенность места в конвертерной ванне, в котором произошел замер, стала одной из причин отказа со временем от этого метода.

В 1969 г. на 50-т конвертере (Австрия) для дискретного замера температуры ванны была использована водоохлаждаемая вспомогательная фурма, вводимая через горловину, наконечник которой выдерживал 10-15 замеров, ставшая прототипом зонда.

## 2. Неравномерность конвертерной ванны

При продувке конвертерной ванны из нее под действием дутьевых струй, имеющих импульс  $i$  из зоны взаимодействия периодически с частотой  $f$  выбрасываются объемы металла  $V$  [1]

$$V = i / \rho_1 g k_m, \quad (1)$$

где  $\rho_1$  - плотность металла;  $g$  - гравитационное ускорение;  $k_m$  - коэффициент присоединенной массы.

В результате возникает движение металла ванны со скоростью

$$\hat{W} = 6 n w_{ex} \rho_0 q^{4/5} / \pi k_d^3 F g^{2/5}, \quad (2)$$

где  $n$  - количество сопел в верхней фурме или донных сопел (фурм) при донной продувке;  $w_{ex}$  - скорость истечения из сопел (фурм) газа нормальной плотности  $\rho_0$ ;  $q$  - расход газа на сопло (фурму);  $k_d = 1,1835$ ;  $F$  - поперечное сечение ванны.

При комбинированной продувке рассчитанные по (2) скорости складываются.

Металл ванны массы  $M_1$  движется с расходом

$$J_1 = \hat{W} F, \quad (3)$$

а продолжительность цикла перемешивания  $\tau_c$  составляет

$$\tau_c = M_1 / J_1. \quad (4)$$

При скорости выгорания углерода  $V_c$  в данной точке ванны возникает разница концентраций углерода в течении цикла перемешивания, равная

$$\Delta C = V_c \tau_c, \quad (5)$$

или после подстановок и преобразований

$$\Delta C = k M_1 V_c g^{2/5} / n W_{ex} \rho_0 q^{4/5}, \quad (6)$$

где  $k$  - коэффициент пропорциональности.

Эксперименты на лабораторных конвертерах садкой 30-1000 кг и промышленных садкой 10-125 т, описанные в литературе, дают величину  $\Delta C$  одного порядка с рассчитанной по (5). Топография содер-

Таблица 2. Динамика величины  $\delta_c$  и  $\delta_t$  при зондовом замере

Параметр	Источник	Годы				
		1962-1970	1971-1980	1980-1990	1991-2000	2001-2010
$\delta_c$ , ppm	3	160-780 390/4	120-310 168/4	60-660 269/10	- -	180 180/1
	0	- -	- -	- -	320-2000 1160/2	- -
$\delta_t$ , °C	3	14-28 19/3	8-21 13/8	6-21 12/9	- -	7 7/1
	0	- -	- -	10 10/1	- -	- -

жаний углерода по объему ванны 135-кг конвертера [2] показывает, что в целом она определяется формой зоны взаимодействия, рассчитанной по [1], и сложна, что затрудняет выбор точки ванны, представляющей по составу его среднюю величину.

## 3. Зондовый замер

Контроль параметров конвертерной ванны на заключительном этапе продувки получил распространение в кислородно-конвертерном производстве и может включать определение температуры, содержание углерода и кислорода и отбор пробы для определения концентраций в металле марганца и фосфора с датчиками в любом наборе определяемых параметров.

Сведения в литературе о точке, в которой располагается датчик в конвертерной ванне, крайне ограничены. На 200-285-т конвертерах измерительный зонд вводился на расстоянии 112-167 см от оси конвертера, на 120-т конвертере на глубину 500-600 мм. Отмечается наличие не промешиваемых придонных участков ванны.

Попытки первоначально осуществлять зондовый замер без остановки продувки, очевидно, были безуспешны в силу значительной неравномерности состава ванны. Впоследствии [3] стали использовать выдержку без дутья до 1 мин в связи с тем, что при глубине ванны 1,6 м равномерность по углероду и температуре наблюдалась только на 1,2 м, а далее увеличивалось содержание углерода, а температура уменьшалась на 15 °C.

Отечественная практика [4, 5] показала, что на конвертерах садкой свыше 100 т после остановки продувки и повалки конвертера содержание углерода в пробе на 0,02-0,14 % меньше, чем в выпущенной стали. Очевидно, обезуглероженный металл зоны взаимодействия не полностью перемешивается с остальной ванной, а в виде своеобразной линзы остается на поверхности ванны. В связи с этим в некоторых источниках говорится о раздувке шлака воздухом через зонд перед замером.

В начале 1980-х гг. специалисты August Thyssen считали, что зондовый замер выгоден при стандартной шихте и получении содержаний серы и фосфора в заданных пределах.

Анализ опубликованных данных о среднеквадратичных отклонениях фактических содержаний углерода  $\delta_c$  и температуры  $\delta_t$  в зависимости от содержания углерода в выплавляемой стали приведен в табл. 1 для зарубежных (3) и отечественных (0) ККЦ.

С увеличением содержания углерода в выплавляемой стали увеличивается среднеквадратичное отклонение как по углероду, так и по температуре в связи с более высокой скоростью выгорания углерода в соответствии с зависимостью (6).

Результаты анализа событий, которые имели место за 50 лет существования зондового метода (США, фирма Bethlehem Steel Corp, ККЦ в Lacawanna (285 т) и Sparrows Point (200 т), 1963) представлены в табл. 2, как средние квадратичные отклонения по углероду  $\delta_c$  и температуре  $\delta_t$ .

После минимизации в 1970-х гг. отмечается увеличение среднего квадратичного отклонения по углероду в 1980-х гг. в связи с ростом доли углеродистых сталей в зарубежной практике, однако величина  $\delta_c$  остается на приемлемом уровне. Величина  $\delta_t$  стабильно уменьшается, что свидетельствует о совершенствовании технологии зондового замера. Свои успехи, в частности, рекламирует фирма Danieli Cogus (Германия) [6]. Однако стоимость подобных услуг сдерживает предприятия Украины от их использования.

Интересно, что 50 лет тому назад фирмой Nippon Kokan была разработана математическая модель и система автоматического управления кислородно-конвертерным процессом, которая на 50-т конвертере фирмы Japan Steel Tube Corp. показала результаты [7], практически не отличающиеся от достигнутых в [6].

В 1980-х гг. внепечная обработка стали (ковшовая металлургия) стала самостоятельным участком сталеплавленного производства с продолжительностью

технологических процессов до 2 ч, в течение которых температура стали может изменяться на величину до 200 °С, а компенсация теплотерь осуществляется на установке ковш-печь (L-F). Имеется возможность снизить и повысить содержание любого из элементов в стали. В этих обстоятельствах значимость зондового замера и его точности сохраняется только в ККЦ, не использующих соответствующих оборудования и технологий. Возможно, этим объясняется тот факт, что в последнее двадцатилетие практически нет исследований по зондовому замеру (табл. 2).

### Выводы

Проанализирована динамика развития методов контроля конвертерной ванны.

### Библиографический список

1. Охотский В.Б. Модели металлургических систем. – Днепропетровск: Системные технологии, 2006. – 287 с.
2. Rote F.E., Flinn R.A. // Met. Trans. - 1972. - June. - P. 1373-1384.
3. Narita S., Kaiko S., Furusaki T., Masuo H. // Trans. ISI. - Jap. 1977. - V. 17. - № 9. - P. 534-540.
4. Козин Г.Н., Матухно Г.Г., Китаев А.Т. и др. // Сталь. - 1968. - № 5. - С. 411-413.
5. Токовой С.К., Поволоцкий Д.Я., Абезгауз М.З. и др. // В кн. Сталеплавленное производство. – Кемерово: КПИ, 1975. - С. 59-63.
6. Апельдорн Г.-Я., Хуббелинг П.Д., Гостьес Н. // Сталь. - 2005. - № 10. - С. 58-61.
7. Кацура К., Накамура Ш. // В кн. Производство стали с применением кислорода. – М.: Металлургия, 1965. - С. 385-391.

Поступила 20.08.2012

УДК 669.184

Кулик А.Д. /к.т.н./, Кашцев М.А. /к.т.н./, Похвалитый А.А., Сотниченко С.С.

Днепродзержинский государственный технический университет

Наука

## Совершенствование выпуска стали из конвертера

*Разработана модель выпускного канала 250-т конвертера, изложены первые результаты холдного моделирования взаимодействия в ее полости газовых струй со струей жидкости. Ил.3. Табл. 3. Библиогр.: 1 назв.*

**Ключевые слова:** выпускной канал, длительность выпуска, летка-диспергатор, газожидкостный поток, организация струи, брызгоунос

*The model of the outlet of a 250 tons converter was developed and the first results of cold modeling the interaction of gas flows with the liquid flow in its cavity were presented.*

**Keywords:** outlet, tapping time, dispersing taphole, gas-liquid flow, flow organization, drop entrainment

### Постановка проблемы

Выпускной канал любого СП агрегата является очень важным его узлом, от состояния и геометрических параметров которого во многом зависят ре-

зультаты производства стали. Его функции в последние десятилетия расширены в связи с проблемой отсечки печных шлаков. Вместе с тем, для конвертерной технологии обостряется необходимость увеличе-