

**П.С. Харлашин, Ассиил Кадхим Мохаммед, А.К. Харин**

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ГАЗА НА СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ ПРИ РАЗДУВКЕ ШЛАКА В КОНВЕРТЕРЕ**

Внедрение технологии раздувки конечного шлака обеспечило повышение стойкости футеровки кислородных конвертеров в несколько раз. Однако теория взаимодействия сверхзвуковых, как правило, нерасчётных струй со шлаковым расплавом только разрабатывается. В связи с невозможностью поддерживать давление перед сопловым блоком продувочной фурмы постоянным, истекающие струи являются нерасчётными с характерной для них волновой структурой. Опыт металлургических комбинатов целого ряда стран мира показал, что раздувка шлака в конвертере, совместно с факельным торкретированием, обеспечивает условия для радикального (в 2-5 раз) увеличения стойкости футеровки конвертеров. Использование этих двух технологий может обеспечить увеличение стойкости футеровки вплоть до 20 – 25 тыс. плавов и выше. В настоящее время раздувка шлака в полости 350т конвертеров ПАО ММК «Азовсталь» уже внедрена, и стойкость футеровки сразу увеличилась вдвое.

*Цель работы* – показать, как изменяются присоединённая масса газа к сверхзвуковой струе, а также относительная температура  $T_x/T_1$  и относительная скорость  $w_x/w_1$  в произвольном сечении струи на её длине  $\bar{x}$  при разогреве газа в полости конвертера.

Численное решение системы алгебраических уравнений позволило найти долю массы газа, эжектируемого из полости конвертера сверхзвуковой нерасчетной струей (присоединённая масса), как

$$g = \frac{2\bar{r}_{\max} \bar{x}}{D\sigma} C_i (1 - C_i^2)^{1/2} \int_{-\infty}^{\eta_j} \frac{\varphi d\eta}{\theta + \varphi(1 - \theta) - \varphi^2 C_i^2}. \quad (1)$$

Решая уравнение постоянства количества движения получили, что среднемассовая скорость азотной струи, вытекающей из сопла Лавалея с учётом присоединения струёй шлака, рассчитали как:

$$w_x = \left[ (1 - g_u \psi_u) w_1 + \frac{p_r (n - 1)}{\rho_1 w_1} - \frac{F_x}{F_1} \frac{p_x - p_r}{\rho_1 w_1} \right] \frac{1}{(1 + g + g_u) \beta}. \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2)  $C_i$  – число Крокко,  $\bar{r}_{max}$  – максимальный радиус первой бочки нерасчетной сверхзвуковой струи,  $\theta = T_r / T_0$  – температурный фактор,  $g = m_r / m_1$  – присоединённая струёй масса газа из полости конвертера,  $g_{шл} = m_{шл} / m_1$  – присоединённая струёй масса шлака,  $n = \rho_1 / \rho_r$  – степень нерасчётности истекающей сверхзвуковой струи,  $w_1$  – скорость на выходе из сопла, м/с,  $\rho_1$  – плотность азота в выходном сечении сопла, кг/м<sup>3</sup>.

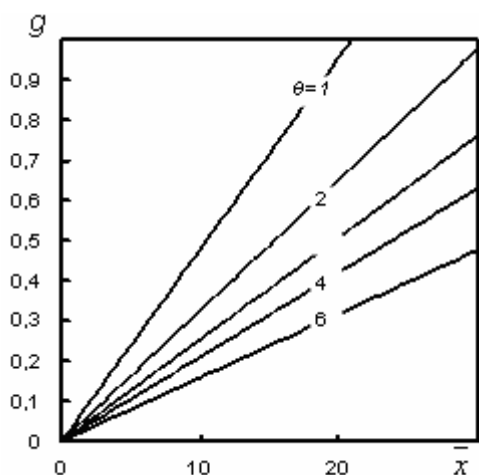


Рис. 1 – Зависимость присоединенной массы  $g$  от относительной температуры в полости конвертера  $\theta$  на различном удалении  $\bar{x}$  от среза сопла. Исходные данные:  $t_o = 30^\circ\text{C}$ ,  $t_{шл} = 1500^\circ\text{C}$ ,  $V_H = 210 \text{ м}^3/\text{мин}$ ,  $t_r = 30-1500^\circ\text{C}$ .

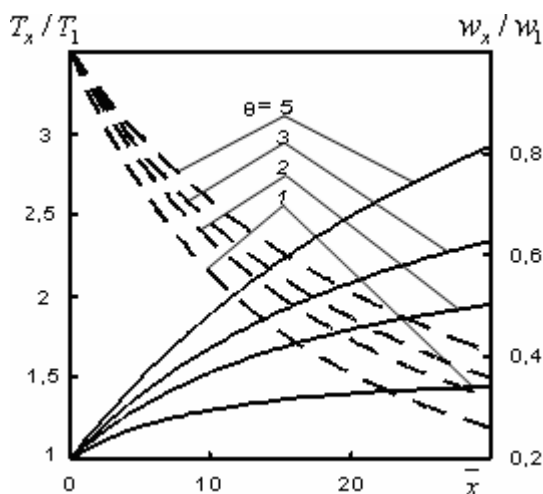


Рис. 2 – Зависимость отношения температур  $T_x/T_1$  (—) и скоростей  $w_x/w_1$  (---) от относительной температуры в полости конвертера  $\theta$  на различном удалении  $\bar{x}$ . Исходные данные:  $t_o = 30^\circ\text{C}$ ,  $V_H = 210 \text{ м}^3/\text{мин}$ ,  $t_r = 30-1500^\circ\text{C}$ .

Приведём пример. Если  $\theta$  увеличивается с 1 до 6, то из-за уменьшения плотности  $\rho_1$  конвертерного газа в 6 раз на расстоянии  $\bar{x} = 20$  величина  $g$  снижается с 1 до 0,3(рис.1).

Адекватность модели подтверждается тестовыми проверками. Так, если

- $x = 0$ (срез сопла), то присоединённая масса  $g = 0$ , что естественно(рис.1);
- $\theta$  возрастает, то струя присоединяет меньшую массу более разогретого газа и  $g$  снижается на любом удалении  $\bar{x}$  (рис.1);
- сечение струи удаляется от среза сопла, то присоединённая масса  $g$  по длине  $\bar{x}$  возрастает при любой температуре  $t_o$ ,  $t_r$  (рис. 1);
- $x = 0$ , то при любых параметрах ( $t_r$ ,  $t_o$ ,  $\theta, V_H$ ), отношения  $T_x/T_1 = 1$ , и  $w_x/w_1 = 1$ , что подтверждает правильность решения (рис.2).

Таким образом, впервые установлено, как разогрев газа в полости конвертера и присоединение шлака влияют на термогазодинамические параметры сверхзвуковой струи, внедряющейся в шлаковый расплав.

УДК 669.046.516

**П.С. Харлашин, А.В. Бендич**

Государственное высшее учебное заведение

«Приазовский государственный технический университет», Мариуполь

### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВНЕПЕЧНОЙ ДОВОДКИ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ**

Постоянно растущие требования к качеству стали, а также к снижению энергетических и сырьевых расходов на её производство привели к разработке ряда новых прогрессивных технологий, включающих обработку металла в ковше или специальных агрегатах внепечной обработки.

Дополнительная обработка металла в ковше может существенным образом улучшить технико-экономические показатели конвертерной плавки и, главным образом, обеспечить получение стали высокого качества с низким содержанием серы, фосфора, кислорода и неметаллических включений, водорода, азота.

Удаление газов и неметаллических включений из металлического расплава – рафинирование стали продувкой аргоном через применяемые продувочные устройства (пробки различной модификации, погружные фурмы, трубки, вмонтированные в шибберные каналы).

Впервые теоретические основы дегазации металлических расплавов путём продувки их нейтральными газами были разработаны Геллером. Суть их заключается в следующем: за время всплывания пузырьков аргона в металле соотношения между концентрациями  $[H]$  или  $[N]$  в нём и их парциальными давлениями в пузырьках достигают практически предельных значений.

Кинетика десорбции водорода в пузырьки аргона заключается в том, что лимитирующей кинетической стадией всего процесса в целом является скорость массопереноса растворённых газов в металле. Было установлено, что зависимость величины десорбции водорода из жидкого металла в пузырёк аргона от объёма вдуваемого аргона за время дегазации оказалась прямолинейной [1].

Значительно эффективнее проходит десульфурация и дефосфорация стали в сталеразливочных ковшах, предназначенных для эксплуатации в условиях внепечной