

$$I_i' = \frac{3\rho_i}{2\rho_p^o \delta_i^3} \sum_{r=1}^{i-1} \rho_r K_{ri} \left[ w_r - (1 - \Phi_{ri}) \sum_{q=1}^{i-1} w_{riq} \alpha_{riq} \right], \quad (5)$$

$$I_i'' = \frac{3}{2\rho_p^o} \sum_{r=i+1}^N \frac{\rho_r}{\delta_i^3} \sum_{q=1}^{r-1} \rho_q K_{qr} (1 - \Phi_{qr}) \alpha_{qri} w_{qri}, \quad (6)$$

$$K_{ri} = \mathcal{E}_{ri} (\delta_r + \delta_i)^2 |w_r - w_i|. \quad (7)$$

Верхние индексы в (1) – (7) означают: ' - слагаемые, связанные с изменением диаметра капель  $\delta_i$  при их взаимодействии с мелкими каплями, '' - с уменьшением количества капель  $i$  - й фракции при взаимодействии с более крупными, ''' - с образованием  $s$  - осколков при столкновении  $q$  - снарядов с  $r$  - мишенями ( $\delta_r > \delta_q$ ,  $\delta_r > \delta_s$ ).

Выполнены расчеты по влиянию высоты скруббера, плотности орошения, скорости капель, скорости газа и др. на степень очистки газов в мокром массообменном скруббере.

## РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПРОДУВКИ ГАЗОПОРШКОВЫМИ СТРУЯМИ ПРИ НАПЛЁСКИВАНИИ ШЛАКА НА ФУТЕРОВКУ КОНВЕРТОРА

А.К. Харин, П.С. Харлашин

На ПАО «ММК Азовсталь» достигнут рекорд по стойкости футеровки 350т кислородных конвертеров. Внедрение технологии раздувки конвертерного шлака позволила увеличить стойкость футеровки до более, чем 7 тыс. плавов. На металлургических комбинатах Китая стойкость футеровки доведена до 20 тыс. плавов и выше. Эту передовую технологию можно усовершенствовать, раздувая шлак не азотом, а азотно-порошковыми струями.

Цель настоящей работы – установить влияние температуры в полости конвертера на присоединенную массу окружающей среды и скорость  $w_x$  газопорошковой струи на различном удалении от среза сопла.

Присоединенную массу  $g$  рассчитывали по известному соотношению

$$g = \frac{2\bar{r}_{\max} \bar{x}}{D\sigma} C_i (1 - C_i^2)^{1/2} (I_{1R} - I_{2R}),$$

Решив уравнение постоянства количества движения

$$F_1(p_1 - p_\Gamma) + \beta \rho_1 w_1^2 F_1 = \rho_x w_x^2 F_x + (p_x - p_\Gamma) F_x,$$

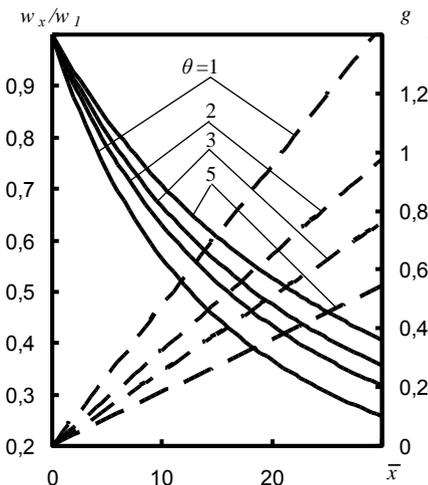
получили, что среднемассовая скорость струи на расстоянии  $x$  от среза сопла в сечении  $xx$ , где статическое давление  $p_x$  уравнивается с атмосферным  $p_\Gamma$ , может быть найдена по формуле

$$w_x = \left[ \frac{p_\Gamma (n-1)}{\rho_1 w_1} + \beta w_1 \right] \frac{1}{(1+g)\beta}.$$

Расчёты проводили по следующим исходным данным. Температуру торможения азота (т.е. на входе в сопло) изменяли в пределах  $t_o = 25 - 600^\circ\text{C}$ , а температуру газов в полости конвертера – в интервале  $t_\Gamma = 300 - 1000^\circ\text{C}$ . Теплоёмкость азота в окружающей среде (полость конвертера) принимали равной  $c_p = 1,25 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ . При расчётном режиме ( $n=1$ ) расход азота через одно сопло составлял  $V_n = 210 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Диаметр сопла был равен в критическом  $d_{кр} = 47 \text{ мм}$  и выходном сечении  $d_1 = 69 \text{ мм}$ .

Получили, что чем больше относительная температура  $\theta$  (больше  $t_\Gamma$ ), тем меньше масса газа, присоединяемая из полости конвертера (рис.) Так, на расстоянии  $\bar{x} = 30$  при  $\theta=1$  присоединенная масса  $g = 1,4$ , а при  $\theta=5$  она составляет только  $g = 0,55$  (рис.). Это объясняется тем физически бесспорным фактом, что при увеличении  $\theta$ , плотность эжектируемой среды падает, снижается и масса подсосываемого газа.

Как следует из рисунка, по мере удаления от среза сопла отноше-



ние скоростей  $w_x/w_1$  снижается при любом  $\theta$ . Характерно, что чем больше  $\theta$ , тем сильнее разогрега окружающая среда, тем ниже присоединенная масса  $g$ , и, по этой причине, отношение скоростей  $w_x/w_1$  увеличивается. Например, при  $\theta = 1$  и  $\bar{x} = 20$ , относительная скорость  $w_x/w_1 = 0,38$ , а при повышении  $\theta$  до 5,  $w_x/w_1$  составляет 0,52.

Рисунок. Влияние относительной температуры  $\theta$  на изменение относительной скорости  $w_x/w_1$  (—) и присоединенной массы  $g$  (- - -) по длине струи  $\bar{x}$ . Исходные данные:  $t_o=30^\circ\text{C}$ ,  $V_n=210 \text{ м}^3/\text{мин}$ ,  $t_r = 30-1500^\circ\text{C}$ .

Несколько неожиданной является зависимость присоединенной массы  $g$  от температуры подогрева азота  $t_o$ . Из рисунка следует, что с удалением от среза сопла присоединенная масса  $g$  увеличивается при любом  $t_o$ . С повышением температуры  $t_o$ , присоединенная масса  $g$ , казалось бы, должна расти. Однако с нагревом азота перед соплом при  $m=\text{const}$ , и появлением дополнительного, теплового сопротивления, давление  $p_o$  также возрастает, что в конечном счете приводит к снижению присоединенной массы  $g$ . Например, при повышении температуры  $t_o$  с  $30^\circ\text{C}$  до  $600^\circ\text{C}$  на расстоянии 20 калибров присоединенная масса  $g$  уменьшается с 0,32 до 0,23. При этом относительная скорость  $w_x/w_1$  возрастает с 0,54 до 0,58.

Эта методика позволяет определить параметры газопорошковой струи с учётом шлака, попадающего в неё.

## ВЛИЯНИЕ ВОССТАНОВИМОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ НА ВОССТАНОВИТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ГАЗОВОГО ПОТОКА

В. П. Русских, канд. техн. наук,  
В. В. Семаков, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ»

На основе производственных показателей работы доменной печи (ДП) № 6 МК «Азовсталь» и результатов лабораторных исследований константы скорости восстановления окатышей ЦГОК и агломерата собственного производства при помощи математической модели изучено влияние восстановимости загружаемого железорудного сырья на восстановительную работу газа в доменной печи. Из условия равенства потребности в коксе-восстановителе и коксе-источнике тепла получено уравнение зависимости степени использования газа по  $\text{FeO}$   $\eta_\phi$  от степени косвенного восстановления  $r_i$ :  $\eta_\phi = r_i / (4,056 - 2,120 r_i)$ , графическая зависимость показателя противотока шихты и газа  $G_I$  от  $\eta_\phi$  представлена на рисунке прямой АВ.