

*Диментьев А.О.,
д.т.н. Новохатский А.М.,
к.т.н. Дорофеев В.Н.,
к.т.н. Карпов А.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ПОРОЗНОСТЬ КОКСОВОЙ НАСАДКИ В СЛОЕ ЧУГУНА

Розроблена методика розрахунку порозності частини коксової насадки зануреної у шар продуктів плавки, який знаходиться в горні доменної печі. Визначено, що рух чавуну в льотці під час випуску буде ламінарним, якщо він виходить з шару, в який не занурена коксова насадка.

***Ключові слова:** доменна піч, горн, коксова насадка, порозність, шар чавуну, шар шлаку.*

Разработана методика расчета порозности части коксовой насадки погруженной в слой продуктов плавки, который находится в горне доменной печи. Определено, что движение чугуна в летке во время выпуска будет ламинарным, если он выходит из слоя, в который не погружена коксовая насадка.

***Ключевые слова:** доменная печь, горн, коксовая насадка, порозность, слой чугуна, слой шлака.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Показатели работы доменных печей большого объема в значительной мере зависят от работы горна. Одним из определяющих факторов, влияющих на работу горна, является остаток слоя шлака в горне доменной печи, после закрытия выпуска.

Количество остаточного шлака зависит от объема накопленных продуктов плавки в горне перед открытием выпуска, вязкости продуктов плавки, диаметра летки, давления дутья и порозности коксовой насадки.

Порозность коксовой насадки, погруженной в слой продуктов плавки, влияет на скорость движения шлака к летке во время выпуска. Уменьшение этой порозности приводит к снижению скорости движения шлака и создает угрозу загромождения горна.

Оценить порозность коксовой насадки, погруженной в слой продуктов плавки, приборами на данный момент не возможно. Так же нет методики расчета этой порозности. Знание порозности коксовой насад-

ки, погруженной в слой продуктов плавки в горне печи, позволит технологическому персоналу доменной печи своевременно отреагировать на возможное загромождение горна и производить промывки горна по необходимости, а не по определенному графику.

Анализ исследований и публикаций.

Предыдущие исследователи пришли к выводу, что коксовая насадка, которая погружена в слой продуктов плавки, имеет неодинаковую порозность по радиусу горна [1,2]. Ее можно разделить на три зоны: периферийную, с хорошими дренажными условиями, центральную, с плохими дренажными условиями, и промежуточную [1].

Неоднократно предпринимались попытки оценить порозность коксовой насадки, погруженной в слой продуктов плавки, при этом исследовали порозность коксовой насадки расположенной в районе фурм и летки [3,4], изучали гидродинамику горна действующей доменной печи с использованием радиоактивных трассеров [5].

Основным недостатком предыдущих методов определения порозности коксовой насадки, погруженной в слой продуктов плавки, является отсутствие возможности оценить порозность во всем объеме слоя продуктов плавки, накопленных в горне доменной печи.

Постановка задачи.

Чтобы определить порозность коксовой насадки, погруженной в слой продуктов плавки, необходимо ее рассчитать в каждой из трех зон данной коксовой насадки или среднюю для этих трех зон.

Анализ движения чугуна в летке во время выпуска дал возможность создать методику расчета средней порозности коксовой насадки, погруженной в слой чугуна, накопленный в горне доменной печи.

Изложение материала и его результаты.

Рассмотрим порозность идеального слоя, который состоит из шаров одинакового диаметра. Выделим в данном слое объем, который имеет заданную высоту и площадь поперечного сечения. В выбранном объеме шаров существует N одинаковых каналов, а порозность слоя будет равна

$$\xi = \frac{N \cdot \omega \cdot h}{V} = \frac{N \cdot \omega \cdot h}{F \cdot h} = \frac{N \cdot \omega}{F}, \quad (1)$$

где ξ – порозность идеального слоя;

N – число одинаковых каналов, шт.;

ω – площадь одного канала, м^2 ;

h – высота рассматриваемого объема, м;

F – площадь поперечного сечения рассматриваемого объема, м^2 .

Расход жидкости через один канал составит

$$q = \omega \cdot \mathcal{G}_\phi, \text{ м}^3 / \text{с}$$

где q – расход жидкости через один канал, $\text{м}^3/\text{с}$;

\mathcal{G}_ϕ – фактическая скорость жидкости, $\text{м}/\text{с}$.

Тогда расход жидкости через выбранный объем в идеальном слое можно рассчитать по формуле

$$Q = q \cdot N = N \cdot \omega \cdot \mathcal{G}_\phi, \text{ м}^3 / \text{с} \quad (2)$$

где Q – расход жидкости через выбранный объем в идеальном слое, $\text{м}^3/\text{с}$.

Разделим обе части уравнения (2) на площадь поперечного сечения выбранного объема в идеальном слое

$$\frac{Q}{F} = \frac{N \cdot \omega \cdot \mathcal{G}_\phi}{F}. \quad (3)$$

Отношение расхода жидкости через сечение идеального слоя на площадь поперечного сечения этого объема даст скорость фильтрации жидкости через данный объем

$$\mathcal{G}_0 = \frac{Q}{F}, \text{ м} / \text{с} \quad (4)$$

где \mathcal{G}_0 – скорость фильтрации жидкости через выбранный объем в идеальном слое, $\text{м}/\text{с}$.

Подставим в уравнение (3), скорость фильтрации жидкости через выбранный объем в идеальном слое полученную по формуле (4) и порозность выбранного объема в идеальном слое полученную по формуле (1). Таким образом, уравнение (3) примет вид

$$\mathcal{G}_0 = \xi \cdot \mathcal{G}_\phi, \text{ м}/\text{с}. \quad (5)$$

Зная фактическую скорость движения чугуна и шлака без коксовой насадки, и определив скорость фильтрации чугуна и шлака через часть коксовой насадки, которая погружена в слой продуктов плавки, можно рассчитать среднюю порозность данной части коксовой насадки, преобразовав формулу (5)

$$\xi = \frac{\mathcal{G}_0}{\mathcal{G}_\phi}. \quad (6)$$

Фактической скоростью чугуна является скорость движения чугуна, выходящего из слоя без коксовой насадки через летку доменной печи. Для расчета этой скорости используем формулы потери напора жидкости, при движении в трубе и основную формулу числа Рейнольдса.

Для разных видов движения потока жидкости существуют разные формулы потери напора жидкости. Предположим, что поток чугуна в летке является ламинарным и чугун выходит из слоя продуктов плавки в который не погружена коксовая насадка. Тогда потери напора можно рассчитать по формуле

$$h_l = \frac{64}{\text{Re}_d} \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{g_\phi^2}{2 \cdot g}, \text{ м} \quad (7)$$

где h_l – потери напора чугуна в летке доменной печи, м;

Re_d – число Рейнольдса;

D – диаметр чугунной летки, м.

Рассмотрим формулу расчета потери напора чугуна в летке доменной печи в общем виде

$$h_l = \frac{P}{\rho \cdot g} - l \cdot \sin \beta, \quad (8)$$

где P – перепад давлений в летке между давлением на чугун в горне и давлением с наружи печи, при движении чугуна через летку доменной печи, Па;

ρ – плотность чугуна, м³/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

l – длинна летки, м;

β – угол наклона летки, рад.

Приравняем формулы потери напора в общем виде (7) и для ламинарного движения (8)

$$\frac{P}{\rho \cdot g} - l \cdot \sin \beta = \frac{64}{\text{Re}_d} \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{g_\phi^2}{2 \cdot g}. \quad (9)$$

Подставим в уравнение (9) формулу для расчета числа Рейнольдса и выразим скорость движения чугуна в летке

$$\frac{P}{\rho \cdot g} - l \cdot \sin \beta = \frac{64 \cdot \eta}{g_\phi \cdot D \cdot \rho} \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{g_\phi^2}{2 \cdot g}. \quad (10)$$

Сократим правую и левую часть формулы (10) на $\rho \cdot g$. Получаем формулу расчета скорости чугуна в летке, который выходит из слоя без коксовой насадки в горне доменной печи, во время выпуска

$$P - l \cdot \sin \beta \cdot \rho \cdot g = \frac{64 \cdot \eta \cdot l}{D^2} \cdot \frac{g_\phi}{2},$$

$$g_\phi = \frac{(P - l \cdot \sin \beta \cdot \rho \cdot g) \cdot D^2}{32 \cdot \eta \cdot l}, \text{ м}^3 / \text{с}. \quad (11)$$

Используя уравнение (11) и формулу числа Рейнольдса были произведены расчеты по данным работы доменной печи №1 ПАО «АМК» числа Рейнольдса и скорости чугуна в летке доменной печи, который выходит из слоя без коксовой насадки. Скорость чугуна составила 17,1 м/с, при этом число Рейнольдса равно 7,8.

По результатам расчетов можно сделать вывод, что движение чугуна в летке доменной печи во время выпуска будет ламинарным, при условии что чугун выходит из слоя, в который не погружена коксовая насадка.

Рассчитать расход чугуна в летке доменной печи во время выпуска, можно по формуле расхода жидкости

$$Q = g_0 \cdot \omega, \text{ м}^3 / \text{с} \quad (12)$$

где Q – расход чугуна, м³/с;

ω – площадь сечения летки, м².

Физический смысл расхода чугуна через летку печи во время выпуска это объем выпущенного чугуна за определенный промежуток времени

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{m}{\rho \cdot t}, \text{ м}^3 / \text{с} \quad (13)$$

где V – объем выпущенного чугуна, м³;

t – промежуток времени за который был выпущен чугун, с;

m – масса чугуна выпущенного за данный промежуток времени, т;

ρ – плотность чугуна, т/м³.

Приравняем формулу (12) и формулу (13) расхода чугуна через летку доменной печи во время выпуска, и выразим из полученного уравнения скорость движения чугуна в летке во время выпуска

$$g_0 = \frac{m \cdot \omega}{\rho \cdot t}, \text{ м/с.} \quad (14)$$

Однако в расчетах не учтены несколько важных факторов, которые будут влиять на величины рассчитанных скоростей: разгар летки во время выпуска, высота слоя чугуна в горне и глубина погружения коксовой насадки в слой продуктов плавки.

Разгар летки во время выпуска, высота слоя чугуна в горне и глубина погружения коксовой насадки в слой чугуна в горне печи должны иметь не значительные колебания от выпуска к выпуску на одной действующей доменной печи. Рассчитать среднюю порозность по формуле (6) без этих данных нельзя, но можно проанализировать изменение величины средней порозности, полученной по этой формуле.

Наибольшая величина средней порозности части коксовой насадки погруженной в слой продуктов плавки должна быть после промывки горна, а наименьшая будет при загромождении горна. Поэтому, если рассчитывать по формуле (6) величину средней порозности, можно, путем анализа изменения величины порозности на каждом выпуске, разработать методику определения загромождения горна доменной печи на раннем этапе.

Выводы:

1. По результатам расчетов скорости движения чугуна в канале отверстия для выпуска продуктов плавки из доменной печи во время выпуска, движение чугуна в летке будет ламинарным, при условии истекания чугуна из слоя, в который не погружена коксовая насадка.

2. Разработанную методику расчета средней порозности части коксовой насадки, которая находится слое чугуна, можно использовать для анализа изменения средней порозности от выпуска к выпуску на доменной печи с целью определения начального этапа загромождения горна.

Библиографический список

1. *Nogro P. Characterization of the permeability of the blast furnace lower part / P. Nogro, C. Petit, A. Urvoy, D. Sert, H. Pierret // Rev. met.– France.– 2001. – № 6. – С. 521-531.*

2. *Freuer A. Computation of the iron flow in the hearth of a blast furnace / A. Freuer, J. Winter, H. Hiebler // Steel Res. – 1992. – №4. – С.139-146.*

3. *Assessment of coke bed permeability in the lower part of the blast furnace / P. Negro, Ch. Petit, A. Urvoy, H. Pierret, D. Sert // Jfth European Coke and Ironmaking Congress, June 19-21, 2000: Proc, Vol 1. - Paris. 2000. - С. 241-249.*

4. *A novel approach in the estimation of blast furnace hearth voidage / R. J. Nightingale, F. W. Tanzil // Iron and Steelmaker.— 1997.— 24, № 2.— C. 35-37.*

5. *Interprétation des traçages radioactifs dans le creuset du haut-fourneau 4 de Sollac Dunkerque [Rapp.] «Mini—Congr.» Fonte, Paris, — La Défense, 12 oct., 1993 / F. Didelon // Rev. met. (Fr.) 1994 .— № 1 .— C. 134—137.*

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.