

*д.т.н. Новохатский А.М.,
к.т.н. Тищенко О.М.,
Михайлюк Г.Д.,
Карпов А.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ, ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА АНТРАЦИТ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Розрахунковим способом визначено навантаження, що діє на матеріали в доменній печі. Експериментальним шляхом знайдена міцність антрациту стиском при різних температурах. Зроблено порівняльний аналіз значень міцності антрациту, отриманих дослідним шляхом, зі значеннями навантаження, що діє на антрацит в печі.

Ключові слова: антрацит, міцність, гаряча міцність, навантаження, температура, стиск.

Расчетным способом определена нагрузка, действующая на материалы в доменной печи. Опытным путем найдена прочность антрацита сжатием при различных температурах. Произведен сравнительный анализ значений прочности антрацита, полученных опытным путем, со значениями нагрузки, действующей на него в печи.

Ключевые слова: антрацит, прочность, нагрузка, температура, сжатие.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Стабильная работа доменной печи в значительной степени зависит от прочности загруженных в нее материалов. Каждый материал имеет различную степень сопротивления разрушению. Наряду с этим, для одного и того же материала, возможны значительные расхождения в степени сопротивления разрушению в зависимости от разных факторов. В связи с этим доменщики стремятся применять материалы, имеющие высокие прочностные свойства.

Оценить нагрузку, действующую на материалы в доменной печи, и таким образом оценить степень разрушения материалов в доменной печи, можно рассчитав действующие на материалы в печи давление.

Анализ исследований и публикаций. Материалы, находящиеся в рабочем пространстве доменной печи, подвержены воздействию множества факторов, основными из которых являются:

- давление столба шихтовых материалов;
- силы внутреннего трения;
- силы трения о стенки;
- давление газов, образующихся в горне.

Проведенные ранее исследования сводятся к определению активного веса шихты [1]. Активный вес шихты это разница между силой тяжести материалов с одной стороны и силами давления газов, внутреннего трения и трения о стенки, архимедовой выталкивающей силы с другой стороны. Таким образом, в активный вес шихты входят все факторы, влияющие на величину давления, оказываемого на материалы в рабочем пространстве печи. Соответственно, для определения этой нагрузки можно применять формулы для определения активного веса шихты.

Постановка задачи. Определить величину нагрузки, действующей на материалы, находящиеся в рабочем пространстве доменной печи. Сравнить полученные значения нагрузки с прочностью антрацита, полученной опытным путем.

Изложение материала и его результаты. Движение шихты в рабочем пространстве доменной печи происходит под действием собственной массы. Давление массы шихтовых материалов определяется по формуле[1]

$$P_M = H \cdot \gamma, \quad (1)$$

где H - высота столба шихтовых материалов, м;

γ - насыпной вес сыпучих материалов в их исходном и переходном состоянии по высоте столба шихты, Н/м³.

Движению шихты противодействует подъемная сила газового потока, которая определяется как перепад давлений между горном и колошником. Потери давления газа, движущегося через столб шихты, можно определить по уравнению Эгона[1]

$$\Delta p = \psi \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \frac{H}{d} \frac{T}{T_0} \frac{p_0}{p} \frac{\gamma_0 \cdot \omega_0^2}{2g}, \quad (2)$$

где ψ - коэффициент сопротивления;

ε - порозность слоя, м³/м³;

H - высота столба шихтовых материалов, м;

d - средний диаметр кусков, м;

T, T_0 - температура газов при реальных и нормальных условиях соответственно, К;

p, p_0 - соответственно давление газов при реальных и нормальных условиях, Н/м²;

γ_0 - удельный вес газа при нормальных условиях, Н/м³;

ω_0 - скорость газа при нормальных условиях, отнесенная к полному сечению столба шихты, м/с;

g - ускорение свободного падения, м/с².

Коэффициент сопротивления находится как функция критерия Рейнольдса

$$\psi = 3,61 + \frac{300}{Re}, \text{ или [2]} \quad \psi = \frac{3,1}{Re^{0,1}} + \frac{160}{Re},$$

где Re – критерий Рейнольдса.

В слое сыпучих материалов

$$Re = \frac{1}{1-\varepsilon} \cdot \frac{\omega \cdot d}{\nu}, \quad (3)$$

где ε - порозность слоя, м³/м³;

ω - скорость газа, м/с;

d - средний диаметр кусков, м;

ν - кинематическая вязкость газа, м²/с.

Порозность слоя материалов вычисляют по формуле

$$\varepsilon = 1 - (\gamma_{\text{нас}} / \gamma_{\text{каж}}), \quad (4)$$

где $\gamma_{\text{нас}}, \gamma_{\text{каж}}$ - соответственно насыпная масса и кажущаяся плотность материала.

При произвольно плотной компоновке частиц в слое можно пользоваться формулой [3]

$$\varepsilon = 0,222 \cdot D_{cp}^{0,252}, \quad (5)$$

где D_{cp} - средний диаметр кусков в слое.

Так же на материалы, находящиеся в доменной печи, действует полное сопротивление сил трения, которое состоит из силы внешнего трения о стенки (F_c) и силы внутреннего трения (F_{bh}) сыпучих материалов.

Сила внешнего трения зависит от бокового давления и определяется по формуле

$$F_C = Q_6 \cdot f_1, \quad (6)$$

где Q_6 - боковое давление, Н/м²;

f_1 - коэффициент трения сыпучего материала по стенке.

Боковое давление столба шихты определяется по формуле Янсена

$$Q_6 = \frac{\gamma R}{2f_1} \left(1 - \exp\left(-\frac{2f_1 n H}{R}\right) \right), \quad (7)$$

где R - радиус столба шихты, м;

n - условный коэффициент бокового давления.

Коэффициент бокового давления можно определить из соотношения

$$n = [1 + 2f^2 + \sqrt{1 + f^2} \cdot (\sqrt{f^2 - f_1^2} - f)]^{-1}, \quad (8)$$

где f - коэффициент внутреннего трения материалов шихты, Н/м².

Для определения давления действующего на материал используем формулу

$$P = P_M + \Delta p + F_C. \quad (9)$$

Для расчета приняты показатели и режим работы доменной печи №1 ОАО «АМК».

Материалы, находящиеся на разных горизонтах печи, имеют различную температуру. Как известно, прочность любого материала с изменением температуры изменяется. В связи с этим доменная печь условно разделяется на 4 температурные зоны:

- 1-я зона – колошник ($T \approx 400^\circ\text{C}$);
- 2-я зона – средняя часть шахты ($T \approx 700^\circ\text{C}$);
- 3-я зона – нижняя часть шахты ($T \approx 800^\circ\text{C}$);
- 4-я зона – распар ($T \approx 1000^\circ\text{C}$).

Схематично зоны показаны на рисунке 1.

По формуле 9 были определены давления, действующие на материалы в печи. Для первой зоны давление составило

$$P_1 = P_{M1} + \Delta p_1 + F_{C1} = 116,2 + 11,8 + 23,3 = 151,3 \text{ кПа},$$

для второй

$$P_2 = P_{M2} + \Delta p_2 + F_{C2} = 262,9 + 10,2 + 36,4 = 309,5 \text{ кПа},$$

для третьей

$$P_3 = P_{M3} + \Delta p_3 + F_{C3} = 422,4 + 35,5 + 55,6 = 513,5 \text{ кПа},$$

для четвертой

$$P_4 = P_{M4} + \Delta p_4 + F_{C4} = 553,6 + 154,8 + 56,3 = 764,7 \text{ кПа}.$$

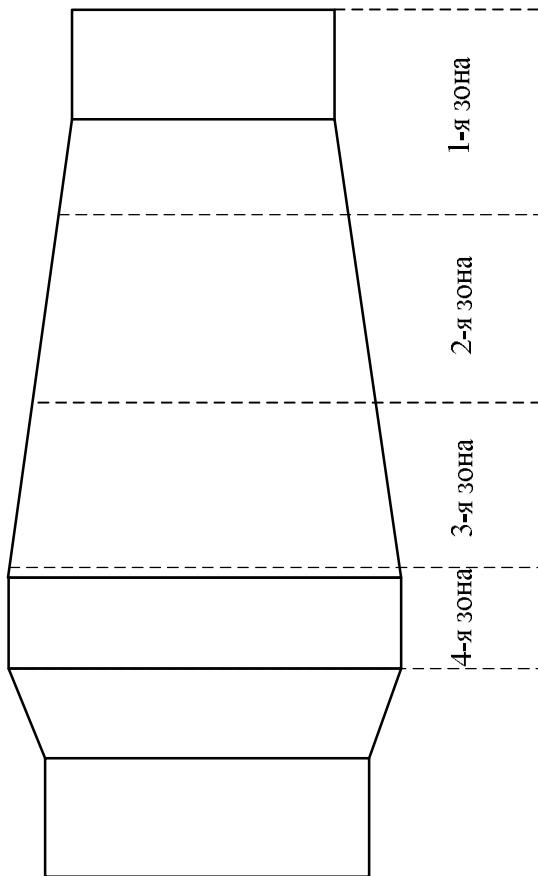


Рисунок 1 – Схема расположения температурных зон
по высоте доменной печи

Для сравнения фактической прочности антрацита с нагрузкой, действующей на него в доменной печи, были найдены его прочности сжатием при температурах 400, 700, 800, 1000°C, по методике [4]. Результаты представлены в таблице 1.

Из таблиц видно, что при нагреве антрацита его прочность снижается. Это происходит из-за роста внутренних напряжений в угле за счет испарения влаги и выделения летучих веществ. С другой стороны нагрузка, действующая на антрацит при повышении его температуры в

печи, возрастает, что происходит вследствие повышения давления столба шихтовых материалов и перепада давления газа.

Таблица 1 – Прочность антрацитов сжатием при разных температурах, кПа

Номер опыта	Температура, °C				
	20	400	700	800	1000
1	860	750	820	420	220
2	830	830	530	410	230
3	1470	1100	680	640	510
4	630	810	750	460	490
5	1420	1200	900	820	770
6	860	920	630	610	640
7	1320	1000	760	640	630
8	1080	960	710	760	570
9	1230	850	580	550	650
10	1170	910	650	430	570
Среднее	1087,0	933,0	701,0	574,0	528,0

Сравним значения прочности антрацита, полученные опытным путем, со значениями нагрузки, действующей на него в печи (таблица 2). Для первой зоны фактическая прочность антрацита значительно превышает расчетную нагрузку на него, что свидетельствует об отсутствии разрушения угля в этой зоне. Во второй зоне характер нагрузок аналогичен первой зоне. Третья зона является переломным этапом – нагрузка, действующая на антрацит и его прочность практически одинаковы, что свидетельствует о начале разрушения угля. В четвертой зоне нагрузка, действующая на антрацит, превышает его прочность, что приводит к значительному его разрушению.

Таблица 2 – Сравнение прочности антрацита с нагрузкой действующей на него в печи

Номер зоны	Нагрузка, кПа	Прочность, кПа	Разница, кПа
1	151,3	933	-781,7
2	309,5	701	-391,5
3	513,5	574	-60,5
4	764,7	528	+236,7

Полученные результаты дополнительно усугубляются также тем, что материалы в доменной печи разрушается не только сжатием, но и

истирианием, ударом, а приведенные выше расчеты и опытные данные не учитывают эти виды воздействий.

Выводы и направления дальнейших исследований. В соответствии с существующими представлениями о процессах, в доменной печи, расчетным путем определена нагрузка, действующая на материалы в ней. Опытным путем определена прочность антрацита сжатием при различных его температурах. Произведен сравнительный анализ значений прочности антрацита, полученных опытным путем, со значениями нагрузки, действующей на него в печи. В дальнейшем предполагается разработать методику определения нагрузки, действующей на антрацит в доменной печи, с учетом различных видов разрушения материалов в печи.

Библиографический список

1. Доменное производство: Справочное издание: В 2-х т. Подготовка руд и доменный процесс / [под ред. Вегмана Е.Ф.]. – М.: Металлургия – Т.1. – 1989. – 496 с.
2. Богданди Л.Ф. Восстановление железных руд / Л.Ф. Богданди, Г.Ю. Энгельс. – М.: Металлургия, 1971. – 519 с.
3. Остроухов М.Я. Справочник мастера-доменика / М.Я. Остроухов, Л.Я. Шпарбер. – М.: Металлургия, 1977. – 304 с.
4. Новохатский А.М. Проблемы использования антрацита как заменителя кокса в доменном производстве / А.М. Новохатский, Г.Д. Михайлюк, А.В. Карпов / Сборник научных трудов ДонГТУ, 2009. – № 28. – С. 165-173.

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