

к.т.н. Карпов А. В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ БОКОВОЙ НАГРУЗКИ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА КЛАДКУ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Определена величина силы, действующая на кладку шахты, распара, заплечиков доменной печи от шихтовых материалов, при помощи физического моделирования. Выявлена закономерность изменения бокового давления шихты в зависимости от его гранулометрического состава. Произведена оценка влияния слоевой загрузки шихтовых материалов на значение их боковой нагрузки.

**Ключевые слова:** доменная печь, физическое моделирование, боковое давление, активный вес, гранулометрический состав, слоевая загрузка.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Стабильная работа доменной печи во многом зависит от характера схода шихтовых материалов, на который влияет множество факторов.

Как правило, движение материалов в доменной печи оценивается их активным весом. Он определяется разницей давления столба шихты от перепада напора газа, сил внутреннего и внешнего трений. Расчет данных значений вызывает трудности, в особенности последнего.

Существует способ контроля давления материалов по сечению печи и сил их трения о стенку за счет погружения измерительного стержня в рабочее пространство на контролируемом участке [1]. Однако большинство доменных печей не оснащено данной системой, что не позволяет получать информацию о боковом давлении.

Контроль величины бокового давления шихты на кладку доменной печи позволит эффективно обеспечивать ее высокопроизводительную работу, предотвращать расстройство и подвисания материала, а также ускорять раздувку печи после длительных остановок.

По существующим представлениям для определения значения бокового давления шихты используется формула Янсена [2]

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

где  $\gamma$  – соответственно насыпная масса материала, т/м<sup>3</sup>;

$R$  – радиус столба шихты, м;

$f_1$  – коэффициент трения сыпучего материала о стенки;

$n$  – условный коэффициент бокового давления;

$H$  – высота столба шихтовых материалов, м.

При этом коэффициент бокового давления можно определить из соотношения [2]

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

где  $f$  – коэффициент внутреннего трения материалов шихты, Н/м<sup>2</sup>.

**Постановка задачи.** Исследование значения боковой нагрузки шихты, действующей на кладку элементов доменной печи при изменяющемся гранулометрическом составе материалов при помощи физического моделирования.

**Изложение материала и его результаты.** Определение значения бокового давления производилось на физической модели доменной печи полезным объемом 3000 м<sup>3</sup> выполненной в масштабе 1 к 50.

Модель изготавливалась из оцинкованной стали. Для создания поверхности имитирующей кладку печи внутренняя часть модели покрывалась слоем шамотного боя связанным жидким стеклом.

Изготовленные модели шахты, распара и заплечиков крепились к опорной конст-

рукции и оснащались съемным дном, под которое помещалось взвешивающее устройство.

Эксперимент начинался предварительным взвешиванием материала. После чего он пересыпался в модель элемента доменной печи с имитацией работы засыпного устройства. Затем проводилось определение массы шихты действующей на съемное дно при помощи электронных весов.

Размер кусков агломерата, загружаемого в доменную печь приблизительно равен 10 мм, исходя из масштаба модели, крупность материала загружаемого в нее была принята менее 0,5 мм. Поэтому при первых экспериментах в качестве сырья был выбран концентрат (табл. 1).

Из таблицы 1 видно, что по мере изменения очертания профиля печи происходит изменение нагрузки приходящейся на кладку. В шахте наблюдается наибольшее значение – 16,4 %. Это поясняется большим объемом и высотой столба материалов находящихся в ней – порядка половины от общего количества.

Так как распар имеет цилиндрическую форму и не большую высоту, часть силы тяжести от шихтовых материалов приходящихся на его стены равна приблизительно 9 %.

Сужающаяся часть печи – заплечики принимают довольно высокое давление от шихтовых материалов, несмотря на малый размер. Часть нагрузки, действующая на них приблизительно равна 12,4 %.

В работе проведен анализ изменение давления, действующего на стенки печи, при меняющемся гранулометрическом составе шихтовых материалов (табл. 2).

На этом этапе исследований в качестве шихтового материала использовался агломерат, рассеянный на фракции 0-2, 2-5, 5-10 мм.

В целом определено, что при повышении крупности кусков шихтовых материалов, находящихся в доменной печи, давление, действующее на ее стены, увеличивается. Это можно объяснить повышением сил внутреннего трения и создания своеобразного каркаса, удерживающий на себе выше лежащий слой.

Из таблицы 2 видно, что наименее выраженное влияние, изменяющегося гранулометрического состава шихты на боковое давление, наблюдается на модели имитирующей шахту доменной печи. В ней увеличение нагрузки для материала 0-2 и 5-10 мм составило 1,6 %. Это поясняется особенностью конструкции данного элемента – расширение к низу позволяет минимизировать физическую нагрузку на кладку и предотвратить ее разрушение.

На кладку нижней части печи передается большая нагрузка из-за увеличения высоты столба шихты находящейся в рабочем пространстве, поэтому и изменение давления при повышении крупности материала более заметно. В распаре увеличение части нагрузки, действующей на стенки печи, составило 2,5 %.

Таблица 1 – Результаты моделирования бокового давления шихтовых материалов на стены доменной печи с использованием концентрата

Номер испытания	Вес пробы, г	Вес шихты на дно модели, г	Часть нагрузки, приходящаяся на стены, %
Модель шахты доменной печи			
1	8120,6	6776,7	16,5
2	7981,6	6676,6	16,3
Модель распара доменной печи			
1	5440,5	4949,0	9,0
2	5426,2	4930,0	9,1
Модель заплечиков доменной печи			
1	5700,5	4986,8	12,5
2	5655	4959,4	12,3

## МЕТАЛЛУРГИЯ

Таблица 2 – Результаты моделирования бокового давления шихтовых материалов на стены доменной печи с использованием шихты разного гранулометрического состава

Размер фракции, мм	Номер испытания	Вес пробы, г	Вес шихты на дно модели, г	Часть нагрузки, приходящаяся на стены, %
Модель шахты доменной печи				
0-2	1	8248,1	6858,5	16,8
	2	8044,9	6680,6	16,9
	3	8107,9	6743,5	16,8
	4	8237,4	6842,7	16,9
2-5	1	8236,4	6773,9	17,7
	2	8148,4	6700,5	17,7
	3	8284,8	6829,6	17,5
	4	8277,3	6822,7	17,5
5-10	1	8227,8	6710,1	18,4
	2	8137,7	6634,9	18,4
	3	8325,1	6809,9	18,2
	4	8261,9	6764,9	18,1
Модель распара доменной печи				
0-2	1	5712,2	5194,2	9,0
	2	5690,1	5173,4	9,0
	3	5689,8	5171,0	9,1
	4	5762,5	5234,7	9,1
2-5	1	5586,1	5003,1	10,4
	2	5582,2	4994,0	10,5
	3	5569,8	4989,8	10,4
	4	5572,5	4984,9	10,5
5-10	1	5465,9	4841,1	11,4
	2	5523,4	4890,8	11,4
	3	5489,5	4859,0	11,5
	4	5549,3	4912,3	11,5
Модель заплечиков доменной печи				
0-2	1	4412,2	3920,2	11,1
	2	4391,4	3889,8	11,4
	3	3112,2	2743,0	11,8
	4	3088,8	2714,4	12,1
2-5	1	5417,4	4640,5	14,3
	2	5490,1	4691,9	14,5
	3	4414,8	3769,5	14,6
	4	4404,4	3777,3	14,2
5-10	1	5734,3	4825,1	15,8
	2	5717,4	4814,8	15,8
	3	4418,7	3698,7	16,3
	4	4460,9	3735,5	16,2

Так как заплечики имеют вид, сужающийся к низу, изменение значения бокового давления при увеличении крупности шихты в них наиболее выражено. Так при повышении размера фракции до 10 мм происходит увеличение части нагрузки действующей на стенки шихты на 5,1 %.

Известно, что шихтовый материал, загружаемый в печь, имеет слоистую структуру, в которой происходит чередование топливной части, представленной коксом и железорудной части, представленной агломератом или окатышами. Поэтому были проведены исследования по определению

боковой нагрузки на стены доменной печи при загрузке слоев кокса (размер куска 2 мм) и агломерата (размер куска менее 1 мм) (табл. 3).

Как видно из таблицы 3 боковая нагрузка, действующая на стены печи, при слоевой загрузке шихты отличается от того же значения при использовании однообразной шихты.

В модели шахты давление, приходящееся на стенки, от моношихты составляло 16,4 % и в среднем 15,5 % при формировании слоев из двух материалов.

Для модели распара наблюдается снижение бокового давления при слоевой загрузке, значение нагрузки, действующей на стены, для данного способа составляло около 9 %, а двухкомпонентной шихты в среднем – 7,7 %.

В модели заплечиков давление на стены от шихты, сформированной слоями, выше аналогичного значения моношихты, и составляет 15,4 и 12,4 % соответственно.

Таким образом, видно не характерное влияние слоевой загрузки материалов на значение бокового давления относительно применения однообразной шихты. В моде-

ли шахты и распара произошло снижение нагрузки приходящейся на стенки печи при использовании двух материалов. Это можно объяснить преобладающим влиянием снижения веса столба шихты (за счет меньшего веса кокса) над суммарным увеличением гранулометрического состава материала.

В заплечиках наблюдается повышение боковой нагрузки, приходящейся на кладку печи при использовании двух компонентной шихты, что поясняется большим влиянием на это значение крупности шихты, а не ее веса.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Для проведения исследований изменения боковой нагрузки на кладку доменной печи были сконструированы физические модели шахты, распара и заплечиков доменной печи, для повышения достоверности результатов на их внутреннюю поверхность нанесен слой шамотного порошка.

Определена часть силы, действующая на кладку печи в элементах доменной печи, в заплечиках она составила 12,4 % от исходной массы, распаре – 9 %, шахте – 16,4 %.

Таблица 3 – Результаты моделирования бокового давления шихтовых материалов при слоевой загрузке

Номер испытания	Вес пробы, г	Вес шихты на дно модели, г	Часть нагрузки, приходящаяся на стены, %
Модель шахты доменной печи			
1	7577,7	6355,0	16,1
2	7536,5	6381,9	15,3
3	7561,1	6364,9	15,8
4	7485,9	6420,3	14,2
5	7573	6357,9	16,1
Модель распара доменной печи			
1	6500	6056,1	6,8
2	6500	6032,7	7,2
3	6500	5956,6	8,3
4	6500	5990,4	7,8
5	6500	5964,4	8,2
Модель заплечиков доменной печи			
1	6590,5	5663,2	14,1
2	6509,6	5459,6	16,1
3	6498,1	5468,2	15,8
4	6594,3	5570,2	15,5
5	6505,7	5491,5	15,6

Выявлена закономерность изменения бокового давления в зависимости от гранулометрического состава шихты. Увеличение крупности кусков, находящихся в печи приводит к повышению значения давления, действующего на кладку заплечиков, распара и шахты. Причем наиболее выраженное изменение происходит в заплечиках.

Также произведена оценка влияния слоевой загрузки шихтовых материалов на параметр бокового давления.

В дальнейших исследованиях планируется учитывать влияние зоны размягчения шихтовых материалов в районе заплечиков на значение величины бокового давления.

#### **Библиографический список**

1. Патент Российской Федерации №2147037 С21В5/00. Способ ведения доменной плавки / Марсуверский Б.А.; Авцинов А.Ф.; Марьясов М.Ф.; Денисов Ю.М.; Ходонецких В.А.; Логинов В.Н.; Васильев А.П.; Русаков П.Г.; заявл. 17.12.1998, опубл. 27.03.2000, Бюл. №8.
2. Доменное производство: справочное издание / [под ред. Вегмана Е.Ф.] // В 2-х т. Подготовка руд и доменный процесс. – М.: Металлургия. – Т.1. – 1989. – 496 с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Новохатским А. М.*

*Статья поступила в редакцию 31.10.13.*

**к.т.н. Карпов А. В.** (ДонДТУ, м.Алчевськ, Україна)

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ БІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДІЮЧОГО НА КЛАДКУ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ**

*Визначена величина сили, що діє на кладку шахти, распара, заплічок доменної печі від шихтових матеріалів, за допомогою фізичного моделювання. Виявлено закономірність зміни бічного тиску залежно від гранулометричного складу шихти. Зроблена оцінка впливу шарового завантаження шихтових матеріалів на значення бічного навантаження.*

**Ключові слова:** доменна піч, фізичне моделювання, бічний тиск, активна вага, гранулометричний склад, шарове завантаження.

**Карпов А. В.** (DonSTU, Alchevsk, Ukraine)

#### **STUDY OF CHANGES IN SIDE LOAD SERVING ON MASONRY BLAST FURNACE**

*Determined by the amount of force exerted on the clutch shaft, bosh, half beads of the blast furnace burden materials, using physical modeling. Revealed regularities of changes in the lateral pressure as a function of particle size distribution of the charge. The evaluation of the influence of the layered loading charge materials to the value side of the load.*

**Key words:** blast furnace, physical modeling, lateral pressure, the active weight, size distribution, loading layering.