

Русских В. П. /к. т. н./, Семаков В. В., Гаврилоглу Д. И.,
Подгорный М. А., Харченко И. И.¹
ГВУЗ «ПГТУ»

Исследование газопроницаемости доменной шихты при различном расположении слоев компонентов

В газодинамическом цилиндре проведены исследования газопроницаемости доменной шихты при различной укладке компонентов, определяющей интенсивность плавки по газу в сухой части печи.

Установлено влияние межслоевого эффекта при вертикальном расположении двух граничащих слоев агломерата и окатышей на перепад статического давления газа в шихте при разном соотношении ее компонентов.

Определена минимальная высота горизонтальной прослойки кокса в агломерате, при которой повышается газопроницаемость столба шихты.

Полученные результаты применимы для разработки и выбора систем загрузки печей, а также моделирования доменного процесса. Ил. 2. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: кокс, агломерат, окатыши, газопроницаемость, межслоевой эффект, интенсивность доменной плавки

In gasdynamic cylinder there fulfilled researches of gas transmission of blast-furnace burden at various component placing, which determines rate of gas smelting in the dry part of the furnace.

The influence of interlayer effect during vertical location of two adjoining layers of agglomerate and pellets on the static pressure difference of gas in the burden at different equivalence ratio is stated.

Minimal height of horizontal coke layer in agglomerate, wherein gas transmission of melting-stock column increases, is determined.

The results obtained may be applied for development and choice of feed systems of furnace and also designing of blast furnace process.

Keywords: coke, agglomerate, pellets, gas transmission, interlayer effect, intensity of blast-furnace smelting

Как известно, доменный процесс основан на противоточном движении шихтовых материалов и нагретых восстановительных газов в печи. Идеальным для эффективного использования тепловой и восстановительной энергий газового потока является такое распределение материалов и газов, при котором в любом сечении печи единица железорудного сырья обрабатывается равным количеством газа. Однако на практике для обеспечения плавного схода шихты по радиусу колошника целенаправленно создается неравномерное распределение материалов и газов. В результате в доменной печи создается неоднородная структура столба шихтовых материалов, газопроницаемость которого определяется не только газодинамическими характеристиками, но и расположением слоев отдельных компонентов [1].

В настоящее время железорудная часть доменной шихты представлена агломератом и окатышами, металлургические свойства которых различны. Наиболее экономичной является работа доменных печей ММК им. Ильича, железорудная шихта которых представлена одним видом сырья – агломератом собственного про-

изводства, что подтверждается меньшими средними удельным расходом газа-восстановителя на единицу атомарного кислорода FeO шихты 2,588 против 2,670 моль/моль и приведенным расходом кокса 501,7 против 519,8 кг/т чугуна в доменных печах МК «Азовсталь».

В шихте доменных печей МК «Азовсталь» одновременно применяется до трех видов железорудного сырья, обладающих разными прочностными и физико-химическими свойствами, что ухудшает газопроницаемость столба шихтовых материалов [2]. Для сравнения газопроницаемости железорудных материалов проведены лабораторные исследования перепада статического давления газа ΔP в слоях агломерата А (рис. 1а, кривая 1) и окатышей О (кривая 5) фракции 3-4 мм равной высоты, составляющей 150 мм, которые подтвердили лучшую газопроницаемость агломерата.

Худшая газопроницаемость окатышей по сравнению с агломератом сохранялась и при послойной загрузке данных материалов с коксом К фракции 5-7 мм (рис. 1б). Газопроницаемость четырехслойной шихты 2×АК (кривая 4) при расходе воздуха 150 м³/ч повысилась на

¹Примечание. В работе принимали участие Крумгольц Е. В., Горячев В. И.

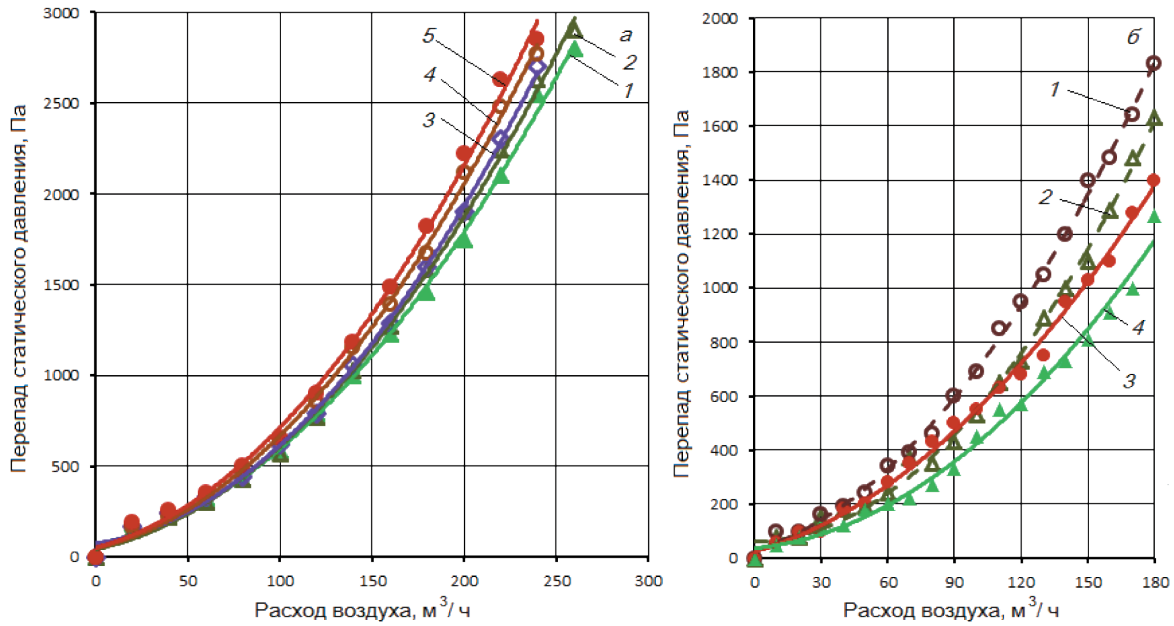


Рис. 1. Газопроницаемость доменной шихты при различной укладке компонентов

26 % по сравнению с газопроницаемостью монослоя агломерата (кривая 2). Аналогично повысилась газопроницаемость четырехслойной шихты 2×ОК (кривая 3) по сравнению с газопроницаемостью монослоя окатышей (кривая 1). При послойной укладке железорудных материалов с коксом также сохранилась худшая газопроницаемость шихты с окатышами (кривая 3) в сравнении с шихтой, содержащей агломерат (кривая 4).

С целью определения влияния межслоевого эффекта при вертикальном расположении двух граничащих слоев агломерата и окатышей на газопроницаемость шихты при разном соотношении ее компонентов проведены лабораторные эксперименты в газодинамическом цилиндре диаметром 0,22 м. В бинарном слое, состоящем из окатышей, располагающихся в центральной зоне газодинамического цилиндра в связи с истирающим воздействием на футеровку доменной печи в реальных условиях плавки, и агломерата, располагающегося на периферии, наблюдалось постепенное повышение ΔP при увеличении доли окатышей (рис. 1а) до 25 (кривая 2), 50 (кривая 3) и 75 % (кривая 4) при равном расходе воздуха. Прирост газодинамического сопротивления в бинарных слоях железорудных материалов (кривые 2-4) относительно разности перепадов давлений в монослоях агломерата (кривая 1) и окатышей (кривая 5) был практически пропорционален доле последних в слое. Влияние межслоевого эффекта проявлялось пропорционально площади соприкосновения компонентов $S_{\text{ср}}$, представляющей собой боковую поверхность цилиндра, составленного из окатышей и расположенного в центре реактора. С уве-

личением объема цилиндра $V_{\text{ц}}$ снижается отношение его площади боковой поверхности и объема $\frac{S_{\text{ср}}}{V_{\text{ц}}} = \frac{2}{r}$, т. е. с ростом доли окатышей в шихте, а следовательно, с увеличением радиуса r образованного ими цилиндра, сокращается удельная площадь боковой поверхности $S_{\text{мс}}$, приходящаяся на единицу объема окатышей.

Проекциями вертикальных границ соприкосновения слоев агломерата и окатышей на дно газодинамического реактора являются концентрические окружности. При доле окатышей в шихте 25 %, соответствующей доле площади центральной зоны от общей площади слоя исследуемых железорудных материалов (площади сечения газодинамического цилиндра), длина окружности $L_{\text{пр}}$, являющейся проекцией границы между вертикальными слоями агломерата и окатышей, составляет 50 % от длины окружности реактора $L_{\text{р}}$. С увеличением доли окатышей (до 50 и 75 %) длина проекции границы между вертикальными слоями возрастает в меньшей мере (до 70,7 и 86,6 % соответственно от $L_{\text{р}}$), что приводит к некоторому ослаблению влияния межслоевого эффекта. Так, при доле окатышей в шихте 25 % прирост газодинамического сопротивления в бинарном слое железорудных материалов (рис. 1а, кривая 2) относительно разности перепадов давлений в монослоях агломерата и окатышей (кривые 1 и 5) несколько превышал на 1-3 % долю окатышей в слое, что обусловлено максимальной $S_{\text{мс}}$ (в данных условиях эксперимента), которая составила 2 % от площади боковой поверхности рабочего пространства реактора $S_{\text{бр}}$, занятого шихтой. При доле окатышей в шихте 75 % – удельная площадь соприкос-

новения слоев снижалась до 1,15 % от $S_{бр}$, а прирост газодинамического сопротивления в зернистом слое (кривая 4) был ниже на 1-4 % содержания окатышей в шихте.

Повышение доли окатышей в шихте доменной печи МК «Азовсталь» с 51 до 71 % привело к снижению интенсивности плавки по газу на 13,7 и приведенной производительности на 10,7 %.

Загрузка доменных печей осуществляется послойно железорудными материалами и коксом, который благодаря высоким прочностным свойствам и большей крупности кусков является разрыхлителем столба шихты. На горизонтальной границе раздела двух материалов возникает межслоевой эффект, характеризующийся местными потерями давления [3]. Увеличение массы подачи повышает газопроницаемость столба шихты и улучшает обработку газом рудных материалов, так как наряду с сокращением количества межслойных зон увеличенные прослойки более газопроницаемого кокса (коксовые окна) приводят к относительному выравниванию распределения газового потока под каждым рудным слоем [4].

С целью определения влияния высоты прослоек кокса в железорудном материале на газопроницаемость столба шихты проведены исследования перепада статического давления газа в монослоях кокса крупностью 5-7 мм (рис. 2а и

2б, кривая 1) и агломерата крупностью 3-5 мм (рис. 2а и 2б, кривая 4) высотой 150 мм, которые показали лучшую на 44 % газопроницаемость кокса при расходе воздуха $200 \text{ м}^3/\text{ч}$, а также исследования ΔP в двухкомпонентной шихте с чередующимися горизонтальными слоями кокса и агломерата различной высоты.

При укладке агломерата и кокса горизонтальными слоями равной высоты 75 мм перепад давления в слое снижается на 31 % (рис. 2а, кривая 2) по сравнению с монослоем агломерата. При двухслойной загрузке высота прослойки кокса составляет примерно двенадцать элементарных слоев $12 d_k$, где d_k – средний диаметр кусков кокса; при четырехслойной укладке $2 \times \text{АК} - 6 d_k$, соответственно (кривая 3), а ΔP снижается на 6 % по сравнению с монослоем агломерата. Дальнейшее уменьшение высоты прослоек материала до $3 d_k$ фактически приводит к исчезновению прослойки газопроницаемого кокса, так как два элементарных приграничных слоя кокса будут включать частицы более мелкого агломерата, т. е. будут представлять смесь кокса с агломератом. В случае $4 \times \text{АК}$ газопроницаемость шихты (кривая 5) ниже газопроницаемости монослоя агломерата на 8 %.

Повышение рудной нагрузки РН до 3,55 и 3,80 кг/кг кокса способствовало росту газодинамического сопротивления двухслойной ших-

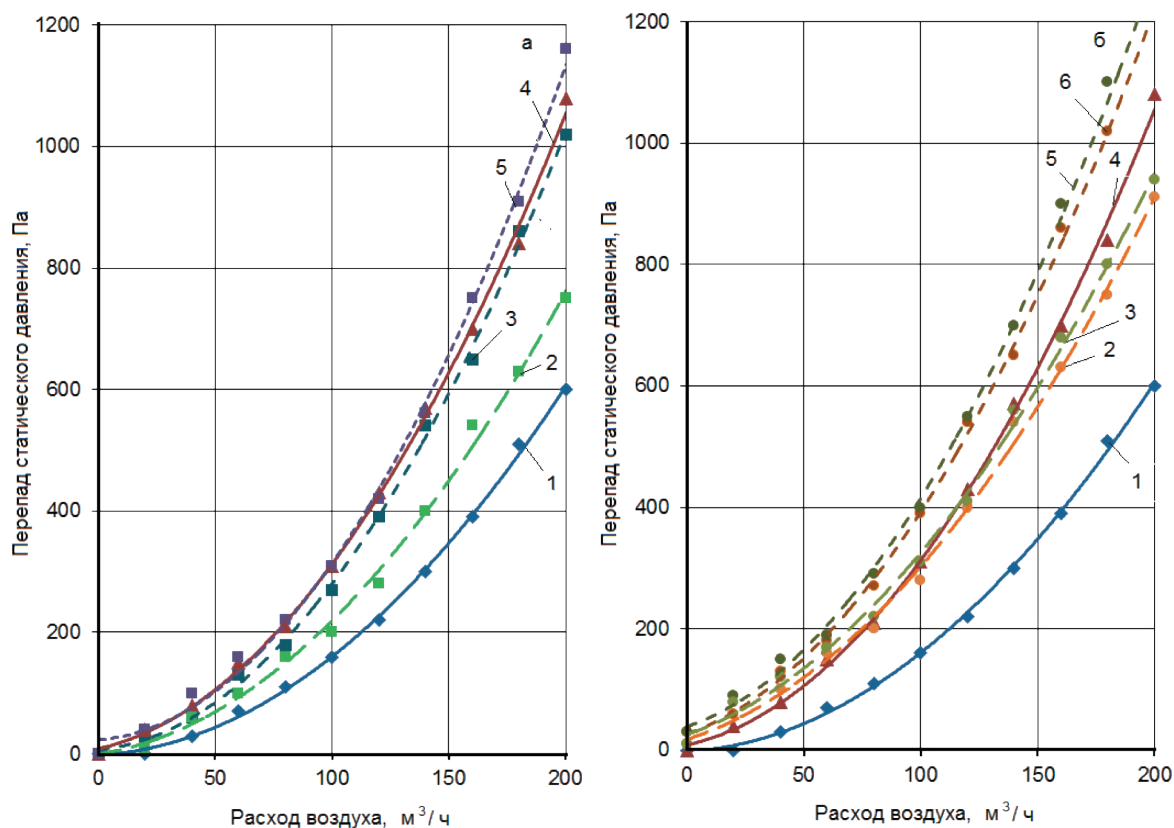


Рис. 2. Изменение перепада статического давления при послойной укладке агломерата и кокса: а – слоями равной высоты; б – при повышенной рудной нагрузке

ты АК, однако перепад давления газа в ней (см. рис. 2б, кривые 2 и 3 соответственно) не превышал ΔP в монослое агломерата при расходе воздуха свыше $100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Резкое ухудшение газопроницаемости наблюдалось при истончении слоев кокса до $5 d_k$ и менее – перепады давлений в четырехслойной шихте $2 \times \text{АК}$ при РН, равных 3,55 и 3,80 кг/кг кокса, превышают ΔP в монослое агломерата (кривые 6 и 5 соответственно).

Следовательно, при соотношении высоты прослойки более газопроницаемого кокса и среднего диаметра его кусков $\frac{1 \cdot \epsilon}{d_{\epsilon}} \leq 5$, которое является одним из факторов, определяющих ΔP в зернистом слое согласно уравнению Эргона (Дарси-Вейсбаха) [5, 6], на границах кокса с верхним и нижним слоями агломерата происходит образование смешанных слоев, что фактически приводит к исчезновению слоя с газодинамическими характеристиками кокса.

Переход доменной печи ММК им. Ильича на утяжеленные отдельные подачи с высотой прослойки кокса более $20 d_k$ способствовал сохранению ее сплошности, которая нарушается в процессе движения столба шихты, сформированного при использовании обычной четырехскиповой системы загрузки [1], так как кокс вытесняется в центральные зоны. Приведенная производительность печи повысилась на 13,3 % при росте интенсивности плавки по колошниковому газу на 11,6 %.

Выводы

1. С повышением доли окатышей в шихте ослабевает проявление межслоевого эффекта, возникающего на вертикальной границе их соприкосновения с агломератом, расположенным у стен реактора, вследствие снижения удельной площади поверхности раздела слоев, приходящейся на единицу объема окатышей.

2. Прослойки кокса в агломерате повышают газопроницаемость шихты, если высота слоя кокса составляет не менее шести элементарных слоев $6 d_k$, соответствующих среднему размеру куски кокса d_k .

3. Полученные результаты применимы для разработки и выбора систем загрузки печей, а также моделирования доменного процесса.

Библиографический список

1. Русских В. П. Исследование влияния систем загрузки шихтовых материалов на распределение газового потока в доменной печи / В. П. Русских, М. А. Аленгос, Д. К. Степнов // Вестник Приазов. держ. техн. ун-ту: зб. наук. праць / ПДТУ. – Мариуполь. – 2009. – Вып. 19. – С. 21-24.

2. Томаш А. А. Изменение порозности многокомпонентной доменной шихты при размягчении / А. А. Томаш [и др.] // Вестник Приазовского государственного технического университета. Сер.: Технические науки: Сб. науч. трудов. – Мариуполь: ПДТУ. – 1999. – Вып. 8. – С. 9-14.

3. Ковшов В. Н. Исследование межслоевого эффекта в доменной шихте / В. Н. Ковшов, В. А. Петренко, Ю. С. Нечипоренко // Металлургия и коксохимия. – 1978. – Вып. 59. – С. 31-34.

4. Работа доменных печей на увеличенной массе подачи / В. П. Лялюк [и др.] // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2011. – № 1. – С. 5-9.

5. Ergun S. Fluid Flow Through Packed Columns / S. Ergun // Chemical Engineer Progress. – 1952. – Vol. 48. – № 2. – P. 89-94.

6. Тарасов В. П. Газодинамика доменного процесса / В. П. Тарасов. – М.: Металлургия, 1990. – 216 с.

Поступила 06.11.2014

