

Тарасов В.П. /д.т.н./, Быков Л.В.,  
Кривенко С.В., Липунов С.А.  
ГВУЗ «Приазовский ГТУ»

Тарасов А.В.  
ООО «Азовский технологический центр»

## Исследование порозности зоны когезии при периферийном ходе газовых потоков в доменной печи

*В лабораторных условиях впервые исследовано влияние периферийного хода газов на порозность зоны когезии с имитацией реальных условий доменной плавки. Учтено влияние степени восстановления агломерата в зоне когезии на его размягчаемость. Загрузка шихтовых материалов соответствовала загрузке печей типовым загрузочным устройством (ТЗУ) и бесконусным (БЗУ). Ил. 3. Библиогр.: 7 назв.*

**Ключевые слова:** загрузочное устройство, зона когезии, газопроницаемость, доменная печь, порозность

*Under laboratory conditions the first investigation of the influence of the peripheral passes of gases on the porosity of the cohesive zone with simulated real conditions of blast furnace was performed. The effect of the agglomerate reduction degree in the cohesive zone on agglomerate softening is considered. Materials charging corresponded to the charge of furnaces by typical charging device and bell-less charging device.*

**Keywords:** charging device, cohesive zone, gas permeability, blast furnace, porosity

В статье приведены результаты исследования на лабораторной установке порозности зоны когезии при периферийном ходе газов в доменной печи. Эти исследования моделировали загрузку печей типовыми конусными загрузочными устройствами (ТЗУ) и бесконусными (БЗУ).

Исследовали газопроницаемость слоя при различной конфигурации распределения кокса и парафина, моделирующего рудные материалы, в зависимости от температур нагревающей воды. Для исследований использовали стеклянный цилиндр диаметром 135 мм, в который в различной последовательности и массе загружали кокс фракции 5-8 мм и парафин фракции 1-2 мм в условиях его адаптации к размягчению агломерата ПАО «МК «Азовсталь». Цилиндр помещали в ванну с водой, установленную на нагреватель с регулируемой температурой. В слой кокса с парафином вставили две термопары на периферию и в центр, а также третью термопару для измерения температуры воды. Сопоставление усадки реального агломерата ПАО «МК «Азовсталь» с размягчением парафина под нагрузкой позволило создать адекватные условия лабораторных исследований с реальными процессами в зоне когезии доменной печи.

Порозность ( $E_{cl}$ ) до нагрева определили из уравнения

$$E_{cl} = (E_n V_n + E_k V_k) / (V_n + V_k),$$

где  $V_k, V_n$  - объемы в слое кокса и парафина,  $m^3$ ;  
 $E_{cl}, E_k, E_n$  - порозность всего слоя, только кокса, только парафина, соответственно,  $m^3/m^3$ .

Проникновение размягченного парафина в пустоты самого парафина и кокса снижают порозность слоя, которую определяли

$$E_i = (E_{i-1} V_i - \Delta(V_i - V_{i+1})) / V_i,$$

где  $e_{i-1}$  - порозность слоя после  $(i - 1)$  усадки,  $m^3/m^3$ ;  
 $V_i$  - объем начального слоя шихты,  $m^3$ ;  $\Delta(V_i - V_{i+1})$  - объем  $i$ -той усадки слоя,  $m^3$ .

В настоящее время, на большинстве доменных печей с типовыми загрузочными устройствами (ТЗУ) нет умеренно развитого газового потока в осевой зоне. Например, на доменных печах ПАО «МК «Азовсталь» оборудованных ТЗУ, грузится до 80 % подач КААК↓. Подачи коксом вперед в различном соотношении с прямыми подачами (ААКК↓), применяют практически на всех доменных печах Украины и России. Это увеличивает в периферийной зоне газопроницаемость и поток печных газов. В осевой зоне соответственно ход газов снижается. При развитом периферийном потоке газов, шихта на периферии сходит быстрее, чем в центре. Угол наклона шихтовых материалов, при их движении вниз, все время уменьшается. В зоне когезии шихта может иметь уже горизонтальные слои или близкую к ним конфигурацию.

Известно, при периферийном ходе газов, снижаются перепад давления ( $\Delta P$ ) и доля косвенного восстановления оксидов железа. Увеличивается расход кокса.

Потери напора газа адекватны  $(1-E)/E^3$  [1, 2]. Газопроницаемость обратно пропорциональна  $\Delta P$  и определяется как  $E^3/(1-E)$ . По методике В.П. Тарасова можно определить газовые потоки по окружности и радиусу печи [3, 4]. На рис. 1 показана схема движения газов в зоне когезии при равномерном сходе шихты по радиусу (рис. 1а) и при развитом периферийном ходе газов (рис. 1б). Видна разница в газовом потоке через зоны в нижней части доменной печи. Разница не большая, но при изменении порозности, которая влияет на газопроницаемость слоя, разница между равномерным сходом шихты и большей скоростью опускания шихты на периферии может быть значительной.

На рис. 2 показано изменение порозности зоны когезии при различных системах загрузки и темпе-

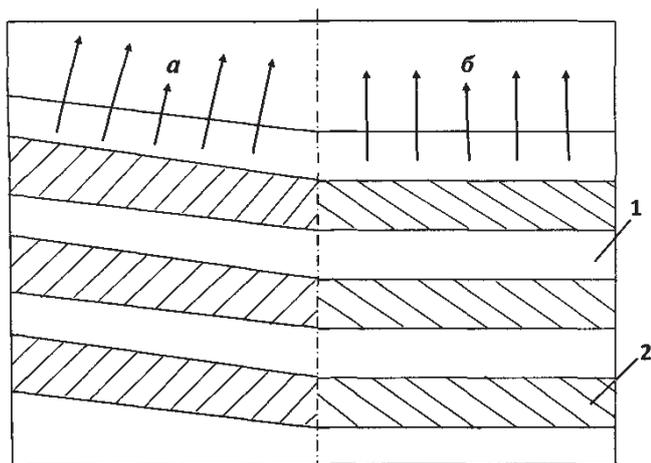


Рис. 1. Схема движения газовых потоков через зону когезии: 1 - слои кокса, 2 - слои рудной составляющей подачи. Стрелками показано вероятное движение газовых потоков через зону когезии

ратуры периферии слоя на лабораторной установке. Видно, что при загрузке шихты ТЗУ и БЗУ снижение порозности зоны когезии одинаково практически до полного расплавления парафина.

В условиях ПАО «МК «Азовсталь» применяют, в основном, при загрузке печей лотковыми БЗУ, систему КА↓АК↓. Поэтому, на лабораторной установке исследовали влияние малых подач на изменение порозности зоны когезии при развитом периферийном газовом потоке. На рис. 2а, 3 показано изменение порозности зоны когезии для этой системы загрузки с периферийным потоком газов. Видно, что порозность зоны первичного образования шлака (зона когезии) в этом случае выше, по сравнению с загрузкой АА↓КК↓ или смешанной загрузкой АА↓КК↓ и КА↓АК↓ с разным их соотношением в цикле.

Может именно по этой причине ДП 3 и ДП 4 «Азовстали» с загрузкой лотковыми БЗУ работает более ровно с системой КА↓АК↓.

Доменные печи с типовыми ЗУ на «Криворожстали» и ММК им. Ильича работают с системой загрузки КККК↓АААА↓. Показатели этих печей выше, чем при загрузке четырехскиповых подач ААКК↓КААК↓ с разным их соотношением. На «Азовстали» также пытались грузить такие подачи, но печь «шла» не ровно, с подстоями и подвисаниями шихты.

На нашей установке апробировали изменение порозности зоны когезии при загрузке больших подач и периферийном ходе газового потока. При развитом периферийном ходе печи, в зоне когезии порозность слоя снижается быстрее, по сравнению с загрузкой печи ТЗУ и равномерной скоростью схода шихты по радиусу. При этом, независимо от конструкции загрузочного устройства и системы загрузки при развитом периферийном ходе, порозность в зоне когезии снижается одинаково (рис. 2а – 1, 2). При загрузке БЗУ системой КА↓АК↓, и развитом периферийном потоке газов порозность в зоне когезии снижается медленнее (рис. 2а – 3), а при загрузке больших подач КККК↓АААА↓ порозность в этой зоне снижается значительно быстрее (рис. 2б – 4). Эти особенно-

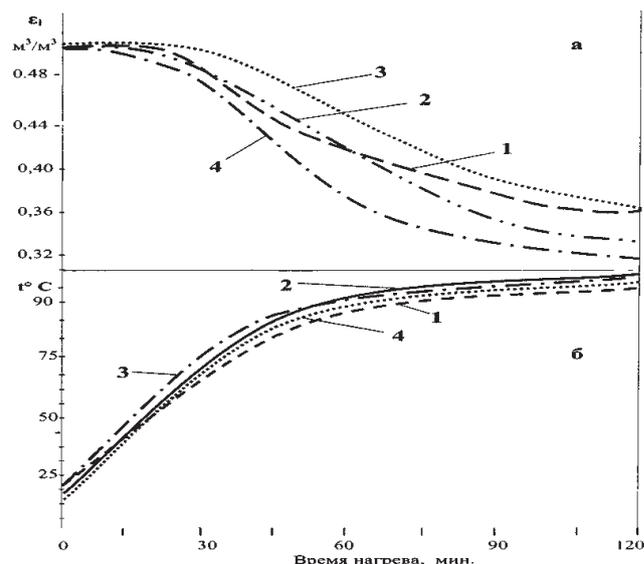


Рис. 2. Изменение порозности (а) и температуры периферии слоя (б) на лабораторной установке с имитацией периферийного хода газов: 1 - при равномерном сходе шихты на периферии и в центре при загрузке ТЗУ; 2 - то же, при имитации загрузки шихты БЗУ; 3 - при загрузке малых (КА↓АК↓) по массе подач с горизонтальными слоями парафина и коксика; 4 - то же для больших колош

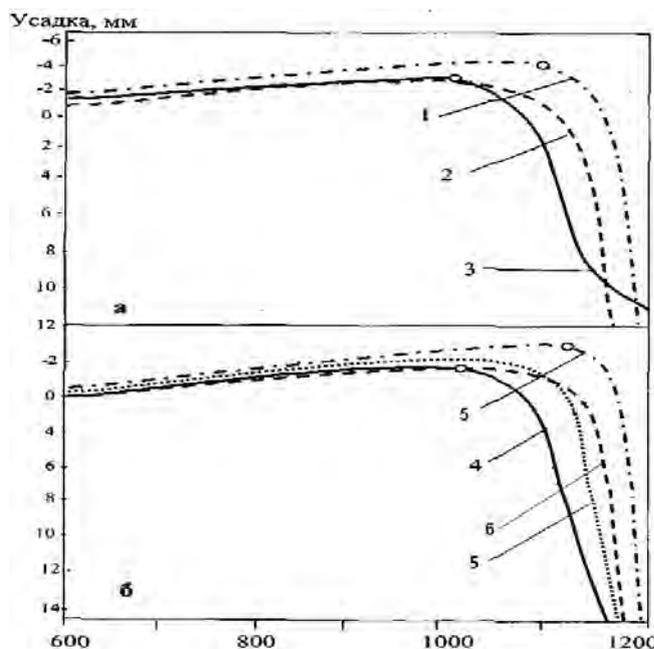


Рис. 3. Размягчение агломерата ПАО «МК «Азовсталь» в зависимости от степени восстановления (а) и крупности частиц (б): 1 - усадка исходного агломерата; 2 - то же, после восстановления его на 63 %; 3 - размягчение парафина с имитацией распределения шихты ТЗУ; 4 - размягчение парафина с адаптацией к условиям загрузки шихты БЗУ; 5 - размягчение агломерата фракции 1-3 мм; 6 - то же, фракции 7-10 мм

сти газопроницаемости зоны когезии при периферийном ходе печных газов, с загрузкой ТЗУ и БЗУ, недостаточно полно учитываются в технологии управления ходом доменных печей.

При загрузке подач КККК↓АААА↓ нужно иметь устойчивый, умеренно развитый осевой поток газов. Только в этом случае можно успешно применять удвоенные подачи агломерата и кокса.

Исследования размягчения парафина на лабораторной установке отражает реальную порозность в

зоне когезии доменной печи. На рис. 3 показана усадка при размягчении агломерата ПАО «МК «Азовсталь» до загрузки в домну (рис. 3а – 1; 3б – 1).

Восстановление агломерата до 63-35 % (в зоне когезии) снижает начало его размягчения с 1175 до 900 °С (рис. 3а – 2; 3б – 4). Одинаковая усадка парафина показана на рис. 3а – 3; 3б – 4. Усадка агломерата «Азовстали» и парафина адекватна при их размягчении (рис. 3). Коэффициент корреляции составил 0,97–0,98. Начало размягчения агломерата в зоне когезии при 900 °С определили при исследовании замороженной домны ЕМЗ [5, 6].

Кроме того, агломерат и окатыши этой зоны сильно измельчены. При переходе  $Fe_2O_3$  в  $Fe_3O_4$ , а затем в  $FeO$  изменяются объемы кристаллических решеток, что и приводит к разрушению кусковых материалов. Эти особенности были учтены в наших исследованиях.

На рис. 3б показана зависимость размягчения более крупных фракций агломерата (б – б) и мелких (б – 5). Кривая размягчения более мелких частиц агломерата больше соответствует данному процессу в зоне когезии. При разборке замороженных доменных печей в Енакиево и особенно в Японии, установлено количество фракции 0-5 мм в верхних горизонтах шахты (50-60 %) [3, 6].

### Основные выводы

В зоне когезии доменной печи оксиды железа восстановлены до 63-65 %. Это снижает начало размягчения агломерата с 1175 до 900 °С. Исследование порозности зоны когезии определили путем размягче-

ния парафина в адекватных условиях. При периферийном ходе доменных печей, порозность зоны когезии при загрузке БЗУ системой КА↓АК↓ увеличивается, по сравнению с загрузкой АА↓КК↓. Начало размягчения мелких частиц происходит при более низкой температуре, по сравнению с более крупными фракциями.

### Библиографический список

1. Тарасов В.П. К вопросу распределения материалов и газов в доменной печи // *Сталь*. – 2003. – №6. – С. 31-34.
2. Вопросы современной металлургии / П.С. Харлашин, Г.С. Ершов, В.П. Тарасов и др. – Мариуполь: ПГТУ, 2001. – 521 с.
3. Теория и технология доменной плавки / В.П. Тарасов, П.В. Тарасов. – М.: Интермет инжиниринг. – 2007. – 384 с.
4. Тарасов В.П. Потери напора по сечению печи в реальных условиях доменной плавки // *Сталь*. – 1979. – № 1. – С. 11-13.
5. Шлакообразование в процессе плавки перелдального чугуна / И.Д. Балон, Ю.Ф. Никулин, В.Н. Муравьева и др. // *Сталь*. – 1973. – № 4. – С.304-309.
6. Балон И.Д. и др. Тр. ДонНИИчермет, вып. 3. – М.: Металлургия, 1969. – С. 231-238.
7. Доменное производство: Справочное издание в 2-х т., т. 1. Подготовка руд и доменный процесс / Под ред. Вегмана Е.Ф. – М.: Металлургия, 1989. – 496 с.

*Поступила 26.11.2012*



## Вниманию подписчиков, авторов, рекламодателей!

Журнал публикует материалы, связанные с памятлими датами предприятия и юбилеями известных ученых - металургов, руководителей предприятий.

Просим заблаговременно предоставлять материалы в редакцию.

к.т. 0562-46-12-95  
факс 0562-46-12-95