

УДК 669.162.16

Д.А. КАССИМ, канд. техн. наук, доц., МетИ Криворожский национальный университет

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МАССЫ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ПОДАЧИ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Выполнен анализ изменения технико-экономических показателей работы доменной печи доменного цеха №1 завода “Криворожсталь” (в настоящее время ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог”) при увеличении массы железорудной подачи до 80-104 т. На основании данного анализа показана эффективность увеличения массы подачи на доменной печи объемом 2700 м<sup>3</sup>.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** С точки зрения наиболее полного использования тепловой и химической энергии восстановительных газов в доменной печи идеальным является такое их распределение, при котором процессы нагрева шихты и восстановления оксидов железа протекали бы равномерно. При этом по всему сечению печи шихтовые материалы были бы в равной мере нагреты и восстановлены, а температура и состав газов должны были бы одинаковыми [1].

Современная концепция управления распределением газов и материалов по сечению печи заключается в обеспечении максимально возможной равномерности распределения материалов и газов по окружности и оптимальной неравномерности их распределения по радиусу печи. Значительная неравномерность распределения шихтовых материалов и газового потока определяется к тому же особенностями конструкции печи и формирования структуры столба шихты в доменных печах, оборудованных конусными загрузочными устройствами.

В рабочем диапазоне управления распределением рудных материалов и кокса на колошнике, выравнивание значений рудных нагрузок на кокс по сечению колошника приводит, с одной стороны, к лучшему использованию газа в печи и снижению расхода кокса, а с другой стороны, – к повышению газодинамической напряженности плавки и к снижению производительности печи.

Однако существует изменяющий структуру столба шихты параметр загрузки, который одновременно повышает и экономичность, и интенсивность плавки – масса подачи.

**Анализ исследований и публикаций.** Исследования на доменной печи Череповецкого металлургического комбината объемом 2000 м<sup>3</sup> при изменении рудной части подачи с 34 до 50 т [2] показали, что увеличение массы подачи приводит к более равномерному распределению материалов и газов по сечению печи.

Железородная подача в 46-50 т обеспечивает лучшее перекрытие рудными материалами сечения колошника, в результате чего содержание СО<sub>2</sub> в газе осевой зоны существенно повышается, оставаясь почти неизменным в других кольцевых сечениях.

Последовательное увеличение рудной колоши на доменной печи объемом 2000 м<sup>3</sup> Ново-Тулского металлургического завода от 25 до 35 т при системе загрузки КРРК↓ и уровне засыпи 1,5 м обеспечило более устойчивый тепловой режим работы печи [3]. Интенсивность плавки по руде на печи выросла от 1,8 до 3,12 т/(м<sup>3</sup>·сут.) при увеличении расхода природного газа от 71,6 до 105,0 м<sup>3</sup>/т чугуна. Степень использования газа выросла на 4 %. Расход кокса снизился от 559 до 505 кг/т чугуна. Авторы работы [3] отмечали, что использование большой рудной колоши способствует достижению высоких технико-экономических показателей доменной плавки.

**Постановка задачи.** Результаты работы доменных печей при изменении массы железорудной подачи показали, что потенциальный эффект от значительного увеличения массы подачи достаточно велик, поэтому в настоящей работе поставлена задача исследовать и выполнить сравнительный анализ результатов работы доменной печи №8 ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог” (АМКР) при резком увеличении массы подачи от 38 до 104 т.

**Изложение результатов исследований.** В работе [4] приведены исследования влияния массы подачи на показатели работы доменной печи №8 объемом 2700 м<sup>3</sup> доменного цеха №1 завода “Криворожсталь”.

На печи №8 массу железорудной части подачи тогда увеличили с 38 до 42 и в настоящее время до 104 т. Эффективность увеличения массы подачи оценивали, сопоставляя результаты работы печей в базовых и опытных периодах (табл. 1).

Технико-экономические показатели работы доменной печи №8 при изменении массы железорудной части подачи

Показатели	ДП №8		
	Б	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>
Длительность периода, сут.	13	17	28
Масса рудной части подачи, т	38	42	104
Система загрузки	4КААК↓ ААКК↓	4КААК↓ ААКК↓	АААА↓ КККК↓
Уровень засыпи, м	1,5	1,75	А-1,5 К-1,25
Производительность, т/сут.	4805	4986	5163
Привед. производительн., т/сут.	4805	5175	5261
Расход кокса, кг/т	538	560	486
Привед. расход кокса (К), кг/т	538	538	460
Расход антрацита (А), кг/т	0	0	0
Интенсив. (К+А), кг/м <sup>3</sup> · сут.	957	1034	929
Дутье: расход, м <sup>3</sup> /мин	4326	4512	4864
давление, кПа (изб.)	320	320	279
температура, °С	1060	994	997
Расход природного газа, м <sup>3</sup> /т	89	92	63,6
Содерж. кислорода в дутье, %	26,4	26,3	26,0
Кол. газ: давление, кПа (изб.)	193	192	119
температура, °С	272	267	185
содержание %: СО	26,9	25,5	26,5
СО <sub>2</sub>	18,9	18,9	17,5
Н <sub>2</sub>	н.д.	н.д.	4,4
Рудная нагрузка, т/т	3,15	3,15	3,66
Текущие простои, %	2,35	1,86	2,11
Тихий ход, %	0,10	0,25	0
Расх. коэф., кг/т: руда	0	0	3,3
агломерат АФ №1	88	68	127,7
агломерат АФ №2	0	0	1565,9
агломерат ЮГОК	1102	1119	0
окатыши СевГОК	557	600	0
шлак обогащенный	0	0	30,7
скрап металлический	0	0	31,4
МОЖ	0	0	28,3
известняк	95	86	28,4

На печи применялась циклическая система загрузки. Так, в базовом (Б) и опытном (O<sub>1</sub>) периодах система загрузки не менялась (4КААК↓ ААКК↓) при уровне засыпи 1,5 м в базовом периоде и 1,75 м в опытном периоде.

Увеличение массы железорудной части подачи привело к более равномерному распределению газового потока по радиусу печи (рис. 1).

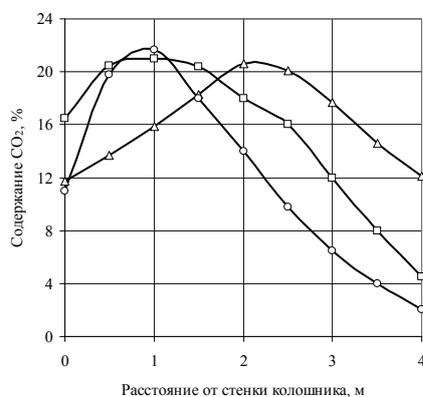


Рис. 1. Изменение распределения содержания CO<sub>2</sub> в газе по радиусу печи №8 при увеличении массы подачи: -○-○-○- — 38 т, □-□-□- — 42 т, -△-△-△- — 104 т

Содержание CO<sub>2</sub> в центральной зоне при работе печи на утяжеленной подаче несколько увеличилось при неодинаковом изменении содержания CO<sub>2</sub> в газе на периферии, что объясняется изменением в опытных периодах печей системы загрузки и уровня засыпи.

Дальнейшее более значительное увеличение массы подачи до 60-104 т на печах доменного цеха №1 предприятия началось с 2001 года после остановки на доменной печи №8 вращающегося распределителя шихты, который вышел из строя по причине механической поломки, с последующей заменой его на всех печах на лепестковый распределитель шихты [5].

Реализовать такое резкое увеличение массы подачи удалось при переходе с циклической 4-х скиповой совместной загрузки (по два скипа агломерата и кокса в различном сочетании пря-

мых и обратных подач) на систему загрузки отдельными подачами по 4-6 скипов одного вида материала в зависимости от массы подачи (например, КККК↓, АААА↓).

Переход на подачи большой массы был обусловлен еще одной существенной причиной, связанной с тем, что, начиная с 2000 г., на печах доменного цеха №1 стали внедрять технологию загрузки через колошник кускового антрацита.

Технология предусматривает загрузку антрацита в смеси с агломератом.

В связи с замещением части кокса антрацитом и уменьшением массы коксовой колоши стала снижаться и толщина коксовых слоев, что вызывало осложнения газодинамического режима доменной плавки.

Потребовалось не только восстановить толщину коксовых слоев, но и существенно увеличить ее для исключения ограничений в газодинамическом режиме доменной плавки, поскольку загрузка большого количества антрацита в смеси с рудными материалами сокращала газопроницаемость столба шихты.

Переход на отдельную систему загрузки с увеличением массы подачи обеспечил возможность загрузки в доменные печи увеличенного количества антрацита – до 70-100 кг/т чугуна. Технико-экономические показатели работы печи №8 на увеличенной массе подачи 104 т в сравнении с предыдущими периодами приведены в таблице (второй опытный период – О<sub>2</sub>). При увеличении массы подачи на печи увеличилась производительность, а удельный расход кокса снизился.

На доменной печи объемом 2700 м<sup>3</sup> массу подачи в настоящее время поддерживают в диапазоне 80-104 т при рудной нагрузке на кокс 3,5-3,8 т/т в зависимости от качества кокса и агломерата. При ухудшении качества кокса и агломерата массу подачи и рудную нагрузку снижают.

Уменьшение массы подачи обычно приводит к увеличению средней температуры на периферии колошника на 50-60 °С и снижению содержания СО<sub>2</sub> в колошниковом газе на 1-2 %. При загрузке коксовых порций уровень засыпи поддерживают таким же, как и для железорудных материалов (1,5 м) или уменьшают до 1,25 м.

В данных, приведенных в табл. 1 и на рис. 1, обращает на себя внимание кажущееся несоответствие между достигнутым в последнее время на доменных печах комбината низким удельным расходом кокса и наблюдающейся низкой степенью использования газа.

Причина - в значительно повысившейся реакционной способности используемого на комбинате кокса, что подтверждается регулярно проводившимися оценками этого показателя.

В данном случае активная регенерация СО при взаимодействии СО<sub>2</sub> с углеродом кокса осуществляется в высокотемпературной резервной зоне верхней ступени теплообмена, снижает одновременно и температуру колошникового газа, и кажущуюся степень использования СО и не приводит сама по себе к необходимости увеличивать расход кокса.

Значительное увеличение восстановительного потенциала газа интенсифицирует косвенное восстановление и обеспечивает снижение расхода кокса.

Работа на высокорекреационном коксе может быть экономичной, если найти способы эффективной борьбы с загромождениями горна.

На доменных печах с типовыми конусными загрузочными устройствами увеличение массы подачи приводит к подгрузке центра печи рудными материалами и на крупных печах может способствовать загромождению центра горна.

Одновременно при замене совместных прямых четырехскиповых подач на большегрузные отдельные подачи уменьшается рудная нагрузка на кокс в периферийной зоне колошника в связи с меньшей относительной деформацией коксовых слоев потоком загружаемых рудных материалов. Для подавления чрезмерного периферийного хода печи иногда приходится работать с загрузкой кокса на более высокий уровень засыпи, но эта мера воздействия не может быть значительной по величине.

**Выводы.** Выполненный анализ результатов работы доменной печи при резком увеличении массы подачи, показал, что работа на значительно увеличенной массе подачи существенно улучшает технико-экономические показатели плавки, однако легко и безо всяких технологических проблем реализуется лишь на доменных печах, оборудованных безконусными загрузочными устройствами, где есть возможность поддерживать оптимальное распределение рудных нагрузок на кокс по радиусу колошника.

#### *Список литературы*

1. Готлиб А.Д. Доменный процесс. – Изд. 2.– М.: Металлургия, 1966. – 504 с.

2. Регулирование распределения материалов и газов в доменной печи объемом 2700 м<sup>3</sup> / **Н.А. Потаничев, В.А. Костров, А.П. Котов, В.Д. Кайлов** // *Металлург.* – 1972. – №10. – С. 14–17.
3. Выбор оптимального режима загрузки доменной печи объемом 2000 м<sup>3</sup> / **А.И. Мазун, М.А. Цейтлин** // *Сталь.* – 1968. – №10. – С. 886.
4. Работа доменной печи на увеличенной подаче / **А.К. Тараканов, В.В. Бочка, С.З. Немченко и др.** // *Металлург.* – 1979. – №7. – С. 21–23.
5. Опыт загрузки доменных печей засыпным аппаратом с лепестковым распределителем шихты / **Е.Г. Донсков, В.П. Лялюк, В.И. Ильченко и др.** // *Сталь.* – 2009. – №6. – С. 11–16.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.14

УДК 669.162.16

**В.П. ЛЯЛЮК**, д-р техн. наук, проф., **Е.О. ШМЕЛЬЦЕР**, ст. преподаватель,  
**И.А. ЛЯХОВА**, **Д.А. КАССИМ**, кандидаты техн. наук, доц.  
 МетИ Криворожский национальный университет  
**А.К. ТАРАКАНОВ**, д-р техн. наук, проф., НМетА Украины  
**П.И. ОТОРВИН**, канд. техн. наук, ПАО “АрселорМиттал Кривой Рог”

## О ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМ СОСТАВЕ КОКСА ДЛЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

На основании анализа изменения гранулометрического состава кокса на примере Криворожского коксохимического завода (в настоящее время КХП ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог”) установлено, что за последнее время увеличился выход классов >80 мм, <25 мм и 80-60 мм, снизилось качество кокса по показателям прочности M<sub>25</sub> и истираемости M<sub>10</sub>. Показана необходимость стабилизации кокса путем его механической обработки.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** В настоящее время основными показателями, наиболее полно характеризующими совокупность свойств кокса для доменной плавки, являются: зольность, сернистость, летучие, рабочая влажность, холодная прочность (M<sub>10</sub> и M<sub>25</sub> или M<sub>40</sub>), реакционная способность (CRI) и послереакционная прочность (CSR), а также массовая доля кусков кокса размеров более 80 мм и менее 25 мм. Все эти показатели качества кокса оказывают существенное влияние на ход доменной плавки, расход кокса и производительность доменной печи [1,2].

Гранулометрический состав кокса также представляет собой одну из существенных характеристик его качества. Однако в отношении оптимальной крупности доменного кокса нет однозначного мнения и вопрос об оптимальном грансоставе для доменной плавки остается актуальным.

**Анализ исследований и публикаций.** Наиболее важными показателями гранулометрического состава кокса являются выход металлургического кокса (крупность кусков >25 мм) с повышенным содержанием самого ценного класса 40-60 мм и пониженной долей самого крупного и наименее прочного класса (≥80 мм) [3].

В верхней части доменной печи кокс должен обеспечить необходимую газопроницаемость столба шихтовых материалов при условии наиболее полного использования тепловой и восстановительной энергии газового потока. Газопроницаемость шихты в печи зависит не только от режима загрузки и степени смешивания кокса с рудными материалами, но и от ситового состава скипового кокса после восприятия им динамических ударов при загрузке материалов в печь и истирания по мере опускания в ней. При увеличении рудной нагрузки воздействие материалов на кокс усиливается. В средней и нижней частях шахты печи и в распаре кокс испытывает усилия на раздавливание при высоких температурах, а также подвергается агрессивному воздействию CO<sub>2</sub>, что увеличивает истираемость его после предварительного “разрыхления” поверхности куска кокса действием CO<sub>2</sub> [4].

В работе [5] авторы отмечают, что наиболее прочны и стабильны по крупности классы кокса 60-40, 40-25 и 25-15 мм. Наилучшей газопроницаемостью обладают классы 60-40 и 40-25 мм, причем последний класс сохраняет после разрушения более высокую газопроницаемость, чем обычный кокс. Авторы этой работы рекомендуют применять в доменной плавке кокс одного какого-либо класса высокой прочности (40-25, 60-40 или 70-40 мм) или кокс двух соседних по крупности классов, загружаемых в печь отдельными скипами [5].

Проведенная в свое время ДонНИИчерметом и УХИНОм работа показала, что наибольшее количество мелочи (<10 мм) дает кокс классов >80 мм и 80-60 мм. Этот кокс обладает большой склонностью к изменению своего ситового состава. Степень дробимости для коксов классов >80