



Анализ особенностей работы доменной печи с массами подачи различной величины

Исследованы особенности технологии доменной плавки при загрузке материалов в печь подачами различной массы. Показано, что увеличение массы подачи оказывает противоречивое влияние на противоток шихты и газов в доменной печи. Поэтому выбор величины массы подачи должен сопровождаться обоснованным применением технологических приёмов управления ходом печи, обеспечивающих наибольшую эффективность предложенного режима загрузки. Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: доменная печь, масса подачи, структура слоя, интенсивность, расход кокса, производительность

The features of the blast furnace technology with loading of materials into the furnace by different mass load have been investigated. It is shown that increase in a mass flow has a contradictory impact on the counter flow of charge and gases in the blast furnace. That's why the choice of the mass flow magnitude must be accompanied by reasonable application of technological practices for furnace operation management, which provides the highest efficiency of the proposed loading regime.

Keywords: blast furnace, the mass flow, the structure of the layer, the intensity, the coke consumption, productivity

Постановка проблемы

При загрузке шихтовых материалов в доменную печь (ДП) для управления их распределением по радиусу колошника используется, хотя и ограничено, изменение массы подачи. Следует отметить, что среди специалистов не существует единого мнения в отношении эффективности использования массы подачи для управления ходом ДП [1, 2]. Анализ показывает, что эффективность изменения массы подачи на ДП тем ниже, чем, больше их полезный объём, выше качество и насыпная масса рудной части шихты. Исходя из этого, следует, что в конкретных условиях работы ДП необходимо определять оптимальную массу подачи. Методика определения величины этой массы подачи в настоящее время является недостаточно обоснованной [3]. Поэтому подбор массы подачи в основном осуществляют опытным путём.

Практика работы ДП Украины и других стран показывает, что высокие показатели плавки обеспечиваются при организации рационального распределения шихты и газов по радиусу верхней части шахты, важнейшей особенностью которого является формирование в центре колошника зоны (площадью 7–14 % от площади колошника) повышенной газопроницаемости. Величина удельной массы подачи, определяемой как отношение массы рудной части шихты к полезному объёму ДП, в этом случае находится в пределах $(1,5-2,0) \cdot 10^{-2}$ т на 1 м^3 . При изменении условий работы печей массу подачи увеличивают или уменьшают на величину не более чем на (5-10) %, с соответствующей корректировкой других параметров загрузки.

Следует подчеркнуть, что возможности дальней-

шего снижения расхода кокса на выплавку чугуна в значительной степени определяются содержанием мелочи в рудной части шихты и характером её распределения по сечению верхней части шахты, положением по высоте печи зоны, лимитирующей газодинамический режим, а также величиной интенсивности доменной плавки. Практика работы ДП показывает, что при загрузке в печь рудной части шихты, отсеянной от мелочи, лимитирующая зона перемещается из верхней в нижнюю часть печи, что создаёт благоприятные условия для формирования такого распределения материалов по радиусу верхней части шахты, при котором улучшается использование энергии газа и снижается удельный расход кокса при заданном уровне интенсивности плавки. В этих условиях одним из путей создания такого распределения может быть увеличение массы рудной части подачи.

Изложение основного материала исследований

На ДП МК «Криворожсталь» (в настоящее время это ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог») накоплен опыт работы с различными массами железорудной части подачи, в том числе и с такими, удельная величина которых достигает $(3,5-4,2) \cdot 10^{-2}$ т на 1 м^3 полезного объёма [4]. В связи с этим на ДП полезным объёмом 2000 м^3 , оборудованной конусным загрузочным устройством, было проведено исследование особенностей доменной плавки с различными массами подачи. Для этого в период с 2000 до 2010 г. были выделены пять периодов (длительностью каждого до одного года) работы печи с различной массой подачи (таблица). Необходимо отметить, что выделенные периоды имели некоторые отличия.

Таблица. Техничко-экономические показатели работы ДП в исследуемые периоды

Показатели	Ед. изм.	Периоды				
		I	II	III	IV	V
Масса рудн. части подачи	т	27,0-30,0	37,0-45,0	45,0-60,0	60,0-68,0	80,0-85,0
Удельная масса	т/м ³ ·10 ⁻²	1,4-1,5	1,9-2,3	2,3-3	3-3,4	4-4,3
Производительность (ф.)	т/сут.	2676	2915	2772	3406	3570
Удельный расход кокса (ф.)	кг/т чугу.	525	468	459	451	462
Инт. горения кокса	т/м ³ сут.	0,709	0,681	0,635	0,781	0,887
Рудная нагрузка	т/т	3,37	3,92	4,04	3,96	3,89
Температура дутья	С°	1024	1028	1027	1026	1063
Температура колошн. газа	С°	297	327	322	220	254
Общий перепад (ΔP_{Σ})	кгс/м ²	1,21	1,25	1,32	1,37	1,48
Расход природного газа	м ³ /т чугу.	76	87	85	90	82
Содержание O ₂ в дутье	%	23,6	24,8	24,2	28,6	26,1
Содержание Si в чугуне	%	0,85	0,81	0,84	0,82	0,73
Расход антрацита	кг/т чугу.	-	27	34	42	37
Уровень засыпи	м	1,5-1,75	1,5-1,75	1,25-1,75	1,25-1,75	1,25-1,75
$\Delta P/Q_d \cdot 10^{-3}$		0,378	0,399	0,432	0,451	0,471
$\Delta P/V_{фг} \cdot 10^{-3}$		0,279	0,285	0,311	0,278	0,337
Приведенный удельный расход кокса	кг/т	525	498,4	493,4	495,8	496
Производительность (приведенная)	т/сут.	2676	2944	2920	3178	3320

Так, в первом периоде масса подачи составляла 27-30,0 т (ср. 28,5 т) рудной части подачи, при системе загрузки 4_н КААК↓ и 1_н ААКК↓ и уровне засыпи 1,5-1,75 м. Управление окружным распределением материалов осуществлялось с помощью вращающегося распределителя шихты, который работал на 6 станций. Во втором периоде масса подачи была увеличена до 37-45 т (ср. 41 т) при сохранении циклической системы загрузки. В данный период ВРШ не работал. В третьем периоде масса подачи составила 45-60 т (ср. 52,5 т) при раздельной загрузке рудных материалов и кокса. Уровень засыпи изменялся в пределах 1,25-1,75 м. В четвертом периоде после капитального ремонта на ДП была установлена масса рудной части подачи 60-68 т (ср. 64 т) с раздельной системой загрузки кокса и рудных материалов. Окружное распределение шихты в малом конусе производилось с помощью лепесткового распределителя шихты [5]. В пятом периоде масса рудной части подачи была доведена до 80-85 т (ср. 82,5 т). Система загрузки сохранена раздельной с использованием лепесткового распределителя шихты. Для уменьшения деформации поверхности засыпи на колошнике пада-

ющей шихтой с ростом массы подачи было увеличено время опускания большого конуса с 5-7 с (I и II периоды) до 15-25 с (III-IV-V периоды).

В таблице приведены средние значения параметров и показателей работы ДП в исследуемые периоды. Видно, что с увеличением массы подачи происходит существенное изменение как эффективности работы печи, так и газодинамических условий плавки. Прежде всего, следует отметить снижение газопроницаемости столба материалов, оцениваемой величинами как перепада статического давления газов (ΔP_{Σ}), так и отношения ΔP_{Σ} к количеству дутья ($\Delta P_{\Sigma}/Q_d$) или к выходу фурменных газов ($\Delta P_{\Sigma}/V_{фг}$). Так, с ростом величины массы подачи от 28,5 до 82,5 т (более чем в 2,5 раза) перепад давления увеличился на 32 %, а сопротивление столба возросло, соответственно, на 24 и 20 %.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что с увеличением массы подачи в структуре столба материалов происходят такие изменения, которые, способствуют, с одной стороны, увеличению, а,

с другой, - уменьшению сопротивления столба материалов в ДП. Учитывая то, что структура слоя и его газопроницаемость в значительной степени определяются качеством и характером укладки компонентов шихты в печи, было проведено исследование влияния величины массы подачи на распределение материалов по сечению верхней части шахты. Данное исследование проводилось с использованием математической модели загрузки материалов в ДП, разработанной в НМетАУ. Результаты исследования эпюр слоёв рудной части шихты и кокса по радиусу колошника, а также величин рудной нагрузки в радиальных зонах верхней части ДП по периодам исследования показали, что с увеличением массы подачи меняется характер распределения материалов.

Так, с увеличением массы подачи с 28,5 до 64-82 т рудная нагрузка возле стен уменьшалась с 4,8 до 3,6 т/т, в то время как рудная нагрузка в центре печи увеличивалась с 0,8 до 2,3 т/т. Максимальная рудная нагрузка во всех периодах находилась в промежуточной зоне радиуса колошника. Более равномерное распределение рудных материалов по радиусу колошника с ростом величины подачи, а также увеличение толщины

их слоёв способствуют, с одной стороны, снижению газопроницаемости столба шихты в сухой (верхней) зоне ДП и повышению степени использования тепловой и химической энергии газов, а, с другой, - перераспределению газового потока в сторону усиления периферийного и ограничения центрального потоков газов. Результаты исследования также показали, что при загрузке материалов с разной массой в значительной степени изменяются возможности и эффективность управления распределением материалов изменением системы загрузки. При массах подачи до $(2,0-2,3) \cdot 10^{-2}$ т на 1 м^3 полезного объёма ДП пропускная способность загрузочного устройства позволяет применять совместные подачи материалов с различными системами загрузки. Если же величина подачи становится более $2,3 \cdot 10^{-2}$ т на 1 м^3 полезного объёма ДП, то применяется раздельная загрузка материалов на колошник, в результате чего система загрузки теряет своё технологическое значение, что существенно ограничивает возможности управления ходом плавки мерами воздействия «сверху».

Увеличение массы подачи влияет на структуру слоя и через изменение динамического воздействия потока падающей шихты на поверхность засыпи предыдущей подачи. При загрузке подач в I и II периодах время опускания большого конуса составляло около 5-7 с, а массовая скорость высыпания материалов находилась в пределах 6,0-8,0 т/с. В этом случае поверхность засыпи предыдущей подачи периферийной зоны шириной 1,0-1,5 м испытывает в течение нескольких секунд такое динамическое воздействие, результатом которого являются уплотнение и деформация нижележащего слоя, а, следовательно, и кратковременное незначительное снижение его газопроницаемости (в наибольшей степени это проявляется при загрузке прямых подач). Увеличение времени опускания большого конуса до 15-25 с в III-V периодах при загрузке рудных тяжёлых и супертяжёлых подач способствовало тому, что массовая скорость высыпания материалов практически не изменилась, однако время динамического воздействия падающего потока на поверхность засыпи возросло по сравнению с первыми двумя периодами в 3-5 раз. Это приводит, наряду с отмеченными негативными явлениями, к усилению разрушения агломерата и кокса в результате значительных механических нагрузок, большому уплотнению не только нижележащей шихты, но и слоя агломерата загружаемой подачи, а также к более глубокому проникновению мелкого агломерата в пограничный слой кокса. В результате в момент загрузки рудной части подачи происходит резкое снижение газопроницаемости столба в верхней части печи, которое негативно влияет на ровность хода печи. Так, загрузка в печь рудных подач большой массы $-(4,0-4,5) \cdot 10^{-2}$ т на 1 м^3 объёма печи часто сопровождается кратковременными (в течение 2-3 мин) задержками в опускании столба шихты с последующими обрывами и появлением верхних пик на диаграмме давления колошникового газа, а это свидетельствует о нерациональном газоди-

намическом режиме работы печи. Результаты исследований показывают, что при работе ДП на больших массах подачи существенно возрастают требования к шихтовым, прежде всего рудным, материалам по прочности и гранулометрическому составу. В этих условиях положительный результат можно получить при селективной загрузке в печь предварительно стабилизированного по крупности и прочности агломерата (кр. 3-50 мм) и при приведении в соответствие дутьевого и газового режимов работы печи выбранной массе подачи.

Увеличение массы подачи оказывает влияние и на окружное распределение материалов и газов. Результаты исследований на данной печи показали, что с увеличением массы подачи, наряду с повышением температуры периферийных газов (на 50-70 °С), существенно возросла неравномерность распределения материалов и газов по периферии, о чём свидетельствует увеличение до 150-200 °С разницы между минимальной и максимальной температурами периферийных газов. Причём наибольшие температуры, как правило, имели место со стороны наклонного моста, в то время как со стороны пылеуловителя - температуры самые низкие. Устойчивая неравномерность распределения шихты и газов по окружности способствует, с одной стороны, некоторому снижению сопротивления столба материалов, а, с другой, - уменьшению степени использования энергии газов и формированию предпосылок для одностороннего, а то и канального, хода газов, неравномерности химического состава чугуна по выпускам, горения воздушных фурм, оползания гарнисажа и горения холодильников шахты печи. Поэтому при работе печи с большими массами подачи поддержание равномерного распределения шихты и газов по окружности верха шахты является важнейшим условием повышения эффективности плавки.

Полученные результаты свидетельствуют и о том, что сопротивление столба материалов в зоне сыпучих материалов с увеличением массы подачи может изменяться не столь существенно. Этому способствуют: уменьшение содержания мелочи в рудной части, улучшение качества кокса, снижение негативного влияния межслоевого эффекта, а также применение способов загрузки, усиливающих сегрегацию шихты по крупности.

Изменение структуры столба шихты при разных массах подачи оказывает влияние на возможности интенсификации технологического режима плавки. Так, при неизменной интенсивности плавки увеличение массы подачи приводит к росту величины общего перепада давления газов. С повышением интенсивности плавки газодинамическая напряжённость процесса плавки существенно возрастает, причём, чем больше масса подачи, тем этот рост больше. Анализ показывает, что, несмотря на некоторое увеличение верхнего перепада, рост общего перепада давления, как правило, определялся изменением нижнего перепада. Этому способствовали более равномерное радиальное распределение рудных материалов в верх-

ней части шахты, перераспределение газового потока по радиусу и связанное с этим изменение конфигурации зоны вязкопластических материалов, а также температурно-тепловых условий работы нижней части печи.

На рисунке приведены теоретические линии регрессии зависимостей производительности ДП и удельного расхода кокса от интенсивности плавки в исследуемые периоды. Видно, что в данных периодах имел место экстремальный характер связей удельного расхода кокса (k) и производительности печи (Π) с интенсивностью плавки (I_k). В то же время следует отметить и некоторые особенности данных зависимостей для различных периодов.

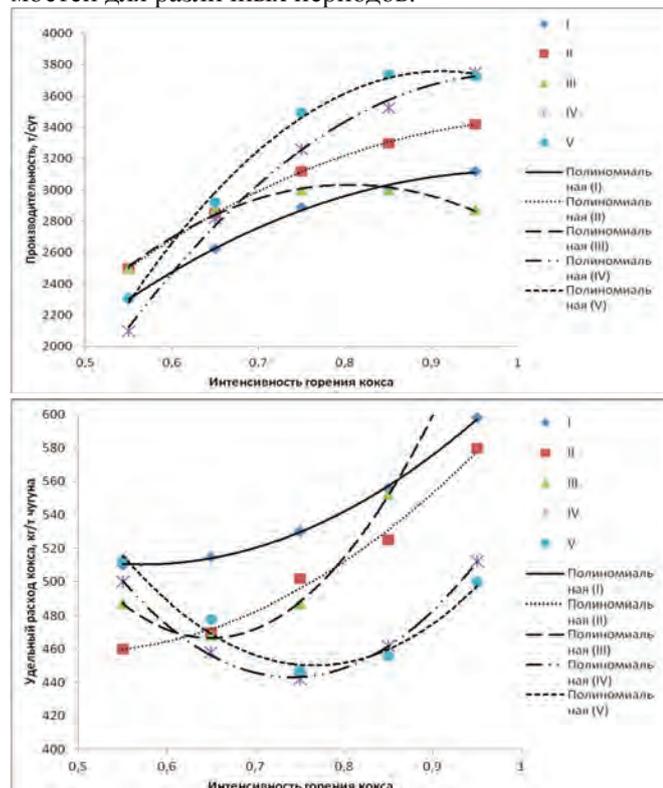


Рисунок. Влияние интенсивности плавки на показатели работы печи с различной массой подачи

Так, с ростом интенсивности плавки кривая зависимости $k = f(I_k)$ располагается тем ниже, а кривая зависимости $\Pi = f(I_k)$ — тем выше, чем больше масса подачи, что свидетельствует о повышении эффективности взаимодействия шихты и газов в доменной печи. Обращает на себя внимание и то, что с увеличением массы подачи интенсивность плавки, при которой достигается минимальный расход кокса, смещается в сторону больших значений. Последнее необходимо учитывать при выборе параметров газодутьевого режима, соответствующего той или иной массе подачи. Кроме того, на рисунке видно, что с ростом массы подачи разница между значениями интенсивностей, при которых достигаются минимальный расход кокса

и максимальная производительность печи, значительно сокращается, что свидетельствует о значительном возрастании газодинамической напряжённости процесса плавки и приближении её к критическому значению по условиям обеспечения ровности хода. Последнее подчёркивает необходимость при работе на подачах $(3,5-4,5) \cdot 10^{-2}$ т на 1 м^3 объёма печи существенной корректировки технологических приёмов ведения ДП по обеспечению ровности её хода.

Выводы

1. Увеличение массы подачи с $(2,0-2,5) \cdot 10^{-2}$ т/м³ до $(3,5-4,5) \cdot 10^{-2}$ т/м³ приводит к значительной перестройке структуры столба материалов в доменной печи, что оказывает неоднозначное влияние на газодинамический режим плавки.
2. С ростом массы подачи имеет место снижение удельного расхода кокса на выплавку чугуна, однако величина экономии кокса тем ниже, чем больше масса подачи.
3. Выбор величины массы подачи в конкретных условиях работы доменной печи должен сопровождаться применением технологических мероприятий управления ходом плавки, обеспечивающих наибольший эффект использования предложенного режима загрузки.

Библиографический список

1. Влияние массы подачи на газодинамический режим доменной плавки / В.В. Бочка, А.К. Тараканов, С.З. Немченко и др. // Проблемы автоматизированного управления доменным производством. — М.: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1979. — С. 17-18.
2. Бабарыкин Н.Н. Основные закономерности распределения материалов на колошнике доменной печи // Сб. Доменный процесс по новейшим исследованиям. — М.: Metallurgizdat, 1963. — С. 84-102.
3. Москалина Ф.Н. Определение массы подачи шихтовых материалов для доменных печей // Вопросы теории и практики производства чугуна. — М.: Metallurgiya, 1986. — С. 65-70.
4. Работа доменных печей на увеличенной массе подачи в современных условиях / В.П. Лялюк, В.А. Шеремет, В.С. Листопадов и др. // Metallurg. и горноруд. пром-сть. — 2011. — № 1. — С. 5-9.
5. Особенности работы распределителей шихты различных типов на печах большого объёма / Е.Г. Донсков, Г.П. Костенко, Г.Н. Орел и др. // Metallurg. и горноруд. пром-сть. — 2006. — № 1. — С. 11-14.

Поступила 05.12.2013