

**И.Г.Муравьева**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ СТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ  
ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗАСЫПИ ШИХТЫ**

Показано, что путем математического моделирования процессов, происходящих в доменной печи и информации, получаемой современными средствами измерения профиля поверхности засыпи шихты, можно повысить эффективность доменной плавки за счет выбора научно-обоснованных управляющих воздействий.

**Введение.** Эффективность доменной плавки в значительной мере определяется рациональным распределением шихты и газов по сечению печи [1]. Показатели доменной плавки зависят не только от совершенствования подготовки шихтовых материалов, использования комбинированного дутья, но и от условий движения, распределения и взаимодействия потоков газа и шихты. Исследования, выполненные В.И.Логиновым, И.Ф.Куруновым, Б.И.Китаевым, М.А.Стефановичем, а также рядом немецких исследователей, позволили сделать вывод о том, что сформированная структура столба шихтовых материалов в объеме печи при рациональном соотношении составляющих его элементов в значительной степени определяет экономичность доменной плавки, ее интенсивность и качество выплавляемого чугуна. Как показано в работе В.П. Тарасова [2], движение газового потока на разных горизонтах доменной печи определяется структурой столба шихты.

**Современное состояние вопроса.** Одним из основных методов регулирования хода доменных печей является управление газовыми потоками с помощью соответствующего распределения материалов на колошнике, направленного на изменение структуры столба шихтовых материалов [3]. Профиль поверхности засыпи шихтовых материалов на колошнике, который, в свою очередь, существенно зависит от распределения газового потока в печи и в конечном итоге влияет на показатели плавки, формируется под воздействием скоростей опускания шихты. Кроме того, скорость опускания шихтовых материалов, зависящая, в том числе, и от распределения рудных нагрузок, является одним из основных факторов, определяющих форму и положение основных элементов структуры столба в доменной печи. Поэтому выбор рационального сочетания элементов структуры столба шихты, в совокупности обеспечивающих высокую эффективность выплавки чугуна, может быть обеспечен только с учетом изменяющихся по сечению колошника скоростей опускания шихтовых материалов.

Анализ приведенных в литературных источниках результатов исследований характера движения шихтовых материалов в доменных печах

позволяет заключить, что, несмотря на значительный прогресс в изучении этого вопроса, полученные результаты применимы, в основном, для печей, оснащенных конусными загрузочными устройствами [4,5]. Кроме того, в связи с отсутствием средств контроля, позволяющих определять скорости в различных сечениях печи, характер их изменения со значительными допущениями определяется расчетным путем.

Оснащение доменных печей современными средствами и системами измерения профиля засыпи шихты на колошнике позволяет осуществлять контроль за образованными в результате выгрузки материалов профилями засыпи и на основе этих данных определять реальные скорости опускания шихты в сечениях по радиусу колошника. Использование стационарных систем измерения профиля поверхности засыпи шихты, основанных на радиолокационном методе контроля [6], предполагает разработку обоснованных технологических требований к количественному составу и расположению измерителей, а также создание научно обоснованной методической базы расчета параметров поверхности засыпи, характеризующих ход процесса [7]. В связи со сложностью процессов формирования поверхности засыпи в результате выгрузки порций шихтовых материалов и ее дальнейшего изменения, расчет таких параметров как скорости опускания шихты в различных сечениях колошника и толщины слоев выгруженных шихтовых материалов, определенные с учетом деформации слоев кокса после выгрузки на них железосодержащих компонентов, требует обстоятельных исследований и разработки специальных алгоритмов, формализующих происходящие процессы в столбе шихтовых материалов на колошнике печи.

Ввиду чрезвычайной сложности и многогранности процессов распределения шихты и газового потока, тепловых полей, а также физико-химических процессов восстановления, плавления и окисления железорудных материалов, флюсов и горючих углеродсодержащих материалов, малодоступности для контроля и экспериментальной проверки этих процессов, протекающих внутри доменной печи при высоких температурах и давлении, они остаются недостаточно изученными. В связи с этим развитие научной базы об особенностях строения и изменений структуры столба шихты в доменной печи, эффективности различных воздействий на структуру столба с целью ее оптимизации должно опираться на анализ и обобщение результатов исследований и опыта управления процессом, а для углубления понимания и обоснования практических приемов управления – широко использоваться математические модели, от степени совершенства которых в значительной мере зависит прогресс в решении проблемы повышения эффективности доменной плавки [8–10].

До настоящего времени в литературе отсутствуют четко сформулированные представления о структуре столба шихты и основных его элементах, нет установленных надежных аналитических зависимостей влияния элементов структуры на параметры и эффективность плавки. В то же вре-

мя максимальный эффект может быть получен лишь при рассмотрении элементов структуры, как частей единой взаимосвязанной системы.

В зависимости от сформированной структуры столба шихтовых материалов происходит и распределение газа по сечению печи. Поэтому разработка методики, позволяющей количественно определить влияние на газодинамические процессы в печи параметров распределения шихтовых материалов в совокупности с дутьевым режимом, является важной научно-технической задачей [11]. Установка на доменных печах бесконусных загрузочных устройств расширила возможности управления распределением шихты и увеличила возможности формирования в печи заданных профилей поверхности засыпи, слоев материалов и структуры столба шихтовых материалов за счет корректировки профиля засыпи с учетом изменения скоростей схода по радиусу колошника. Такой подход к управлению процессом доменной плавки предлагается впервые.

**Методика исследования.** Методический подход, основанный на аналитическом описании газодинамического режима доменной плавки, предполагает оценку изменения перепадов давления и степени уравнивания шихты в отдельных зонах печи при изменении параметров загружаемой шихты. Определение перепада давления в элементах структуры столба шихтовых материалов необходимо для обоснования выбора и корректировки программ загрузки. Адаптация разрабатываемой методики может быть выполнена на основе результатов эксплуатации радиолокационного профилемера, показавшего, что при используемых на печи программах загрузки и газодинамическом режиме плавки на поверхности засыпи после выгрузки ряда порций образуется взвешенный слой материалов, сконцентрированный, в основном, в осевой зоне печи. Зафиксировать процесс образования взвеси над поверхностью засыпи возможно в результате анализа характера измерения ежесекундных значений скорости опускания шихты в осевой зоне печи, что может служить показателем напряженности газодинамического режима и использовано для обоснованного выбора давления колошникового газа или корректировки программы загрузки.

Форсировка дутьем процессов, происходящих в доменной печи, с целью достижения высоких показателей имеет ограничения, обусловленные нарушением нормальной структуры слоя, что сопровождается ухудшением контакта газов с шихтой и расслоением ее составляющих. Таким образом, при заданных физических свойствах шихты и ее газопроницаемости существует вполне определенная область интенсивности хода доменной печи, при которой расход кокса минимален, т.е. имеет место рациональное газораспределение, обеспечивающее максимальное использование газов при равном опускании шихты.

Ровный ход печи является признаком ее нормальной работы, который характеризуется плавным и устойчивым опусканием шихты с неодинаковой, но постоянной скоростью в различных сечениях колошника. Известно, что ровность опускания шихты по сечению печи определяется различ-

ной степенью долевого участия процессов горения кокса у фурм с различными для определенных дутьевых условий механизмами его поступления в очаги горения, плавления шихты, связанных с химическими и физическими свойствами рудных материалов и распределением их по сечению печи, состоянием профиля печи и т.д. Поэтому измерение скоростей опускания шихты в различных сечениях колошника и оценка их колеблемости во времени отражает суммарное воздействие всех происходящих в доменной печи процессов на ровность схода шихты по ее сечению. Скорость опускания шихты является объективным показателем плавности ее движения, который может быть использован для определения степени ровности хода печи, выраженном в виде коэффициентов ровности опускания шихты для отдельных зон и всего сечения колошника. Радиолокационная система измерения профиля поверхности засыпи позволяет определять значения скоростей опускания шихты в различных сечениях колошника, на основе которых может быть осуществлена оценка ровности хода печи.

Таким образом, современные средства контроля поверхности засыпи шихты на колошнике доменной печи позволяют не только определить дифференцированно в кольцевых зонах характер опускания шихтовых материалов на колошнике, но и получить информацию о поведении поверхности материалов, которая может быть использована для адаптации моделей, описывающих физико–механические процессы в сухой зоне печи, а также газодинамику доменной плавки.

Комплексный анализ характера движения шихтовых материалов с использованием средств измерения профиля поверхности засыпи и прогноза газодинамики доменного процесса на основе математического моделирования с возможностью подтверждения результатов расчетов информацией, полученной профиломером, позволит осуществлять обоснованный выбор управляющих воздействий с целью повышения эффективности плавки.

### **Заключение**

Обсужден комплекс научно–технических задач, предполагающих использование современных средств измерения профиля поверхности засыпи шихты для решения проблемы повышения эффективности доменной плавки.

Показано, что путем математического моделирования процессов, происходящих в доменной печи, с использованием аналитических средств, адаптированных к реальным условиям с помощью получаемой современными средствами измерения профиля поверхности засыпи информации, можно повысить эффективность доменной плавки за счет выбора научно–обоснованных управляющих воздействий.

2. *Тарасов В.П.* Газодинамика доменного процесса. – М.: Металлургия, 1982. – Изд.1. – 224 с.; – Изд.2. – 1990. – 258с.
3. *Большаков В.И.* Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. – Киев.: Наукова думка, 2007. – 411 с.
4. *Половченко И.Г.* Движение шихтовых материалов и газов в доменной печи. – Харьков, 1958, 162 с.
5. *Фиалков Б.С., Плицын В.Т.* Кинетика движения и характер горения кокса в доменной печи. – М.: Металлургия, 1971. – 288 с.
6. *Состояние и перспективы создания радиолокационных профилемеров для доменных печей / В.И.Головки, О.Н.Кукушкин, Н.В.Михайловский и др. // Современные проблемы металлургии: Науч. Тр. НМетАУ. – Днепропетровск. – 2001. – Т.3. – С.173–191.*
7. *Доменное производство «Криворожстали»*. Монография под ред. чл. корр. НАНУ В.И.Большакова. – Дн-ск, ИЧМ, «Криворожсталь», 2001. – 378 с.
8. *Моделирование* опускания шихты в сухой зоне доменной печи / В.И.Большаков, Н.А.Гладков, Ф.М.Шутылев, и др. // Бюлл. НТЭИ Черная металлургия. – 2004. – Вып.8(1256). – С.31–34.
9. *Структура* нижней части столба шихты и роль ее элементов в организации процессов плавки / В.И.Большаков, Н.А.Гладков, И.Г.Муравьева и др. // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб.науч.тр. ИЧМ. –Вып.№8. – 2004. – С.113–120.
10. *Определение* границ пластичной зоны в доменной печи / В.И.Большаков, Н.А.Гладков, И.Г.Муравьев, Е.А.Белошапка // Бюл. Черная металлургия. – 2006. – № 12. – С.29–33.
11. *Исследование* газодинамики столба шихты в доменной печи. / В.И.Большаков, Н.А.Гладков, И.Г.Муравьева, Е.А.Белошапка // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2007. – № 7. – С.9–15.

*Статья рекомендована к печати  
чл.-корр.НАН Украины В.И.Большаковым*