

В.И.Большаков, Н.Г.Иванча, И.Г.Муравьева, В.И.Вишняков

Институт черной металлургии НАН Украины им.З.И.Некрасова

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОМЫШЛЕННОЕ ОПРОБОВАНИЕ ЗАГРУЗКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕШАННЫХ ПОРЦИЙ, СОСТОЯЩИХ ИЗ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОКСА

Целью работы является выбор рациональных параметров формирования многокомпонентных смешанных порций шихты для обеспечения стабильной работы доменной печи. Для оценки компонентного состава выгружаемого потока были определены средние величины расхода каждого вида шихтового материала при выгрузке его из бесконусного загрузочного устройства (БЗУ). Показаны особенности выгрузки смешанных порций и изменения компонентного состава выгружаемого потока из бункера БЗУ в системах загрузки доменных печей с конвейерной доставкой шихты на колошник. Предложены параметры формирования многокомпонентных смешанных порций, которые обеспечивают рациональное распределение компонентов в слое и устойчивый положительный эффект загрузки порций этого вида. Для успешного стабильного применения технологических приемов смешивания железорудного сырья и кокса необходимым является выбор рациональной структуры цикла загрузки, рациональное распределение рудных нагрузок и газового потока.

Ключевые слова: доменная печь, шихта, многокомпонентные смешанные порции, параметры, режимы, выгрузка, загрузка

Современное состояние вопроса. Одним из перспективных направлений совершенствования технологии загрузки является разработка технологических приемов загрузки многокомпонентных смешанных порций, состоящих из железорудных шихтовых материалов и «скипового» кокса. Значительный объем исследований, включающий использование моделей и проведение опытных плавов с загрузкой печей частично смешанной шихтой, выполнен под руководством проф. В.И. Логинова [1 – 6], по мнению которого, перемешивание рудных материалов и кокса перед загрузкой и последующая загрузка их смеси в печь является одним из способов получения равномерного распределения рудной нагрузки по сечению печи, способствующего улучшению использования газа. В движущемся слое (столбе материалов) гидравлическое сопротивление смеси железорудных материалов и кокса существенно меньше, чем при послойной загрузке этих материалов [2]. Анализ работы доменных печей, где применялась загрузка смесей железорудных материалов и кокса показал, что этот технологический прием обеспечивает интенсификацию тепло – массообменных и физико – химических процессов в слое, во многом, за счет улучшения газопроницаемости слоя в пластичной зоне и более равномерного распределения газа в слое шихтовых материалов [3, 4].

Таким образом, полученные к настоящему моменту результаты исследований свойств смесей железорудных шихтовых материалов и кокса, технологических особенностей поведения этих смесей в доменной печи и их влияния на технико – экономические показатели доменной плавки показывают, что смешивание основных компонентов шихты в определенных соотношениях позволяет улучшить газодинамику доменной плавки, повысить эффективность использования рабочего пространства печи, уменьшить удельный расход кокса и увеличить производительность доменной печи. Вместе с тем, следует отметить, что практика загрузки многокомпонентных смешанных порций, состоящих из железорудных материалов и кокса, подтвердила предположения о том, что загрузка этих порций эффективна при рациональном сочетании в цикле загрузки подач, состоящих из отдельно загружаемых порций железорудных материалов и порций кокса, и некоторого количества порций, представляющих собой смесь железорудных и топливо – восстановительных компонентов. При этом, отдельно загружаемые порции железорудных материалов и кокса играют определяющую роль в формировании требуемого распределения газового потока по сечению колошника, а загрузка смеси этих компонентов позволяет реализовать преимущества теплообменных и восстановительных процессов в смешанном слое.

Текущее состояние разработки теории механики сыпучих сред в ряде случаев не позволяет аналитическим путем получить требуемые зависимости, характеризующие компонентный состав потока материалов, выгружаемых из бункера, при загрузке в бункер смеси материалов со значительно (в разы) отличающимися насыпными массами (γ_i), какими являются по отношению друг к другу железорудные материалы ($\gamma_{жрм} = 1600 - 2200 \text{ кг/м}^3$) и кокс ($\gamma_k = 430 - 550 \text{ кг/м}^3$).

Цель работы. Настоящая работа посвящена исследованию особенностей выгрузки порций, состоящих из железорудных материалов и кокса, и изменения состава выгружаемого потока на современных доменных печах с конвейерной доставкой шихты на колошник и бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ), а также выбору рациональных параметров формирования многокомпонентных смешанных порций, которые обеспечивают стабильное использование порций этого вида в цикле загрузки с устойчивым положительным эффектом.

Изложение основных материалов исследования. Приближенная оценка компонентного состава потока, выгружаемого из бункера БЗУ, возможна по результатам анализа изменения массы материала в бункере в течение выгрузки и ее первой производной – расхода. Экспериментальные исследования загрузки и выгрузки смешанных порций из бункеров БЗУ, выполненные ИЧМ на действующих доменных печах, позволили установить следующее.

При послышной загрузке в бункер БЗУ железорудных материалов и кокса последовательность выгрузки компонентов из бункера определяется

расположением их слоев относительно друг друга. В случае, когда в формируемой на конвейере многокомпонентной смешанной порции доза кокса располагается перед железорудными материалами и, соответственно, в бункер БЗУ первым загружается слой кокса, а сверху на него – слой железорудных материалов, истечение шихтовых материалов из бункера развивается в соответствии с классическими представлениями о нормальном виде истечения сыпучих материалов. То есть, при открывании затвора, в первую очередь, из бункера выгружается объем материала, ограниченный поверхностью «фигуры выпуска», представляющей собой тело вращения эллипсовидной формы (в ряде случаев используется конусообразная форма или параболоид вращения), которое расположено вертикально над выпускным отверстием. Область, которая вначале процесса истечения определяется, как «фигура выпуска», в дальнейшем преобразуется в область активного движения материала, где скорость движения сыпучего материала к выпускному отверстию значительно больше, чем за ее пределами. После выгрузки из бункера объема материала, ограниченного «фигурой выпуска», на свободной поверхности образуется воронка и, далее, в зону активного движения в основном поступает материал, послыбно ссыпающийся с поверхности воронки, и частично – материал из зоны, примыкающей к боковой поверхности «фигуры выпуска». При этом зона активного движения постепенно расширяется за счет послыбного сдвига материала с поверхности воронки. Далее общий характер процесса сохраняется и сопровождается понижением уровня шихтового материала в бункере до окончания истечения. На рис.1 показана структура смешанной порции на конвейере с расположением дозы кокса перед дозой окатышей, сформированной при проведении экспериментальных исследований на доменной печи объемом 5000 м^3 , а на рис.2 – изменение массы в бункере БЗУ при выгрузке этой порции в доменную печь.

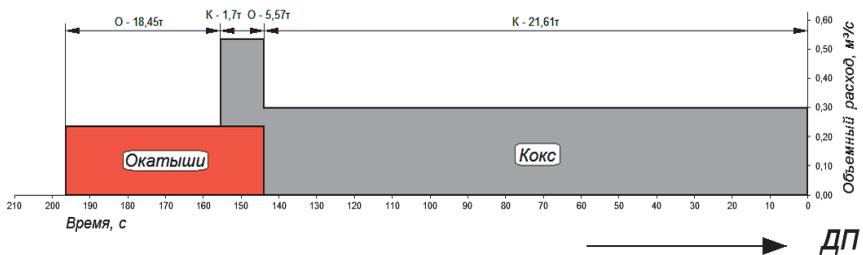


Рис.1. Структура смешанной порции на конвейере с расположением дозы кокса перед дозой окатышей, сформированной при проведении экспериментальных исследований на доменной печи объемом 5000 м^3 (масса порции - $47,33 \text{ т}$, окатыши - $24,02 \text{ т}$, кокс - $23,31 \text{ т}$).

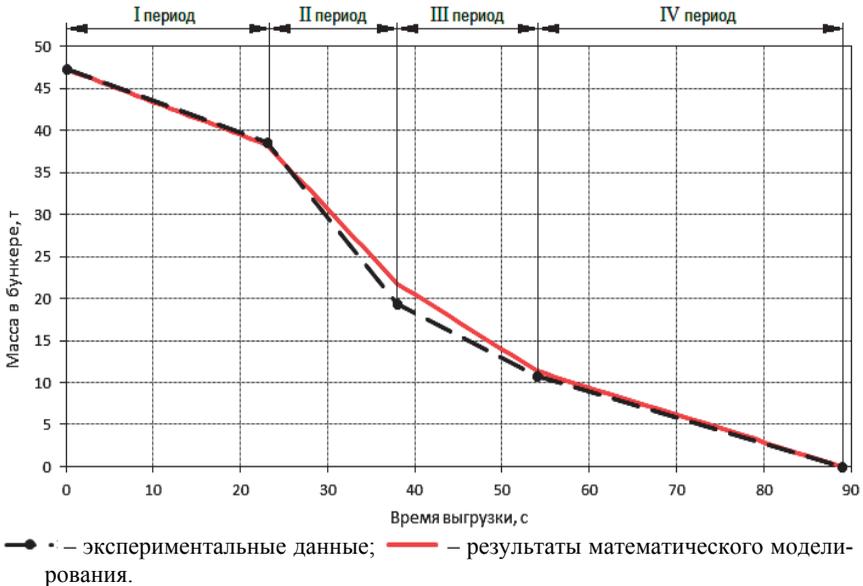


Рис.2. Изменение массы в бункере БЗУ во время выгрузки смешанной порции, состоящей из кокса и окатышей, структура которой показана на рис.1.

Для оценки компонентного состава выгружаемого потока вначале были определены средние величины расхода каждого вида шихтового материала при выгрузке его из БЗУ: агломерат – 1120 кг/с, окатыши – 1280 кг/с, кокс – 340 кг/с. Соответствующие возможные отклонения текущих значений от средних составили 20,0%, 11,0% и 26,0%. Приведенный на рис.2 пример изменения массы в бункере БЗУ показывает, что процесс выгрузки порции с передним расположением кокса может быть условно разделен на три - четыре условных периода. Изменение расхода, обусловленное изменением соотношения компонентов в выгружаемом потоке, происходит в следующей последовательности:

- период 1 - в потоке выгружающегося материала содержится преимущественно кокс (выгрузка осуществляется с расходом 300 – 500 кг/с);
- период 2 – происходит выгрузка смеси, содержащей преимущественно железорудный материал и некоторое (иногда незначительное) количество кокса – характерный уровень расхода – 900 – 1300 кг/с;
- период 3 – расход смеси шихтовых материалов уменьшается до 550 – 900 кг/с, что свидетельствует о постепенном уменьшении содержания железорудного компонента в потоке и увеличении содержания кокса;
- период 4 – характеризуется выгрузкой смеси, состоящей преимущественно из кокса, с возможным включением некоторого количества железорудного материала (расход уменьшается до 300 – 500 кг/с).

Экспериментально установленный характер изменения расхода в процессе выгрузки многокомпонентных смешанных порций подтверждает, что при расположении в передней части порции материала со значительно меньшей насыпной массой выгрузка шихтовых материалов из бункера БЗУ осуществляется в соответствии с закономерностями нормального вида истечения сыпучих материалов.

На рис. 2 представлены результаты расчета изменения расхода по данным математического моделирования (красная сплошная линия) при выгрузке смешанной порции из бункера БЗУ, структура которой показана на рис. 1. Сопоставление полученных результатов с экспериментальными данными показывает их близкое соответствие и указывает на возможность использования разработанных в ИЧМ математических моделей загрузки в бункер и выгрузки порций шихтовых материалов из бункера БЗУ для оценки распределения компонентов смешанных порций, формируемых с передним расположением кокса.

Выгрузка многокомпонентных смешанных порций с расположением доз железорудных материалов перед дозой кокса (состыковкой или с частичным наложением доз компонентов) (рис.3), происходит в соответствии с закономерностями, существенно отличающимися от изложенных выше.

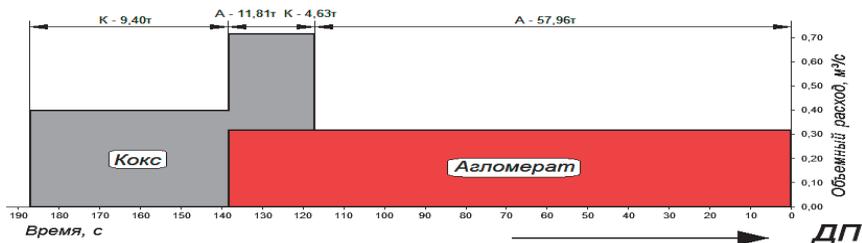


Рис.3. Структура смешанной порции на конвейере с расположением дозы кокса после дозы агломерата, сформированной при проведении экспериментальных исследований на доменной печи объемом 5000 м^3 (масса порции - 83,8 т, агломерат - 69,8 т, кокс - 14,0 т).

При загрузке порций этого вида в бункер БЗУ железорудные материалы располагаются в нижнем слое под слоем кокса. Выгрузка порций шихтовых материалов с нижним расположением материалов с большей насыпной массой частично в начальной фазе (а именно выгрузка нижних слоев материалов с большей насыпной массой) осуществляется в соответствии с закономерностями гидравлического вида истечения сыпучих материалов, то есть, в порядке, соответствующем очередности загрузки их в бункер БЗУ с частичным перемешиванием материалов приграничных слоев. Далее после некоторого переходного периода формируется нормальный вид истечения, сохраняющийся до окончания выгрузки порции. Как в первом, так и во втором случае, характер выгрузки многокомпонентных

смешанных порций нельзя отнести строго к одному из известных видов истечения, можно только указать, что в процессе выгрузки в целом или в отдельных его фазах превалирует тот или иной вид истечения. При выгрузке порций с нижним расположением в бункере БЗУ железорудного материала в практически несмешанном виде выгружается 80,0 – 90,0% его массы, затем в зависимости от структуры порции (точнее от величины ее смешанной части) выгружается смесь железорудных материалов и кокса, а в заключительной фазе – преимущественно кокс (рис.4).

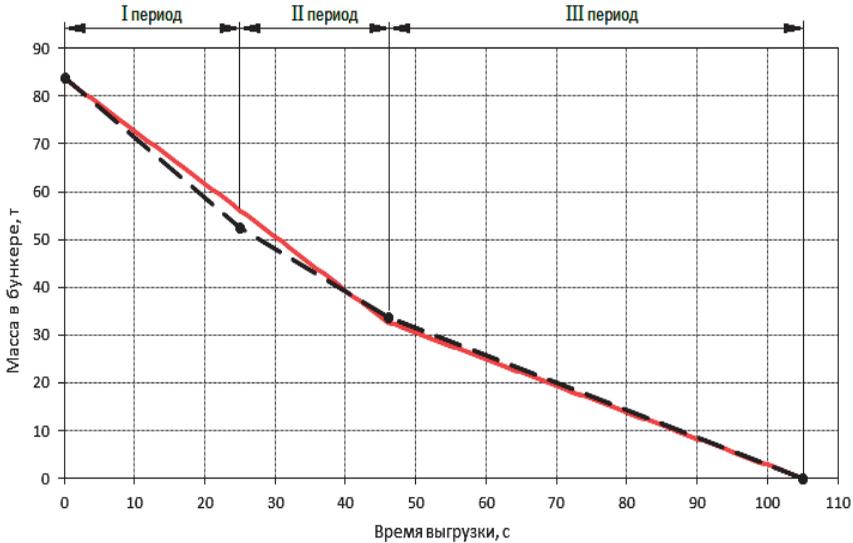


Рис.4. Изменение массы в бункере БЗУ во время выгрузки смешанной порции, состоящей из агломерата и кокса, структура которой показана на рис.3. —•—•— экспериментальные данные; — красная линия — результаты математического моделирования.

Указанные особенности движения компонентов в бункере БЗУ при выгрузке порций со структурами, подобными показанной на рис.3, значительно усложняют использование известных математических моделей истечения сыпучих материалов из бункеров [7-13] для определения компонентного состава выходного потока. Удовлетворительное соответствие результатов расчетов при помощи математической модели ИЧМ и экспериментальных данных, которое отражено на рис.4, достигнуто после ввода дополнительных допущений и настройки модели для данного конкретного случая.

Упрощенная практическая оценка содержания компонентов в потоке выгружаемых из бункера БЗУ шихтовых материалов может быть выполнена на основании данных об изменении массы в бункере БЗУ при помо-

щи несложных зависимостей, получаемых исходя из допущений о том, что величина объемного расхода при выгрузке многокомпонентной смешанной порции постоянна в течение времени выгрузки и является суммой объемных расходов компонентов. Сопоставление результатов расчета содержания компонентов в определенных периодах выгрузки экспериментальных порций на доменной печи объемом 5000 м^3 по указанным зависимостям и результатов математического моделирования этого процесса показало возможность упрощенного контроля состава потока при выгрузке многокомпонентных смешанных порций (рис.5).

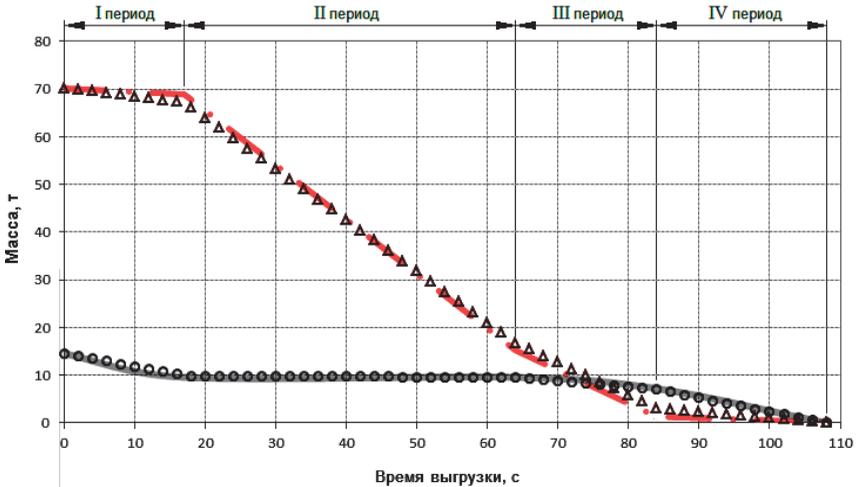


Рис.5. Изменение масс выгруженных компонентов смешанной порции, сформированной с расположением дозы кокса перед дозой агломерата, в процессе выгрузки порции из бункера БЗУ (масса порции - 84,79 т, агломерат - 70,26 т, кокс - 14,53 т). Кривая внизу - изменение массы выгруженного кокса, рассчитанное по упрощенным формулам; кривая сверху - изменение массы выгруженного агломерата, рассчитанное по упрощенным формулам; о - изменение массы выгруженного кокса по результатам математического моделирования; Δ - изменение массы выгруженного агломерата по результатам математического моделирования.

Изменение состава потока при выгрузке многокомпонентных смешанных порций, формируемых полным наложением доз железорудных материалов и кокса (рис. 6, рис. 7), отчасти сходно с изменением состава потока при выгрузке порций, сформированных на конвейере с расположением дозы кокса после дозы железорудных компонентов, что объясняется ускоренным выходом «более тяжелого» материала на уровень плоскости выпускного отверстия бункера БЗУ.

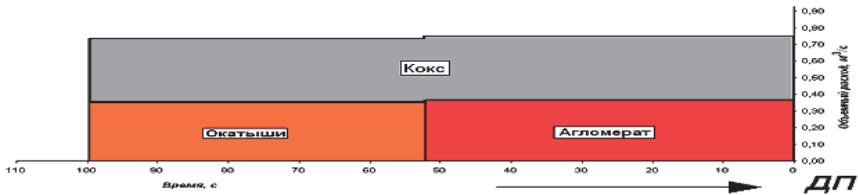


Рис.6. Структура многокомпонентной смешанной порции с послыльным наложением доз железорудных материалов и кокса (масса порции - 85,9 т агломерат - 33,3 т, окатыши - 33,6 т, кокс - 19,0 т).

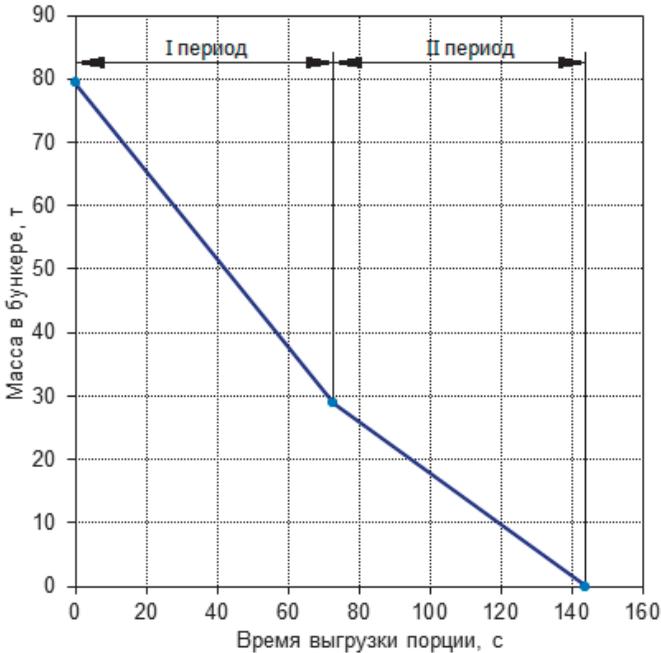


Рис.7. Изменение массы в бункере БЗУ во время выгрузки многокомпонентной смешанной порции, структура которой показана на рис 6.

Однако, особенностью выгрузки порций этого вида является большая степень смешивания компонентов в процессе выгрузки порций из бункера БЗУ, а также наличие, как правило, двух выраженных периодов (рис.7) с различными значениями расхода (период I $\approx 700 - 800$ кг/с, период II $\approx 400 - 500$ кг/с) и, соответственно, с отличающимся составом выгружающегося потока.

Как указывалось выше, несмотря на значительный объем экспериментальных исследований и многочисленные попытки промышленного применения технологии загрузки смешанных порций железорудных материа-

лов и кокса, стабильный положительный эффект от ее внедрения получен практически на единичных объектах, в частности, на ДП №6 ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат (НЛМК)». Положительный эффект загрузки смешанных порций на ДП №6 ОАО «НЛМК» в значительной степени определялся взвешенным подходом к выбору рациональных параметров режима загрузки смешанных порций: количеству смешанных порций в цикле, последовательности их чередования с традиционными железорудными и коксовыми порциями в цикле, программе распределения смешанных порций на колошнике [14]. На большей части других доменных печей загрузка смешанных порций железорудных материалов и кокса после непродолжительного периода работы с повышением экономичности плавки сопровождалась нестабильностью хода печей и снижением технико-экономических показателей до исходного уровня. Одной из основных задач, которые необходимо решить для успешного стабильного применения технологических приемов смешивания железорудного сырья и кокса, является выбор рациональной структуры цикла загрузки (периодичности загрузки многокомпонентных смешанных порций), не вызывающей искажения рационального распределения рудных нагрузок и газового потока при загрузке в печь многокомпонентных смешанных порций. Стабильное длительное применение загрузки смешанных порций на ДП №6 ОАО «НЛМК» с соответствующим улучшением технико – экономических показателей плавки, также является результатом тщательной промышленной отработки режима загрузки, включающего параметры формирования порций, программы их распределения и структуру цикла загрузки [14].

Для выбора рациональной структуры многокомпонентных смешанных порций на доменной печи объемом 5580 м³ проведено промышленное опробование различных структур порций этого вида и режимов их загрузки [15].

Выполненный анализ свойств первичных, промежуточных и конечных шлаковых расплавов в смешанном слое, технологических приемов распределения компонентов шихты на колошнике, обеспечивающих сохранение футеровки доменной печи и практические результаты, полученные на ДП №6 ОАО «НЛМК», позволили сформулировать основные технологические положения (ограничения), определяющие режим загрузки многокомпонентных смешанных порций, состоящих из железорудных материалов и кокса, в период промышленного опробования:

- структура цикла загрузки и программы распределения порций должны исключать образование «сдвоенных» рудных слоев в столбе шихты;

- ввод смешанных порций в цикл загрузки должен осуществляться при устойчивом ходе плавки и стабильно применяющемся режиме загрузки;

- при вводе смешанных порций в цикл загрузки следует стремиться к минимизации отклонений характера распределения газового потока от сформировавшегося на момент изменения режима загрузки. В первую очередь, для реализации этого требования параметры нового режима загрузки должны обеспечивать минимальные изменения распределения рудных нагрузок по радиусу колошника по отношению к исходному режиму загрузки;

- параметры формирования смешанных порций и программы их распределения должны обеспечить поддержание повышенной газопроницаемости осевой зоны и увеличенную рудную нагрузку на периферии доменной печи без существенного ухудшения газопроницаемости этих зон по отношению к режиму раздельной загрузки;

- рациональная периодичность загрузки смешанных порций железорудных материалов и кокса в цикле составляет $5 \div 10$ подач;

- рациональная масса кокса в смеси с железорудными материалами, обеспечивающая повышение восстановимости железорудных материалов, ограничивается уровнем 20,0%. Остальная масса кокса в смешанной порции используется для обеспечения достаточной газопроницаемости смешанного слоя и формирования требуемого распределения шихтовых материалов по радиусу колошника;

- рудная нагрузка в многокомпонентной смешанной порции должна быть не меньше рудной нагрузки в рабочих подачах и может увеличиваться по отношению к указанному значению при достижении устойчивого хода плавки;

- в связи с тем, что в смешанной порции из железорудных материалов и кокса содержание окатышей может быть повышено до 50% (от массы железорудной части этой порции), при разработке программы распределения на колошнике многокомпонентных смешанных порций с повышенным содержанием окатышей следует учитывать возможность увеличения допустимого содержания окатышей в пристеночной зоне доменной печи до 40,0 %;

- в смеси с железорудными материалами более эффективно использование кокса с повышенной реакционной способностью. Кокс повышенной горячей прочности, наряду с загрузкой его в обычном режиме для формирования требуемого характера распределения газового потока, при загрузке смешанных порций целесообразно использовать для регулирования газопроницаемости в зоне осевой отдушины.

При разработке рациональной программы загрузки и структуры цикла с загрузкой многокомпонентных смешанных порций максимальное приближение к исходному распределению рудных нагрузок целесообразно обеспечить, в первую очередь, путем выбора соответствующей программы распределения массы смешанных порций, а в случае необходимости (невозможности получения требуемого уровня приближения) - минимальными изменениями программы загрузки других порций цикла.

На начальном этапе загрузка доменной печи осуществлялась циклами из 33 подач, включавшими три многокомпонентные смешанные порции, структура которых схематически показана на рис. 6. Через 6 – 8 часов после начала загрузки многокомпонентной смешанной порции было отмечено повышение средней температуры показаний периферийных термпар и увеличение текущих отклонений температуры, что свидетельствовало о нарушении стабильности газодинамического состояния периферийной зоны доменной печи. Изучение характера изменения массы в бункере БЗУ в процессе выгрузки этих порций позволило установить, что вначале с расходом 700 – 750 кг/с выгружается 55,0 – 75,0% массы порции, а оставшаяся часть – с расходом 400 – 450 кг/с.

Результаты расчетов показали, что содержание кокса в потоке, выгружающемся в периферийную зону составляло $\approx 13,0 - 15,0\%$. С учетом возможной сегрегации кокса и обусловленного ею сосредоточения крупных кусков кокса под стенкой колошника (выгрузка многокомпонентной смешанной порции начиналась из девятого углового положения лотка) этого оказалось достаточно для чрезмерного увеличения газопроницаемости и, соответственно, возрастания температуры периферийной зоны (на 50 - 150°C выше обычных значений). Для уменьшения температуры периферийных газов и стабилизации теплового состояния этой зоны в целом доза агломерата была смещена по отношению к остальным компонентам в направлении движения конвейера. Снижение температур периферийной зоны и их стабилизация наступили после загрузки многокомпонентных смешанных порций, сформированных с головной частью из агломерата массой 18,0 – 20,0 т.

Структура многокомпонентной смешанной порции, полученная в процессе достижения устойчивой работы доменной печи со штатными параметрами, показана на рис.8

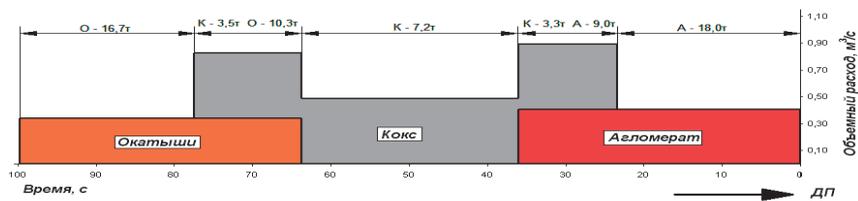


Рис.8. Структура смешанной многокомпонентной порции на конвейере, полученная в процессе достижения устойчивой работы доменной печи со штатными параметрами (масса порции – 68,0 т, агломерат – 27,0 т, окатыши – 27,0 т, кокс – 14,0 т).

Результаты расчетной оценки распределения рудных нагрузок показали, что на 60,0% площади колошника содержание кокса в слое не превышает 20,0 %, то есть, в этих зонах практически весь кокс в смеси с железорудными материалами используется не только как разрыхлитель, но

способствует также улучшению восстановимости железорудных материалов и улучшению условий образования и дренажа их расплавов.

Обобщая результаты выбора рациональных параметров многокомпонентных смешанных порций можно сделать вывод о том, что основным технологическим требованием к формированию порций этого вида является реализация такой структуры, которая при выгрузке порции на колошник обеспечивает увеличенную рудную нагрузку на периферии доменной печи (за счет выгрузки в эту зону преимущественно железорудных материалов), поддержание высокой газопроницаемости осевой зоны (путем загрузки к оси печи преимущественно кокса) и формирование смеси железорудных материалов с коксом в промежуточной зоне. Диапазоны значений параметров формирования многокомпонентной смешанной порции (рис.8), рациональность которых обоснована результатами промышленного опробования загрузки порций этого вида, могут быть обобщены в следующем виде:

- головная часть порции формируется из 50,0 – 65,0% массы дозы агломерата (или суммарной массы доз агломерата и отсева железорудных материалов) в порции;

- после головной части на оставшуюся часть дозы агломерата (35,0 – 50,0%) выгружается слой кокса, часть которого (10,0 – 15,0%) вместе с указанной частью дозы агломерата образует первую смешанную часть порции;

- за первой смешанной частью на конвейер укладывается слой кокса, масса которого составляет 70,0 – 80,0% дозы этого компонента;

- вторая смешанная часть порции, располагающаяся на конвейере после слоя кокса, образуется наложением оставшейся массы дозы кокса (10,0 – 15,0%) на часть слоя окатышей, а оставшаяся часть дозы окатышей образует хвостовую часть порции.

В процессе промышленного опробования периодичность (частота) загрузки многокомпонентных смешанных порций изменялась от 1/5 до 1/24. Минимальная частота их загрузки, которая не сопровождалась увеличением верхнего перепада давления, составляла 1/5 – 1/10 в зависимости от текущих шихтовых условий, в первую очередь, в зависимости от качества кокса и содержания некондиционных фракций в шихтовых материалах.

Предложенная структура многокомпонентной смешанной порции может быть в перспективе реализована в системах загрузки со скиповой доставкой шихты на колошник при условии соответствующей адаптации программного обеспечения АСУ систем загрузки, поскольку в настоящее время проектные решения систем управления, используемые на действующих доменных печах, не предусматривают загрузку кокса и железорудных материалов в один скип. При этом общая последовательность загрузки шихтовых материалов в бункер БЗУ сохранится, но соотношения масс компонентов в различных частях порции потребуют определенной

корректировки, учитывающей частичное перемешивание компонентов при повороте скипов в разгрузочных кривых и их выгрузке в бункер БЗУ.

В ходе промышленного опробования загрузки многокомпонентных смешанных порций получен положительный технологический эффект в виде уменьшения удельного расхода кокса на 0,2 кг/ т чугуна. Однако, следует учесть, что для формирования многокомпонентных смешанных порций использовались шихтовые материалы низкого качества, в частности, агломерат с содержанием фракции «0 – 5 мм» 35,0 – 45,0% и кокс с показателем горячей прочности $CSR = 38,0 – 43,0\%$. Кроме этого, многокомпонентные смешанные порции формировались с содержанием окатышей, увеличенным на 15,0 – 20,0% по отношению к их среднему содержанию в шихте, что при необходимости позволяет увеличить уровень их потребления в целом, а соотношение масс железорудных материалов и кокса в этих порциях было на 0,10 – 0,20 больше рабочего значения рудной нагрузки. Указанные дополнительные преимущества загрузки многокомпонентных смешанных порций в соответствующих условиях могут обеспечить больший экономический эффект, чем непосредственно сокращение удельного расхода кокса.

Заключение.

Выполнены исследования истечения многокомпонентных смешанных порций, состоящих из железорудных шихтовых материалов и кокса, из бункера БЗУ и изменения компонентного состава выгружаемого потока в процессе истечения порций.

Получены новые результаты, показывающие влияние структуры смешанных порций из железорудных материалов и кокса на изменение компонентного состава выходного потока шихты в процессе выгрузки порций этого вида из бункера БЗУ. В случае, когда в формируемой на конвейере многокомпонентной смешанной порции доза кокса располагается перед железорудными материалами и, соответственно, в бункер БЗУ первым загружается слой кокса, а сверху на него – слой железорудных материалов, истечение шихтовых материалов из бункера развивается в соответствии с классическими представлениями о нормальном виде истечения сыпучих материалов. При выгрузке порций с нижним расположением железорудного материала в бункере БЗУ в практически несмешанном виде выгружается 80,0 – 90,0% массы этого материала, затем выгружается смесь железорудных материалов и кокса, а в заключительной фазе – преимущественно кокс.

Обоснована возможность оперативного контроля компонентного состава потока при выгрузке смешанных порций, состоящих из железорудных шихтовых материалов и кокса, из бункера БЗУ по результатам анализа изменения массы материала в бункере в течение выгрузки.

Предложены и обоснованы параметры формирования новой структуры многокомпонентной смешанной порции, обеспечивающие рациональное распределение шихтовых материалов в слое, образующемся при вы-

грузке порции на поверхность засыпи. Выполнено промышленное опробование загрузки многокомпонентных смешанных порций, состоящих из железорудных шихтовых материалов и кокса, подтвердившее возможность экономии кокса за счет увеличения рудной нагрузки, и использования таких порций при необходимости увеличения содержания шихтовых материалов пониженного качества и окатышей в шихте.

1. *Влияние* смешивания железорудного сырья с коксом на газодинамические условия и технико-экономические показатели доменной плавки / В. И. Логинов, А. Л. Берин, С. М. Соломатин [и др.] // Сталь. –1977. –№5. –С. 391–394.
2. *Логинов В.И.* Опытные плавки при загрузке доменных печей смесью кокса и агломерата / В.И. Логинов, С.М. Соломатин, А.Т. Корж // *Металлург.* –1976. – №4. –С. 14–18.
3. *Загрузка* железорудных материалов в смеси с коксом / В.И. Логинов, К.А. Мусиенко, А.Л. Берин [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* –1984. –№3. –С. 10–12.
4. *Влияние* условий загрузки шихты на интенсивность доменной плавки / А.Л. Берин, А.И. Васюченко, А.М. Жак [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* –1986. –№4. –С. 28–29.
5. *Работа* доменной печи при совместной загрузке железорудных материалов и кокса в скип / В.И. Логинов, К.А. Мусиенко, Д.В. Воронков [и др.] // *Сталь.* – 1987. –№12. –С. 7–12.
6. *Доменный* процесс в исследованиях и разработках сотрудников и выпускников кафедры руднотермических процессов ДГТУ / Г.Ю. Крячко, Л.А. Сафина - Валуева, С.Ю. Андриенко [и др.] // *Теория и практика металлургии.* –2009. – №3. –С. 12–26.
7. *Калинин А.П.* Математическая модель оценки качественных характеристик потока при их циклической загрузке и выгрузке из бункера / А.П. Калинин, С.А. Загайнов, Ю.Г. Ярошенко // - *Изв. ВУЗов. Черная металлургия.* –1985. – №8. –С. 95–98.
8. *Малахов Г.М.* Выпуск руды из обрушенных блоков / Малахов Г.М. –М.: Металлургиздат, 1952. –288 с.
9. *Квапил Р.* Движение сыпучих материалов в бункерах / Квапил Р. –М.: Госгортехиздат, 1961. –81 с.
10. *Панич Ю.В.* Математическая модель загрузки и истечения сыпучих материалов из накопительных емкостей с целью усреднения руд / Ю.В. Панич, М.З. Пайкин // *Обогащение руд.* –1977. –№3. –С. 6–10.
11. *Куликов В.В.* Выпуск руды / Куликов В.В. –М.: Недра, 1982. –262 с.
12. *Фиалко Г.М.* Параметры процесса разгрузки бункеров обогатительных фабрик / Г.М. Фиалко // *Изв. ВУЗов. Горный журнал.* –1983. –№6. –С. 122–124.
13. *Тюзюн У.* Экспериментальное доказательство кинематического моделирования течений гранулированных сред в отсутствие сопротивления воздуха / У. Тюзюн, Р. Неддерман, перевод Ю.В. Голованова // *Механика гранулированных сред: Теория быстрых движений: Сб. статей. Под редакцией А.Ю. Ишлинского, Г.Г. Черного.* –М.: Мир. –1985. –С. 193–209.

14. *Шепетовский Э.А.* Освоение технологии плавки при загрузке лотковым распределителем части железорудных материалов в смеси с коксом / Э.А. Шепетовский, А.М. Гавриков, Ю.В. Савастьянов // *Сталь*. –1989. –№11. –С. 13–17.
15. *Большаков В.И.* Современные технологические приемы повышения стабильности и эффективности доменной плавки, применяемые на доменной печи №5 ОАО «Северсталь» / В.И. Большаков, А.С. Нестеров, Иванча Н.Г. [и др.] // *Тр. VI Международного конгресса по агло – коксо – доменному производству: междунар. науч.-техн. конф., май 2012 г.*: – Украина, Ялта. –С. 72 – 91.

*Статья рекомендована к печати
канд.техн.наук Н.М.Можаренко*

В.І.Большаков , М.Г.Іванча , І.Г.Муравйова , В.І.Вішняков

Дослідження і промислове випробування завантаження багатоконпонентних змішаних порцій, що складаються з залізорудних матеріалів і коксу

Метою роботи є вибір раціональних параметрів формування багатоконпонентних змішаних порцій шихти для забезпечення стабільної роботи доменної печі. Для оцінки компонентного складу вивантажуваного потоку було визначено середні величини витрат кожного виду шихтового матеріалу при вивантаженні його з бесконусного завантажувального пристрою (БЗП) . Показано особливості вивантаження змішаних порцій і зміни компонентного складу вивантажуваного потоку з бункера БЗП в системах завантаження доменних печей з конвеєрною доставкою шихти на колошнику. Запропоновано параметри формування багатоконпонентних змішаних порцій , що забезпечують раціональний розподіл компонентів в шарі і стійкий позитивний ефект завантаження порцій цього виду. Для успішного стабільного застосування технологічних прийомів змішування залізорудної сировини і коксу необхідним є вибір раціональної структури циклу завантаження , раціональний розподіл рудних навантажень і газового потоку.