

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

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАГРУЗКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕШАННЫХ ПОРЦИЙ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ**

Обоснована целесообразность загрузки основных и нетрадиционных компонентов шихты, отсеваемых фракций шихтовых материалов и добавок различного назначения в составе смешанных порций. Показано, что для дальнейшего совершенствования технологии загрузки смешанных порций шихтовых материалов в доменную печь необходима разработка методик расчётного определения рациональных параметров формирования порций, обеспечивающих заданное распределение компонентов шихты на колошнике.

**доменная печь, шихтовые материалы, смешанные порции, нетрадиционные компоненты, колошник, режимы загрузки, методика**

**Изложение основных материалов.** Многокомпонентность доменной шихты предопределена основополагающими принципами доменной плавки. Любая шихта, включающая более двух компонентов (в простейшем случае – железосодержащий и топливный материалы), может рассматриваться как многокомпонентная. За исключением двух основных составляющих шихты (железородных материалов и топлива – восстановителя) введение новых компонентов в шихту обусловлено стремлением к повышению технико–экономических показателей плавки, улучшению качества или получению заданных свойств чугуна.

Современная технология доменной плавки значительно расширила компонентный состав шихты. Наряду с традиционно используемыми агломератом, окатышами и коксом (которые далее будут именоваться основными компонентами шихты) в состав шихты введен ряд добавок различного назначения:

- топливо - восстановительные (кокс–«орех», кокс–«орешек», «кокстик», антрацит, шунгит, топливосодержащие брикеты и др.);
- железосодержащие (отсеянные фракции железородных материалов, железосодержащие брикеты, скрап, окалина конверторного производства);
- флюсующие (известняк, руда, конвертерный и мартеновский шлаки);
- гарнисажеобразующие (шлаки титано–ванадиевого производства, ильменитовые брикеты);
- промывочные (кусковая руда, конвертерный, мартеновский и сварочный шлаки, марганцевая руда, марганцевые брикеты, шлаки силико–марганцевого производства, шлак ферроникелевого производства, плавиковый шпат).

Рациональное распределение железорудных компонентов шихты с требуемым соотношением компонентов в каждой из зон колошника обеспечивает эффективное использование газового потока, образование стабильного гарнисажа в шахте доменной печи, соответствующие экономичному ходу плавки шлаковый режим и расположение зоны вязко – пластичного состояния. Основными железорудными шихтовыми материалами в настоящее время являются агломерат и окатыши. Различия свойств этих двух железосодержащих шихтовых материалов можно сформулировать в следующем виде:

- основным рудным минералом окатышей является гематит ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), агломерата – магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ );
- стабильность химического состава окатышей по содержанию Fe и  $\text{SiO}_2$ , в соответствии с техническими условиями производства окускованного сырья, превышает аналогичные показатели агломерата;
- макроструктура окатышей сравнительно однородна, с небольшим количеством трещин, в отличие от агломерата, характеризующегося значительным разнообразием минералогического состава в объеме одного куска;
- содержание шлаковой связки в окатышах в 2–3 раза меньше, чем в агломерате;
- окатыши, как правило, имеют более высокое содержание железа;
- величина общей и открытой пористости окатышей на  $6,0 \div 14,0\%$  меньше, чем у агломерата;
- насыпная масса окатышей на  $10,0 \div 20,0\%$  превышает насыпную массу агломерата;
- показатель истираемости окатышей (выход фракции менее 0,5 мм) больше соответствующего показателя агломерата на  $2,0 \div 2,5\%$ , а твердость материала агломерата  $1040 \text{ мПа/м}^2$  значительно превышает твердость материала окатышей  $590 \text{ мПа/м}^2$ .

Следует также отметить, что при восстановительно–тепловой обработке материалов соотношение возможной степени разрушения и условий спекания материалов определяет газопроницаемость их слоя на различных стадиях восстановления. Основным фактором, определяющим потерю газопроницаемости слоя агломерата, является его разрушаемость, а слоя окатышей – спекаемость и переход в вязкопластичное состояние. Температуры образования жидких фаз и фильтрации окатышей через коксовую насадку на  $30\text{--}80^\circ\text{C}$  меньше по сравнению с аналогичными характеристиками агломерата. Состав первичного шлака из окатышей характеризуется высоким содержанием закиси железа, восстанавливающейся только прямым путем с перерасходом кокса. Значительное содержание FeO в первичных шлаках окатышей накладывает определенные ограничения на их содержание в пристеночной зоне доменной печи, из-за разрушающего воздействия на футеровку шахты и воздушные фурмы [1].

Опыт ввода окатышей в доменную шихту показал преимущества смешанной загрузки агломерата и окатышей, а также негативные последствия загрузки этих компонентов в виде отдельных порций (скипов, подач), обуславливавшей образование обособленных массивов шихты, где содержался преимущественно один из указанных материалов. Различия температур размягчения и плавления, основности и восстановимости, а также ряда других свойств агломерата и окатышей при образовании обособленных массивов этих компонентов могут приводить к разрывам полей плавления и фазовых превращений. Как указывалось выше, пониженная основность окатышей в ходе первичного шлакообразования в ряде случаев приводит к высокому содержанию окиси железа ( $\text{FeO}$ ) в расплавах и обуславливает их агрессивное воздействие на кладку шахты, заплечики и воздушные фурмы. Результаты многочисленных исследований показывают, что ввод окатышей в шихту наиболее эффективен в смеси с агломератом [1–10]. То есть, применяемые технологические приемы формирования порций и программы их распределения должны обеспечивать образование смеси агломерата и окатышей при выгрузке на поверхность засыпи. Помимо создания благоприятных условий гарнисажеобразования, формирующаяся смесь агломерата и окатышей обладает более высокой газопроницаемостью и восстановимостью по сравнению с этими же характеристиками каждого из компонентов в отдельности [2,3].

Несмотря на то, что необходимость смешивания агломерата и окатышей перед загрузкой в доменную печь, как и негативное влияние их отдельной загрузки, доказаны результатами многочисленных исследований [1–10], расчетные взаимосвязи параметров режима загрузки и распределения компонентов по радиусу колошника не были получены. Выбор рациональных параметров режима загрузки осуществлялся в основном на базе практического опыта и качественных критериев. Вместе с тем, расчетное определение параметров формирования железорудных порций, обеспечивающих образование смесей с заданным составом в определенных зонах доменной печи, является необходимой частью технологии загрузки смешанных порций шихтовых материалов.

Оснащение современных доменных печей бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ) создает широкие возможности распределения компонентов шихты по радиусу колошника, регулирования газопроницаемости различных зон сечения доменной печи и формирования требуемого распределения газового потока. Вместе с тем, эффективное использование ряда добавок в шихте доменных печей достигается в том случае, если при их загрузке на колошнике доменной печи образуется смешанный слой шихтовых материалов, включающий основные компоненты шихты и добавки требуемого назначения. Например, как показали лабораторные исследования, выполненные в ИЧМ, формирование смеси из железорудных компонентов (агломерата и окатышей) и флюсующих добавок (руды, мартеновского шлака и конвертерного шлака) при правильном выборе

соотношений компонентов в смеси позволяет повысить температуры потери газопроницаемости слоя и начала фильтрации до уровня соответствующих величин, характерных для слоя, состоящего только из агломерата. Следует также отметить, что расплавы, образующиеся из отдельных компонентов – окатышей, мартеновского скрапа, конвертерного шлака – достаточно агрессивны по отношению к футеровочным материалам марки ШПД (ШПД – 43), что обусловлено высоким суммарным содержанием FeO и MnO – более 20%.

Разработан ряд способов создания гарнисажа, обеспечивающего образование защитного слоя на внутренней поверхности доменной печи – шахты, горна, лещади. Разработанные способы предполагают периодический ввод титансодержащих материалов в шихту доменных печей. Гарнисажеобразующие материалы, содержащие титан в виде оксидов, либо карбонитридов добавляются в агломерат, окатыши или используются в шихте доменных печей в виде отдельных компонентов. Это могут быть шлаки, получаемые при проплавке титаномагнетитовых железорудных материалов, либо специально подготовленные окускованные ильменитовые концентраты.

В качестве последних разработок в этом направлении можно привести следующие:

- способ создания защитного гарнисажа в шахте доменной печи, включающий циклическую загрузку шихтовых материалов, введение в шихту гарнисажеобразующей смеси, состоящей из 1,0÷15,0% руды, 40,0÷94,0% агломерата и 5,0÷45,0% окатышей, обеспечивая получение первичного расплава с содержанием закиси железа на уровне 16,0–30,0%. При этом, загрузку гарнисажеобразующей смеси заканчивают через 18–72 часа после достижения допустимой тепловой нагрузки, а на время подачи смеси теоретическую температуру горения в фурменном очаге доменной печи уменьшают на 30÷80%. Таким образом, для приобретения расплавом необходимых для гарнисажеобразования свойств, в пристеночной зоне доменной печи создается соответствующий тепловой режим [11]:

- способ создания защитного гарнисажа на футеровке горна и лещади доменной печи, который включает загрузку печи шихтой, содержащей железорудные материалы, в том числе, агломерат, железную руду, кокс и титансодержащую добавку, периодически загружаемую в периферийную зону печи в смеси с агломератом и железной рудой в течение определенного интервала времени и с созданием определенного теплового режима путем повышения содержания кремния в чугуна на 0,2–0,5% [12];

- способ создания защитного гарнисажа в шахте доменной печи, включающий загрузку шихтовых материалов, ввод гарнисажеобразующей смеси в шихту, состоящей из 5,0÷15,0% руды и 95,0÷85,0% агломерата, что обеспечивает получение первичного шлакового расплава в количестве 20,0–25,0% с содержанием закиси железа не более 15,0%. Способ позво-

ляет увеличить межремонтный период футеровки шахты доменной печи и продлить ее кампанию [13].

Как следует из приведенных примеров, создание благоприятных для гарнисажеобразования условий требует размещения в пристеночной зоне доменной печи (вблизи стенок шахты горна или днища лещади) смеси определенного состава, которая в соответствующих условиях теплового режима пристеночной зоны печи в процессе плавления формирует расплавы, способные к образованию устойчивого, плавно обновляемого гарнисажа. Однако, следует отметить, что перечисленные выше способы содержат общие требования к составу смесей в пристеночной зоне, но не показывают практических путей их реализации, а именно, не включают конкретные параметры режима загрузки, обеспечивающего формирование смесей требуемого состава в указанной зоне (а не в шихте в целом). В связи с этим, важной задачей является определение взаимосвязей для расчетного определения параметров режима загрузки, обеспечивающих формирование требуемого компонентного состава шихты в пристеночной зоне доменной печи.

Способы, реализующие другие технологические задачи, например, промывку горна доменной печи, также предполагают создание смеси железорудных шихтовых материалов с добавками или создание смеси добавок и загрузку их в определенную зону колошника. Для промывки горна по способу [14] в качестве промывочного материала используется смесь железной руды и шлака ферроникелевого производства в соотношении (3–4):1, смесь железной руды и шлака сталеплавильного производства в соотношении (2,0–2,5):1, смесь железорудных окатышей и шлака ферроникелевого или сталеплавильного производства в соотношении 1:(0,8–1,2). Способ промывки горна доменной печи [15] предусматривает, наряду с другими операциями, загрузку смеси железной руды, конвертерного шлака и скрапа сталеплавильного производства в кольцевую зону колошника доменной печи, расположенную на расстоянии не менее 0,12–0,25 радиуса колошника от стенок и оси печи. Указанное соотношение компонентов обеспечивает образование достаточного количества высокоокисного расплава с необходимой текучестью (способностью фильтрации через коковую насадку) и «моющей» способностью.

Промывочные свойства расплавов, образующихся из шихтовых материалов, и требуемый технологический эффект в соответствии с приведенными способами проявляются исключительно при образовании расплавов из смесей этих компонентов. В определенных условиях ввод в смесь отдельных компонентов изменяет не только физические характеристики смеси, но и количество формирующейся моющей фазы, что является не менее важной составляющей процесса промывки, чем моющая способность образующегося расплава. Например, ввод в смесь агломерата и окатышей кусковой руды или шлаков сталеплавильного производства увеличивает количество первичных высокоокисных расплавов в 1,5 – 2,0 раза.

В связи с усиливающимся дефицитом качественного железорудного сырья, коксующихся углей и, соответственно, кокса в доменном производстве широкое распространение получили работы по вводу в состав шихты различных нетрадиционных железосодержащих материалов (в том числе отсеваемых фракций агломерата и окатышей), топливных и углеродсодержащих добавок.

Как указывалось выше, в качестве нетрадиционных железосодержащих материалов могут использоваться отсеянные фракции железорудных материалов, железосодержащие брикеты, скрап, окалина прокатного производства. В СНГ следует отметить положительный опыт загрузки скрапа и окалины прокатного производства на ДП №9 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», а также промышленное использование отсеянных фракций железорудных материалов для загрузки в ДП №6 ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат (НТМК)». На ДП №6 ОАО «НТМК» весь отсеянный в процессе грохочения железорудных материалов некондиционный продукт (6,0–8,0% от общего количества потребляемого железорудного сырья) загружается в виде верхнего слоя первого скипа каждой второй подачи цикла загрузки, что, по мнению технологов цеха, предполагает последующую выгрузку этого материала в периферийную зону доменной печи.

Мелкофракционные материалы могут использоваться для регулирования газораспределения при условии их рационального распределения по сечению доменной печи. Как показано в опубликованных в работе [16] результатах исследований, на ДП №3 Западно-Сибирского металлургического комбината регулирование распределения газового потока осуществлялось изменением не рудной нагрузки, а гранулометрического состава сырья, загружаемого в различные зоны колошника. Например, осуществлялась направленная загрузка мелких фракций железорудных материалов в периферийную зону печи. Благодаря этому сократилась интенсивность периферийного газового потока и уменьшилась его температура. В результате повысилась степень использования тепловой и химической энергии газа, стойкость огнеупорной футеровки, значительно уменьшились тепловые потери через стенку печи.

Зарубежный опыт использования мелкого агломерата в доменных печах изложен в работе [17]. На ДП №3 в г. Фукуяма фирмы «Ниппон кокан» при количестве мелкокускового агломерата 10% и более удалось обеспечить стабильный ход печи с высокой удельной производительностью на уровне 2,2 т/м<sup>3</sup>/сут. В применявшемся цикле загрузки из пяти подач опробовали два способа ввода мелкокускового агломерата: загрузку этого материала в составе третьей подачи и загрузку этого материала в составе двух подач – первой и третьей. За счет оптимизированного распределения загружаемой шихты смогли улучшить газопроницаемость, и это сделало возможным использование мелкокускового агломерата в значительном количестве любым из двух способов. В частности, при загрузке

такого агломерата в составе двух подач мелкокусковый агломерат загружался в количестве 12% от общей массы железорудных материалов. При этом удалось ограничить зону локального ухудшения газопроницаемости, что создало возможность постоянного использования мелкого агломерата за счет улучшения показателя прямого восстановления.

Компания «ArcelorMittal Eisenhutenstradt» (АМЕН) в Германии также использует мелкий агломерат (около 190 кг/т чугуна) [18].

Мелкие фракции агломерата (железорудных материалов) в основном используются для регулирования газопроницаемости периферийной зоны доменной печи [19].

В качестве добавок, применяющихся для замены кокса и, соответственно, уменьшения его расхода на выплавку чугуна могут использоваться различные продукты отсева кокса, брикетированный торф, антрацит, шунгит и другие. В качестве примера использования такого материала можно привести способ ведения доменной плавки [20], предусматривающий включение в состав шихты твердой углеродсодержащей добавки, в качестве которой используют подрешетную фракцию одностадийного грохочения, не ограничивая нижний предел крупности. Загрузку этой добавки осуществляют в каждую вторую–десятую подачи совместно с железорудными материалами в промежуточную зону поверхности засыпи на колошнике в количестве 3,0–5,0% от суммарного содержания добавки и скипового кокса в подаче, что обеспечивает улучшение процессов восстановления в печи и экономию кокса.

Эффективность замещения кокса различными топливными и углеродсодержащими добавками количественно оценивается, так называемым коэффициентом замены кокса, значения которого могут изменяться в достаточно широких пределах – 0,4–1,0. При этом конкретное значение этого коэффициента определяется не только теплотворной способностью и содержанием восстановителя в используемом заменителе, но и свойствами окружающей заменитель среды и условиями взаимодействия с ней. Поэтому, как правило, для загрузки топливно–восстановительных добавок выбирается определенный режим загрузки, обеспечивающий образование в доменной печи смеси с другими шихтовыми материалами в необходимых пропорциях, способствующих наиболее эффективному протеканию реакций горения и восстановления, как следует из способа ведения доменной плавки, приведенного выше в качестве примера.

По данным исследований, выполненных в ИЧМ, при использовании в доменной плавке на печах большого объема качественных железорудных материалов и кокса, а также рациональном их распределении по сечению доменной печи, принципиально возможна эффективная замена до 7,0% кокса топливными добавками в смеси с частично офлюсованным железорудным сырьем. Коэффициент замены кокса топливными добавками на печах большого объема можно ожидать на уровне 0,85–0,90.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование многокомпонентной шихты, включающей, в том числе, использование шихтовых материалов пониженного качества, ввод в состав шихты некондиционных (отсеваемых) фракций шихтовых материалов, а также применение различных топливо–восстановительных, гарнисажеобразующих и промывочных добавок являются характерными особенностями загрузки доменных печей в современных условиях.

Анализ результатов исследований, как собственных, так и выполненных другими исследователями показал, что загрузка многокомпонентных смешанных порций в доменную печь оказывает значительное влияние на газодинамику плавки.

**Методика и результаты исследования.** В работе [21] показано, что для сохранения рациональных параметров газодинамики и гидродинамики доменной плавки при условии применения углеродсодержащих добавок, заменяющих кокс в значительных объемах, а также при использовании утилизационных добавок к базовым шихтовым материалам используют специальные режимы загрузки. Специальные режимы загрузки допускают утилизацию в доменной печи повышенного количества мелкофракционных материалов, например, фракций кокса «10–25 мм» и «10–35 мм», предварительно отделенных от крупных фракций в количестве до 10,0–16,0% текущего удельного расхода кокса. Без каких–либо отрицательных последствий для газодинамики процесса возможна загрузка мелкого агломерата фракций «3–8 мм» и «4–8 мм» в количестве до 10–20% удельного расхода железорудных материалов.

Сырые железные руды могут утилизироваться в доменной печи в количестве до 20% удельного расхода железорудных материалов и успешно использоваться для получения «промывочных» эффектов в коксовой насадке доменной печи.

Особый интерес представляют задачи формирования и распределения многокомпонентных смешанных порций шихтовых материалов, состоящих из железорудных материалов и кокса или его фракций, отсеваемых в процессе грохочения. Технологические приемы и способы загрузки доменных печей, предусматривающие загрузку и распределение многокомпонентных смешанных порций, включающих железорудные материалы и кокс различных фракций, как показывают результаты многочисленных исследований, являются одним из перспективных направлений, обеспечивающих уменьшение удельного расхода кокса.

С целью определения возможности и целесообразности применения мелкофракционного кокса в печах ОАО «Северсталь» исследовали его влияние на газодинамику и тепломассообмен в различных радиальных зонах при опускании столба шихты [22]. Исследования выполнялись с использованием программного диагностического комплекса. Результаты исследований позволили установить, что образующаяся в результате интенсивной газификации кокса – коксовая мелочь, поступающая в фурмен-



ные очаги, расходуется в процессе прямого восстановления, сгорает или концентрируется в ограниченном пространстве без накопления в коксовой насадке и ухудшения ее фильтрующей способности. Таким образом, было установлено, что наиболее рациональный вариант распределения мелких фракций кокса реализуется в результате их концентрированной загрузки в периферийную кольцевую зону, расположенную над фурменными очагами. Попадающий в эту зону мелкофракционный кокс (или каменный уголь) способствует уменьшению количества используемого кондиционного кокса за счет расходования значительной части  $\text{CO}_2$  на газификацию мелкофракционного топлива, что объясняется большей его удельной поверхностью и реакционной способностью. На основе этих выводов был разработан способ загрузки мелкофракционного кокса и другого нетрадиционного для доменной плавки твердого топлива, обеспечивший эффективную утилизацию скопившихся на ОАО «Северсталь» запасов кокса фракции «25 мм» без нарушения нормальной работы печи [23]. Расход «коксового орешка» (или «кокса – орешка») при использовании указанного способа составлял 4,0–8,0% от расхода кокса. При загрузке в печь «коксового орешка», длительно хранившегося в открытом штабеле, коэффициент замены кокса составил 0,715 кг/кг.

На доменной печи ОАО «ММК» использование в шихте мелких фракций кокса сопровождалось некоторым ухудшением состояния горна доменной печи и ряда показателей плавки, однако указанные ухудшения не были критичными и по итогам проведенных плавок использование кокса фракции «25–40 мм» обеспечило замену «скипового» кокса с коэффициентом 0,83 кг/кг [24]. Отмечено также, что улучшению показателей плавки при использовании мелких фракций кокса способствует загрузка этого компонента в составе железорудной части шихты и максимально возможное удаление фракции «0–10 мм».

В работе [25] приведены результаты расчетной оценки влияния размера применяемой фракции мелкого кокса на газопроницаемость слоя шихты. Показано, что перепад давления в слое железорудных материалов, смешанных с мелким коксом, существенно снижается с увеличением нижнего предела крупности применяемой фракции кокса с 5,0 мм до 10,0 мм. В процессе плавки на доменных печах ОАО «Константиновский металлургический завод», ОАО «Енакиевский металлургический завод» и ОАО «Макеевский металлургический комбинат» количество загружаемой коксовой мелочи изменялось от 6,0 кг/т чугуна до 140,0 кг/т чугуна (показатель 120,0–140,0 кг/т чугуна получен при выплавке литейного чугуна). Коэффициент замены кокса его мелкими фракциями, в соответствии с приведенными данными, находился в диапазоне 0,7–1,2 кг/кг. На указанных объектах загрузка мелких фракций кокса также осуществлялась совместно с железорудными материалами. Положительный эффект использования мелкого кокса объяснялся значительным увеличением удельной поверхности кокса, контактирующей с железорудной частью шихты.

Практика использования мелких фракций кокса в составе шихты в Украине непрерывно совершенствовалась в направлении выбора оптимального размера фракции мелкого кокса и способа его загрузки. В работе [26] приведены результаты оценки эффективности освоения технологии доменной плавки с введением в состав железорудной шихты мелкого кокса, оптимальные размеры кусков которого, по мнению авторов, составляют от 10–15 мм до 30–40 мм. Показано, что введение в доменную печь «коксового орешка» в смеси с железорудной шихтой обеспечивает улучшение газопроницаемости шихты, выражающееся в уменьшении перепада давления на 10,0% и более. Загрузка мелкого кокса фракции «10–40 мм» в смеси с железорудными материалами в количестве 6,6% способствовала уменьшению расхода кокса на 19,9 кг/т чугуна и увеличению производства на 1,7–3,0%. Аналитические исследования изменений газопроницаемости, возникающих при введении «коксового орешка» в железорудный слой, показали, что если количество «коксового орешка» находится в интервале 10,0–30,0% ожидаемое снижение перепада давления может составлять 7,0–13,5% [27]. Зависимость для определения рационального количества мелких фракций кокса в смеси с железорудными материалами различной основности предложена авторами изобретения [28], где количество кокса фракции «10–25 мм», смешиваемого с железорудными компонентами, прямо пропорционально разности температур начала фильтрации железорудных компонентов.

На зарубежных доменных печах также нашла широкое применение технология доменной плавки с введением в шихту в качестве топлива – восстановителя «кокса–орешка» и «кокса–ореха» [29,30]. Загрузка «кокса – орешка» на некоторых объектах сочетается с вдуванием пылеугольного топлива, что позволяет уменьшить удельный расход кокса до уровня 250–300 кг и менее [31].

Ввод мелких фракций кокса в шихту активно осваивался технологами и исследователями Японии. Опыт использования мелкокускового кокса на доменной печи №2 в г. Какогава (фирма «Кобэ стил», Япония), работавшей с загрузкой мелкого кокса и вдуванием пылеугольного топлива с удельным расходом 140 кг/т чугуна, изложен в работе [32]. Практика ведения доменной плавки на предприятии «Кобэ стил» показала, что увеличение количества загружаемого мелкого кокса сопровождается усилением периферийного газового потока. По результатам отбора проб шихты по радиусу колошника изменили распределение массы мелкокускового кокса между подачами, увеличив его количество в составе второй подачи цикла до 100%. При увеличении удельного расхода мелкого кокса с 30 до 55 кг/т чугуна ход печи оставался устойчивым без значительных колебаний давления дутья и усиления периферийного газового потока. Использование в шихте мелких фракций кокса позволило добиться увеличения производительности доменной печи №2 металлургического завода в г. Кимицу (Япония) [33]. Разработан ряд способов, обеспечивающих практическую

реализацию замены кондиционного («скипового») кокса мелкими фракциями, предусматривающих как отдельную пофракционную загрузку мелкого и крупного кокса в разных подачах [34,35], так и загрузку мелкой фракции кокса в составе железорудной части шихты [36].

На доменных печах фирмы «POSCO» (Ю.Корея) применяют отдельную загрузку мелких и крупных фракций агломерата (соответственно, в пристеночную и приосевую зоны колошника) и загружают смесь «кокса – орешка» с мелкой железной рудой [37]. Наряду с поиском практических способов эффективного использования мелких фракций кокса в составе шихты исследовались металлургические свойства «кокового орешка» и его влияние на восстановимость железорудных материалов в слое. В процессе лабораторных исследований были подтверждены предположения о высокой реакционной способности мелкого кокса [38] и установлено, что в смеси с мелким коксом показатели восстановления агломерата и окатышей улучшаются – во всем исследованном диапазоне температур (900 – 1250<sup>0</sup>С) увеличиваются скорость и степень восстановления [39]. Ввод мелкого кокса в железорудный слой обеспечивает повышение его газопроницаемости по сравнению со слоем, сформированным только из железорудных материалов.

В Западной Европе использование мелкого кокса в составе шихты активизировалось с внедрением вдувания пылеугольного топлива и в настоящее время применяется на большинстве доменных печей. Расход этого компонента изменяется в широких пределах и составляет от 25 до 120 кг/т чугуна и более [20].

Отдельным важным направлением 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 плавков с загрузкой печей частично смешанной шихтой, выполнен под руководством проф. В.И.Логинова [40–45], 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. Традиционно железорудные шихтовые материалы и кокс, отличающиеся по крупности, располагаются в доменной печи в виде отдельных слоев. Однако результаты выполненных исследований и промышленные испытания смешивания железорудных шихтовых материалов и кокса перед загрузкой в доменную печь, показали наличие значительных резервов повышения эффективности использования восстановительного потенциала газового потока, уменьшения удельного расхода кокса и повышения производительности доменных печей при использовании режимов загрузки, предусматривающих смешивание этих компонентов [40]. Разработка режимов загрузки смесей железорудных материалов

и кокса базировалась на установленном эффекте, заключавшемся в том, что смешивание железорудных компонентов и кокса и связанное с этим уменьшение порозности слоя шихтовых материалов не всегда сопровождается ухудшением его газопроницаемости. При определенном соотношении крупности смешиваемых компонентов газопроницаемость смешанного слоя может быть увеличена по отношению к соответствующему показателю при раздельной загрузке компонентов. Полученные результаты свидетельствовали, что соотношение потерь напора газового потока в столбе шихты, сформированном раздельной загрузкой кокса и агломерата, и столбе, сформированном в виде смеси этих компонентов, в каждом отдельном случае, определяется конкретным соотношением показателей их гранулометрического состава [40]. В движущемся слое (столбе материалов) гидравлическое сопротивление смеси железорудных материалов и кокса существенно меньше, чем при послойной загрузке этих материалов [41]. 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 [42,43]. Практически во всех случаях применения режима смешивания железорудных материалов и кокса на доменных печах объемом 675–2000 м<sup>3</sup> металлургического завода им. Петровского» и металлургических комбинатов им. Дзержинского и «Криворожсталь» достигнуто значительное уменьшение удельного расхода кокса (2,0% и более) без существенного снижения производительности доменных печей. При смешивании топливных компонентов с железорудными компонентами формируется слой шихты с более плотной укладкой частиц по сравнению с послойной загрузкой, что увеличивает насыпную массу смеси на 7,0–25,0% и обеспечивает увеличение количества шихтовых материалов в рабочем объеме доменной печи [44]. Кроме этого, слои, представляющие собой смесь железорудных материалов и кокса, способствуют уменьшению неравномерности распределения газовой нагрузки и увеличению удельного количества газа на единицу рудного материала, что создает условия для увеличения рудной нагрузки [44].

Таким образом, экономия кокса при загрузке смешанных порций, состоящих из железорудных материалов и кокса, достигается за счет повышения степени использования восстановительного и теплового потенциала печного газа, более однородной структуры столба шихты и увеличения массы обрабатываемого газом железорудного материала [45].

Следует особо подчеркнуть, что положительный эффект смешивания железорудных материалов с коксом проявляется, в том числе, при использовании материалов низкого качества, что весьма актуально для современных условий ведения доменной плавки.

Загрузка многокомпонентных смешанных порций, состоящих из железорудных материалов и кокса, была успешно освоена на ДП №6 ОАО «НЛМК» объемом 3200 м<sup>3</sup>, оснащенной современной системой загрузки – с БЗУ и конвейерной доставкой шихты на колошник [46–48]. Формирование смешанных порций, включающих железорудные компоненты и кокс, осуществлялось путем послыонного наложения доз этих компонентов на доменном конвейере. Следует отметить, что выбор режима загрузки многокомпонентных смешанных порций для ДП №6 основывался на результатах визуальных наблюдений технологов и общих, большей частью интуитивных, представлениях о механизме движения шихтовых материалов по тракту системы загрузки, распределении компонентов в объеме бункера БЗУ и закономерностях их выгрузки из бункера. При этом предполагалось, что указанный способ формирования порций обеспечивает выгрузку относительно равномерной по составу смеси в течение всего времени истечения порции. Однако результаты исследований, выполненных ИЧМ, показали, что при выгрузке порций, сформированных указанным выше способом, вначале из бункера БЗУ выгружается смесь с преимущественным содержанием железорудных материалов, затем содержание железорудных компонентов и кокса в выгружающемся потоке выравнивается и в заключительной фазе выгружается смесь с преимущественным содержанием кокса. Косвенно эта особенность выгрузки смешанных порций, включающих железорудные материалы и кокс, подтверждена результатами лабораторных экспериментов, приведенных в работе [47], где сделан обоснованный вывод о том, что замена «скипового» кокса «коксовым орешком» в этих порциях способствует стабилизации состава выгружаемого потока шихтовых материалов в течение времени разгрузки бункера БЗУ. Указанную особенность изменения содержания шихтовых материалов в потоке выгружаемой многокомпонентной смешанной порции необходимо учитывать при разработке программ загрузки порций этого вида.

Свойства и поведение смесей железорудных материалов и кокса в доменных печах активно исследовались зарубежными специалистами. На заводе «Тиба» фирмы «Кавасаки сэйтэцу к. к.» установили, что газопроницаемость смесей агломерата и кокса, а также кокса и окатышей в сухой зоне не отличается от газопроницаемости этих материалов, загруженных слоями. В зоне размягчения газопроницаемость смесей железорудных материалов и кокса выше, чем при послыонной загрузке [49]. Существенное улучшение показателей плавки (уменьшение удельного расхода кокса на 3,0 кг/т чугуна и повышение степени использования СО с 48,8% до 49,2%) в результате загрузки железорудных материалов, смешанных с коксом, достигнуто авторами работы [50].

На основании полученных исследователями и технологами результатов был разработан ряд устройств для обеспечения смешивания кокса с железорудными компонентами при движении этих материалов по тракту системы загрузки и способов, реализующих преимущества этого техноло-

гического приема. В основном, предлагаемые для реализации устройства [51–54], представляют собой затворы и модернизированные (разделенные на секции) бункерные весы достаточно сложной конструкции, предназначенные для обеспечения последовательной, синхронной, комбинированной последовательной и синхронной (со смещением во времени), а также чередующейся порционной загрузки железорудных материалов и кокса в скип. Следует отметить, что излишнее усложнение конструкций бункерных весов для решения задачи смешивания указанных материалов в скипе нецелесообразно. Более эффективным путем является оснащение бункерных весов железорудных материалов и кокса быстродействующими затворами, обеспечивающими изменение величины расхода шихтового материала в процессе выгрузки в диапазоне от 0 до 100%, а также модернизация системы управления этими затворами для реализации алгоритмов изменения величины расхода в соответствии заданными закономерностями.

Дальнейшее освоение технологии загрузки многокомпонентных смешанных порций обусловило разработку ряда способов загрузки доменных печей, включающих смешивание железорудных материалов и кокса. Значительная часть известных способов направлена на расширение возможностей формирования смешанных порций и повышение качества смешивания компонентов перед загрузкой в доменную печь [55,56]. Некоторые из способов предусматривают загрузку смеси из железорудных материалов и изменение соотношений компонентов в ней в зависимости от показателей распределения газового потока по радиусу или окружности колошника [57,58]. Ряд авторов предлагаемых к реализации способов обоснованно считает, что наиболее эффективное использование преимуществ смешивания железорудных материалов и кокса достигается при сочетании в цикле загрузки традиционных подач (с отдельной загрузкой топливных и рудных компонентов) и многокомпонентных смешанных порций [59 – 61].

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 отдельной загружаемых порций железорудных материалов и порций кокса, и некоторого количества порций, представляющих собой

смесь железорудных и топливо–восстановительных компонентов. При этом, раздельно 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.

### **Заключение.**

1. Шихтовые условия современной доменной плавки предполагают многокомпонентность шихты. Наряду с традиционно используемыми компонентами агломератом, окатышами и коксом в состав шихты введен ряд добавок различного назначения: топливо–восстановительные, железосодержащие, флюсующие, гарнисажеобразующие и промывочные.

2. Необходимость смешивания агломерата и окатышей перед загрузкой в доменную печь, как и негативное влияние их раздельной загрузки, доказаны результатами многочисленных исследований. Несмотря на это, расчетные взаимосвязи параметров режима загрузки и распределения компонентов по радиусу колошника не были получены, а выбор рациональных параметров режима загрузки осуществлялся в основном на базе практического опыта и качественных критериев. Решение задачи расчетного определения параметров формирования железорудных порций, обеспечивающих образование смесей с заданным составом в определенных зонах доменной печи, является необходимой частью разработки технологии загрузки смешанных порций шихтовых материалов.

3. Эффективное использование добавок различного назначения в шихте доменных печей достигается в том случае, если при их загрузке на колошнике доменной печи образуется смешанный слой шихтовых материалов, включающий основные компоненты шихты и добавки требуемого назначения.

4. Ввод отсеваемых фракций шихтовых материалов в доменную шихту и загрузка их в составе многокомпонентных смешанных порций является одним из наиболее эффективных путей уменьшения себестоимости чугуна, при условии обоснованного выбора рациональных параметров формирования смешанных порций шихты и режима их загрузки.

5. Результаты выполненных исследований и промышленные испытания смешивания железорудных шихтовых материалов и кокса перед загрузкой в доменную печь показали наличие значительных резервов уменьшения удельного расхода кокса и повышения производительности доменных печей при использовании режимов загрузки, предусматривающих смешивание этих компонентов. Наиболее полное использование этих резервов возможно при разработке режимов загрузки многокомпонентных смешанных порций с учетом взаимосвязей параметров формирования порций и характера их выгрузки из бункера БЗУ.

1. *Жило Н.Л., Першина Р.Ф., Белова А.А.* О причинах ускоренного износа кладки и холодильников доменных печей ММК // Сталь. – 1977. – №4. – С. 300-304.
2. *Ризницкий И.Г.* Исследование закономерностей и разработка рациональных режимов загрузки доменных печей в современных условиях // Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. – Днепропетровск. 1979. – 160 с.
3. *Об улучшении газодинамических характеристик шихтовых материалов в процессе загрузки доменных печей / Е.Г.Донсков, А.Д.Учитель, И.Г.Ризницкий, Ф.М.Журавлев, В.И. Бондаренко // – Сталь, 1980. – №7. – С. 552-559.*
4. *Коробов И.И., Галаганов А.И., Ковшов В.Н.* Об улучшении распределения на колошнике шихты содержащей окатыши // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1977. – №3. С. 1-4.
5. *Гладков Н.А., Савелов А.Г., Ульянов А.Г.* Об эффективности использования окатышей в доменном производстве в странах – членах СЭВ // Сталь. – 1982. – №12. С. 39-41.
6. *Самойлович С.Д., Куличенко Е.М.* Система подачи шихты для современных доменных печей // Сталь. – 1981. – №8. – С. 23-26.
7. *Опыт эксплуатации доменной печи №6 объемом 3200 м<sup>3</sup> на НЛМЗ / Н.С.Антипов, В.В.Капорулин, Э.А.Шепетовский, Е.М.Визлов // Сталь, 1983. – №5. – С. 31-33.*
8. *Освоение и внедрение нового режима работы шихтоподачи и бесконусного загрузочного устройства ДП - 6 НЛМЗ при применении в шихте смеси окатышей и агломерата: Исследование работы доменных печей объемом 3200 – 5000 м<sup>3</sup>, разработка условий и параметров процесса и характеристик оборудования, обеспечивающих достижение проектных показателей плавки (Отчет по НИР) / Институт черной металлургии; Руководители темы: к.т.н. М.Д.Жембус, к.т.н. В.И.Большаков. – № ГР 01822029156; Инв. №0282.0057128. – Днепропетровск – Липецк, 1982 г.. – 34 с.*
9. *Исследование и освоение работы доменной печи №6 объемом 3200 м<sup>3</sup> НЛМЗ: Исследование работы доменных печей большой единичной мощности, разработка условий и параметров процессов и характеристик оборудования, обеспечивающего достижение проектных показателей плавки (Отчет по НИР) / Институт черной металлургии; Руководитель темы: к.т.н. М.Д.Жембус. – № ГР 78009235; Инв. №02879.5812282. – Днепропетровск – Липецк, 1979 г.. – 150 с.*
10. *Технологические особенности работы мощных доменных печей / Ю.С.Юсфин, Р.М.Жак, Е.Н.Сафонова, П.И.Черноусов // Обзорная информация, институт «Черметинформация», – М., ВИНТИ, 1986. – Сер. Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу и производство чугуна. – Вып. 3. – 31 с.*
11. *Патент РФ №2445375. С1, С21В 5/00 (2006.01). Способ создания защитного гарнисажа в шахте доменной печи. / В.Н.Логинов, М.Ю.Суханов, М.М.Каримов, В.И.Большаков и др. – опубл. 20.03.2012 г., Бюл. №8.*
12. *Патент РФ №2291199. С1, С21В 5/00 (2006.01). Способ создания защитного гарнисажа на футеровке горна и лещади доменной печи / В.Н.Логинов, М.Ю.Суханов, М.М.Каримов и др. – опубл. 10.01.2007 г., Бюл. №1.*
13. *Патент РФ №2251575. С1, С21В 5/00. Способ создания защитного гарнисажа в шахте доменной печи / В.Н.Логинов, М.Ю.Суханов, М.А.Гуркин и др. – заявл. 21.04.2004; опубл. 10.05.2005 г., Бюл. №13.*



14. *Декларационный патент Украины на полезную модель. №14621, С 21 В 5/00. Способ промывки горна доменной печи / В.А.Шеремет, Г.П.Костенко, П.И.Оторвин и др. – заявл. 09.12.05; опубл. 15.05.2006 г., Бюл. №5.*
15. *Патент РФ №2343199, С1, С21В 3/00 (2006.01). Способ промывки горна доменной печи / В.Н.Логинов, М.Ю.Суханов, Л.Е.Васильев и др. – опубл. 10.01.2009 г., Бюл. №1.*
16. *Формирование рациональной структуры столба шихтовых материалов в доменной печи / Л.Д.Никитин, В.А.Долинский, С.Ф.Бугаев и др. // *Металлург. – 2004. – №2. – С. 26–28.**
17. *Массовое использование мелкокускового агломерата при работе доменной печи с высокой производительностью / Т.Ватанабэ, А.Маки, А.Сакаи и др. – Дзайре то пуросесу. – 1995. – Т.8. – №4, – С. 1063 // *Новости черной металлургии за рубежом. – 1996. – №3. – С. 41-42.**
18. *Современные технологии загрузки доменных печей / Й.Бухвальдер, В.А.Доброскок, Э.Лонарди, и др. // *Черные металлы. – 2008. – Сентябрь. – С. 21 – 25.**
19. *Улучшение доменной плавки без применения мазута / O.Joshio, I.Toshiguki, I.Masashi и др. // Тэцу то хаганэ. – Т. 69. – №14. – С. 1578–1584.*
20. *Патент РФ № 2308490, С1, С21В 5/00 2006.01. Способ ведения доменной плавки / В.Н.Логинов, М.Ю.Суханов, Л.Е.Васильев и др. – опубл. 20.10.2010 г., Бюл. №29.*
21. *Доброскок В.А. Специальные системы загрузки доменных печей // *Черные металлы. – 2007. – Сентябрь. – С. 13–21.**
22. *Разработка режима загрузки и опыт применения мелкофракционного кокса в мощной доменной печи / В.А.Доброскок, Ю.В.Липухин, И.Ф.Курунов и др. // *Сталь. – 1998. – №8. – С.7-13.**
23. *Патент 2042714 РФ. Способ доменной плавки / В.А.Доброскок, И.Ф.Курунов, Ю.В.Липухин и др. – заявл. 26.07.1993; опубл. 27.08.1995 г., Изобретения. Заявки и патенты, – 1995. – №24.*
24. *Оценка влияния на доменную плавку кокса фракции менее 40 мм / Н.П.Сысоев, С.К.Сибатуллин, В.К.Кропотов и др. // *Труды междунар. конгр. доменщиков. 7-12 июня 1999 г., Днепропетровск - Кривой Рог. – С.216-218.**
25. *Эффективность использования кокса фракции менее 40 мм в доменной плавке / С.Л.Ярошевский, В.А.Ноздрачев, А.П.Чеботарев и др. // *Металлург. – 2000. – №12. – С.32-35.**
26. *Эффективность технологии доменной плавки при загрузке в печь коксового орешка в смеси с железорудной шихтой / Л.Ф.Литвинов, С.Л.Ярошевский, А.М.Кузнецов и др. // *Металл и литье Украины. – 2004. – №12. – С. 5-9.**
27. *Кузин А.В., Ярошевский, С.Л., Хлапонин Н.С. Аналитическое исследование влияния кокса мелких фракций на газопроницаемость сухой зоны доменной печи // *Сб. трудов междунар. научно-техн. конференции «Теория и практика производства чугуна». Кривой Рог. 24-27 мая 2004. – С. 369-374.**
28. *А.С. 1585337 (СССР) С21 В 7/20. Способ ведения доменной плавки / Н.А.Гладков, А.П.Пухов, А.С.Нестеров и др. – заявл. 15.04.88; опубл. 15.08.90. Бюл. № 30.*
29. *Технология и эффективность использования кокса мелких фракций в доменной плавке / А.Н.Рыженков, В.Е.Попов, А.И.Ковалев и др. // *Сб. трудов междунар.**

- научно-техн. конференции «Теория и практика производства чугуна». Кривой Рог. 24-27 мая 2004. – С. 374-377.
30. *Тайхерт Э., Гунта В.Н.* Влияние различной крупности кокса на режим работы доменной печи с горном диаметром 7,8 м // *Черные металлы*. – 1976. – №14. – С. 19-23.
  31. *Производство* первичного металла в странах Западной Европы / А.И.Бабич, В.В.Кочура, А.Формосо, Л.Гарсия // *Металл и литье Украины*. – 1997. – №5. – С. 32-37.
  32. *Массовое* использование мелкокускового кокса при работе доменной печи с вдуванием пылеугольного топлива с большим расходом / М.Танака, К.Мията, Р.Коно и др. // *Дзайре то пуросесу*. – 1995. – Т.8. – №4. С. 1064. *Новости черной металлургии за рубежом*. – 1996. – №3. – С. 40-41.
  33. *Работа* доменной печи №2 в Кимицу с высокой производительностью / Т.Нагата, И.Ямагути, С.Накаяма и др. // *Тэцу то хаганэ*. – 1984. – Т.71. – №4. – С. 56. *Экспресс – информация. Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу*. – Вып. – №19. – 1985.
  34. *Заявка № 55 – 62106* (Япония, Синниппон сэйтэцу к. к.), С21 В 5/00. Способ загрузки шихтовых материалов в доменную печь / О.Йосио, С.Такэо, К.Юкио – заявл. 30.10.78; опубл. 10.05.80, №53 – 133510.
  35. *Заявка 55 – 110708* (Япония, Кавасаки сэйтэцу к. к.), С21 В 5/00. Способ распределения шихты в доменной печи / К.Микио, М.Юкиаки, О.Кёко – заявл. 16.02.79; опубл. 26.08.80, № 54 – 17603.
  36. *Заявка № 52 – 43169* (Япония, Синниппон сэйтэцу к. к.), С21 В 5/00. Способ послышной загрузки шихты в доменную печь / С.Ясуто, А.Тосисукэ, К.Кэндзи, С.Фумихиро – заявл. 24.03.73, опубл. 28.10.77, № 48 – 33887.
  37. *Развитие* технологии вдувания пылеугольного топлива в доменную печь / В.А.Ноздрачев, А.Формосо, А.И.Бабич и др. // *Металлург*. – 1998. – №8. – С. 41-44.
  38. *Changes in the microstructure of coke while passing the blast furnace with respect to the quality of the charged coke and the behavior of the nut coke in the blast furnace* / U.Janysen, A.Günbati, C.Sautner, E.Faraci // *Luxemburg, European Commision*. 2007. – 193 p.
  39. *Восстановление* агломерата и окатышей в смеси с коксовым орешком / Э.Моуса, А.Бабич, Д.Сенк, Х.В.Гуденау // *ОАО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия»*, 2010. – №10. – С. 34-45.
  40. *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.
  41. *Логинов В.И., Соломатин С.М., Корж А.Т.* Опытные плавки при загрузке доменных печей смесью кокса и агломерата // *Металлург*. – 1976. – №4. – С. 14–18.
  42. *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.
  43. *Влияние* условий загрузки шихты на интенсивность доменной плавки / А.Л.Берин, А.И.Васюченко, А.М.Жак, И.Г.Дышлевич // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1986. – №4. – С. 28-29.

44. *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.
45. *Доменный* процесс в исследованиях и разработках сотрудников и выпускников кафедры руднотермических процессов ДГТУ / Г.Ю.Крячко, Л.А.Сафина-Валуева, С.Ю.Андрienко, Ю.К.Лебедев. // *Теория и практика металлургии*. – 2009. – №3. – С. 12–26.
46. *Шенетовский Э.А., Гавриков А.М., Савастьянов Ю.В.* Освоение технологии плавки при загрузке лотковым распределителем части железорудных материалов в смеси с коксом // *Сталь*. – 1989. – №11. – С. 13–17.
47. *Шенетовский Э.А.* Рациональное формирование столба шихты в доменной печи // *Сталь*. – 2003. – №5 – С. 11–15.
48. *Шенетовский Э.А.* Рациональная организация структуры столба шихты // III Международный Конгресс по агло-коксодоменному производствам «Проблемы доменного производства в современных экономических условиях работы горно-металлургического и топливно-энергетического комплексов». – Ялта, Украина. – 2010. – С. 227-235.
49. *Исследование* доменного процесса при смешанной загрузке шихтовых материалов / Х.Кокубу, К.Сато, Ю.Онис и др. // *Тэцу то хаганэ*. – 1984. – Т.70. – №4. – С. 50. Экспресс – информация «Черная металлургия». Серия: Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу, коксохимическое производство и производство чугуна, вып. 21. – 1984.
50. *Способ* загрузки кусковой руды в доменную печь / М.Такаши и др. // *Тэцу то хаганэ*. – 1982. – Т.68. – №11. – С. 709.
51. *А.С. 757596 (СССР) С21 В 7/20.* Устройство для загрузки шихтовых материалов в скипы доменной печи / В.И.Логинов, А.Л.Берин, С.М. Соломатин и др. – заявл. 02.06.78; опубл. 23.08.80, Бюл. № 31.
52. *А.С. 986929 (СССР) С21 В 7/20.* Устройство для загрузки железорудных материалов в скип / В.И. Логинов, В.Н. Никифоров, О.А. Бабенко. и др. – заявл. 09.09.81; опубл. 09.01.83, Бюл. № 1.
53. *А.С. 1116069 (СССР) С21 В 7/20.* Устройство для загрузки шихтовых материалов в скипы доменной печи / В.И.Логинов, К.Г.Носов, И.Ф.Пугач и др. – заявл. 06.04.83; опубл. 30.09.84, Бюл. № 36.
54. *А.С. 1350174 (СССР) С21 В 7/20.* Устройство для загрузки шихтовых материалов в скипы доменной печи / А.Л.Берин, В.И.Деревянко, Г.Ф.Кулагин и др. – заявл. 13.02.85; опубл. 07.11.87, Бюл. № 41.
55. *А.С. 1042350 (СССР) С21 В 5/00.* Способ загрузки шихты в доменную печь / В.И.Логинов, А.Л.Берин, В.Д.Гладуш и др. – заявл. 06.04.83; опубл. 30.09.84, Бюл. № 36.
56. *А.С. 1145034. С21 В 7/20.* Способ загрузки доменной печи / А.Л.Берин, В.И.Логинов, В.Д.Гладуш и др. – заявл. 21.11.83; опубл. 15.03.85, Бюл. № 10.
57. *А.С. 1285005 С21 В 7/24.* Способ загрузки доменной печи / В.И.Логинов, О.А.Бабенко, В.Т.Тучин и др. – заявл. 28.01.85; опубл. 23.01.87, Бюл. № 3.
58. *А.С. 1425209 С21 В 7/20.* Способ загрузки шихты в доменную печь / Н.Ш.Гринштейн, А.К.Тараканов, М.Н. Байрака. и др. – заявл. 10.11.86; опубл. 23.09.88, Бюл. № 35.
59. *Заявка № 52 – 96916 (Япония, Синниппон сэйтэцу к. к.), С21 В 5/00.* Способ загрузки шихтовых материалов в доменную печь / К.Хиромаса, Н.Июсио, Н.Масааки. – заявл. 10.02.76; опубл. 15.08.77, № 51 – 13789.

60. А.С. 1255899 С21 В 5/00. Способ загрузки доменной печи / В.И.Логинов, А.Л.Берин, В.К.Рочняк и др. – заявл. 11.05.84; опубл. 07.06.86, Бюл. № 21.
61. А.С. 1527267 С21 В 5/00. Способ работы доменной печи / Н.Ш.Гринштейн, А.К.Тараканов, А.И.Таранец и др. – заявл. 05.05.87; опубл. 07.12.89, Бюл. № 45.

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

***В.І.Большаков, Н.Г.Іванча, І.Г.Муравьїова, В.І.Вишняков***

**Технологічне обґрунтування ефективності завантаження багато-компонентних змішаних порцій шихтових матеріалів в доменну піч**

Обґрунтовано доцільність завантаження основних і нетрадиційних компонентів шихти, відсіву фракцій шихтових матеріалів і добавок різного призначення у складі змішаних порцій. Показано, що для подальшого удосконалення технології завантаження змішаних порцій шихтових матеріалів у доменну піч є необхідною розробка методик розрахункового визначення раціональних параметрів формування порцій, що забезпечують задане розподілення компонентів шихти на колошнику.