

И. Г. Товаровский**О РАЗВИТИИ В ИНСТИТУТЕ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ НЕКОТОРЫХ
ВАЖНЕЙШИХ НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДОМЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

Институт черной металлургии НАН Украины

Рассмотрены два важнейших направления совершенствования доменного производства, развиваемые в Институте черной металлургии: комплекс технологий замещения кокса другими энергоносителями при одновременном решении задач энергосбережения, а также обобщение опыта работы доменных печей и аналитические исследования доменной плавки.

В Институте черной металлургии разработан комплекс технологий замещения кокса другими энергоносителями при одновременном решении задач энергосбережения.

Одной из них является вдувание топливных добавок через фурменные устройства. В решении этой проблемы наиболее обстоятельной и плодотворной была выполненная под руководством академика З.И. Некрасова разработка технологии доменной плавки на комбинированном дутье (природный газ и кислород), получившей дальнейшее развитие в отрасли и ставшей традиционной во всем мире. Последующие работы Института черной металлургии в значительной мере связаны с совершенствованием этой технологии и направлены на увеличение расходов природного газа и кислорода, оптимизацию параметров комбинированного дутья при их сочетании с другими параметрами плавки, разработку рациональных условий и конструкций узлов ввода природного газа в фурменные приборы и распределения его по окружности печи, а также организации дренажа продуктов плавки в горне при понижении содержания монооксида железа в первичных шлаках [1, 2]. При вдувании природного газа (до 150 м³/т) сокращение расхода кокса составляет 15–20%.

Начатые под руководством академика З.И. Некрасова разработки технологии доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива (ПУТ) и коксового газа также получили промышленное развитие. Первая после многочисленных испытаний стала традиционной во всех странах. Вторая продолжена сотрудниками Института черной металлургии и Макеевского меткомбината, реализована в промышленном масштабе и может использоваться на любом предприятии с заменой до 100 % природного газа при дополнительной экономии кокса 5–8% [3].

В последние годы поиск эффективных заменителей кокса привел к разработке технологии доменной плавки с частичным замещением его антрацитом. Разработка выполнена специалистами Института черной металлургии, Национальной металлургической академии Украины, Научно-производственного центра «Экосфера» (г. Луганск), ОАО «АрселорМиттал

Кривой Рог». В отличие от известных решений, позволяющих замещать антрацитом 20–30 кг кокса/т чугуна, авторами использованы новые решения, включающие: обоснованный выбор сортамента антрацита и его специальную подготовку; загрузку антрацита в смеси с железорудной шихтой для окисления оксидами шихты мелочи, которая образуется при разрушении угля; увеличение размера подачи для сохранения необходимой толщины коксовых слоев и площади «коксовых окон» в вязко-пластичной зоне при уменьшении расхода кокса. Это позволило увеличить расход антрацита до 70–87 кг/т чугуна при эквиваленте замены 0,8–1,1 кг/кг [2].

Таким образом, разработан широкий арсенал технологий замещения кокса различными энергоносителями, позволяющих на каждом отрезке времени реализовать наиболее эффективный вариант.

В условиях подорожания природного газа и трудностей инвестирования капиталоемкой технологии вдувания ПУТ в ИЧМ создана концепция коксозамещения, включающая постепенную замену ПГ коксовым газом (КГ) и использования кускового антрацита для замены кокса. Сочетание вдувания коксового газа с использованием кусковых углей для замещения кокса, не требующим существенных капитальных вложений, является технологически наиболее удачным и экономически приоритетным. Его широкая реализация позволит совершить существенный положительный сдвиг в коксосбережении, а по мере накопления средств будут созданы возможности вложений в сооружение комплексов для вдувания ПУТ.

С целью высвобождения коксового газа, необходимого для вдувания в доменные печи, Институтом черной металлургии НАН Украины разработаны основы технологии газификации углей и утилизации отходов в освобожденных от производства чугуна по балансу металла доменных печах [1, 2]. Полученные в этих печах продукты газификации углей могут быть использованы для отопления коксовых печей и других энергетических нужд наряду с более полным использованием доменного газа при рационализации структуры топливного баланса предприятия.

Изложенная программа рационализации топливоиспользования в доменном производстве Украины позволит в сложившихся условиях инвестиционного дефицита перейти к ритмичному развитию отрасли, а в перспективе – к реализации новых технологий.

Определяющей проблемой технологии вдувания ПУТ является полнота газификации угля в фурменном очаге. Для полного решения проблемы необходимо вынести процесс газификации угля за пределы фурменного очага с подачей в печь готовых восстановительных газов. При этом решается не только собственно проблема газификации, но появляется возможность повышения зольности двухфазных углей и офлюсования золы. Работы в этом направлении, начатые нами в 70–х годах 20–го века и поддержанные академиком З.И. Некрасовым, нашли отражение и признание уже в начале 80–х годов. Созданные предпосылки развития данного направления положили начало планомерному изучению процессов придоменной

газификации углей и применения продуктов газификации для вдувания в доменную печь. В ходе изучения показана принципиальная возможность и экономическая целесообразность создания новой технологии с заменой природного газа и части кокса низкосортным углем.

Комплекс совместных работ с Институтом высоких температур Академии наук СССР (ИВТАН) позволил создать и испытать на стенде в натурных условиях прифурменный газификатор пылеугольного топлива (на каждую фурму) для вдувания продуктов газификации в доменную печь, а совместные разработки с Днепропетровским металлургическим институтом (ныне НМетАУ) и Всесоюзным (ныне Всероссийским) теплотехническим институтом – разработать научные основы создания центрального высокопроизводительного газогенератора для доменной печи (в т. ч. на базе выводимой из эксплуатации доменной печи) [1]. Указанный комплекс работ с 1992 года продолжен в рамках тематики НАН Украины и при поддержке ГКНТ Украины. Из двух предложенных схем подачи продуктов газификации угля (ПГУ) в доменную печь – с установкой реактора – газификатора на каждом фурменном приборе и из центрального газогенератора, более продвинутой оказалась первая. В сотрудничестве с ИВТАН и АК «Тулачермет» удалось изготовить и частично испытать на одном фурменном приборе газификатор пылеугольного топлива, а также оценить ожидаемые результаты реализации новой технологии, которая квалифицируется как малококсовая.

Рассматриваемая нетрадиционная технология с заменой части кокса низкосортным углем может квалифицироваться как новый этап реформации доменной плавки на пути сокращения расхода кокса до минимально возможных величин. Предполагается замена на первой стадии более половины кокса некоксуемым углем (в пределе – снижение расхода кокса до 180–200 кг/т, а на второй – создание новой технологии бескоксового получения первичного металла [1].

Другим важнейшим направлением работы Института является обобщение опыта работы доменных печей и аналитические исследования доменной плавки. Ведущая роль ИЧМ в области доменного производства определила это направление в качестве одного из главных. Инициатором и организатором его был академик З.И. Некрасов, непосредственно руководивший этой работой с 1967 по 1978 год.

Ежегодные отчеты Института включали анализ состояния производства, технологии и реализации новых технических решений с формированием рекомендаций по развитию производства чугуна в отрасли и на отдельных предприятиях. Их содержание систематически рассматривалось руководством Минчермета СССР, а рекомендации были основой для формирования технической политики в отрасли. В выполнении работы принимали участие многие специалисты отрасли, включая НИИ, проектные организации, предприятия и руководящие органы. Сотрудники лаборатории анализа и обобщения участвовали в работе отраслевых совеща-

ний и комиссий по основным техническим решениям развития доменного производства, а также в разработке целевых отраслевых программ, таких, как «Снижение расхода кокса на выплавку чугуна» и др. Лабораторией разработаны важнейшие отраслевые руководящие документы, не потерявшие значимость до настоящего времени, например, методика и нормативы оценки влияния технологических факторов на расход кокса и производительность доменных печей.

Для повышения эффективности анализа в Институте была создана отраслевая система анализа работы доменных печей, включающая методику машинной обработки и предварительного анализа показателей доменной плавки, которая реализована на ЭВМ в виде автоматизированной системы анализа (АСА) работы доменных печей [1]. Помимо первичной информации о работе доменных печей для повышения качества выполнения анализа выполнялся расчет комплексных показателей и материально-тепловых балансов. Важным компонентом анализа является оценка влияния погрешностей исходных данных на расчетные характеристики процесса. С этой целью предусмотрена коррекция параметров в соответствии с величинами невязок балансов с последующим анализом расчетных величин. Методикой предусмотрен также анализ влияния факторов на удельный расход кокса и производительность доменных печей. Указанный анализ выполняется с целью сравнения работы доменных печей или периодов работы одной печи при условно одинаковых параметрах плавки с выявлением роли неконтролируемых или неизвестных факторов. Для отсева влияния известных факторов используются выражения, полученные на основе расчетно-аналитических исследований и скорректированные по обобщенным данным практики.

При достаточной полноте исходной информации возможно непрерывное изучение связей основных показателей плавки и расчетных характеристик с целью выявления тенденций и закономерностей их изменения на отдельных печах, группах печей и в отрасли с последующим формированием рекомендаций по совершенствованию технической политики в области доменного производства. Таким образом, ретроспективное изучение показателей доменного производства является смысловой основой прогнозирования и планирования перспектив его развития. Результаты обработки показателей доменной плавки в АСА являются также информационной базой для решения задачи оптимизации направлений развития доменной плавки.

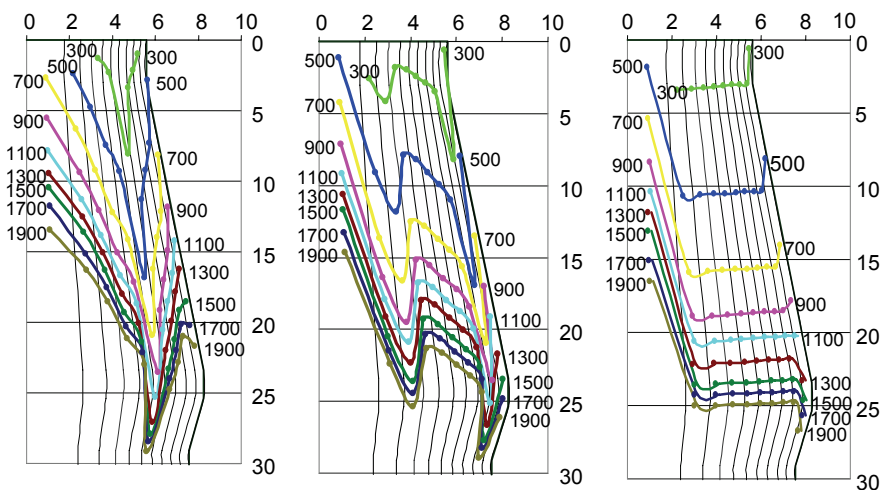
Деятельность по анализу и обобщению опыта работы доменных печей востребована специалистами и в настоящее время, однако в сложившихся условиях не представляется возможным определить постоянного заказчика работ.

В последние годы система анализа дополнена разрабатываемой в Институте многозонной моделью хода процессов в объеме печи. Разработанная модель предназначена для количественного анализа процессов доменной плавки в радиальных кольцевых зонах (РКЗ) по высоте печи при за-

данном распределении материалов на колошнике [4]. Протекание процессов теплопередачи и восстановления железа в кольцевых зонах по высоте столба шихты описывается дискретно системой материально–тепловых балансов в 12 зонах по вертикали с интервалами температур шихты от начальной до 400°С и далее через каждые 100°С вплоть до температуры продуктов плавки. Каждая из вертикальных температурных зон (ВТЗ) характерна своей спецификой протекания процессов тепло- и массопередачи, а также перехода материалов от твердой фазы к жидкой через тестообразное состояние. В периферийной кольцевой зоне по всей высоте столба шихты учитывается потеря теплоты через стенки печи.

Отличительной особенностью разработанной модели по сравнению с известными является содержательное единство общих и зональных характеристик плавки, что определяет ее высокие прогнозные возможности.

На рисунке приведен пример результатов расчета для доменной печи объемом 5500 м³. Аналитические исследования на такой основе позволили выявить ряд новых закономерностей хода процессов в объеме печи и возможности их использования для совершенствования технологии [5–7].



Конусный режим загрузки
(Параболическое распределение)

Лотковый режим загрузки
(Фактическое распределение)

Лотковый режим загрузки
(Равномерное в РКЗ–2–9 распределение)

Рисунок. Температура газов (у кривых, °С) в печном пространстве при трех способах загрузки шихты (по горизонтали – расстояние от центра, по вертикали – расстояние от верха, м)

Показано, что минимальное развитие процесса прямого восстановления и соответствующего теплотребления на этот процесс при всех условиях имеет место на периферии, несколько выше – в центре и в промежуточных зонах; указанная закономерность подтверждена экспериментально и отличается от ранее существовавших представлений;

Установлено, что в большинстве случаев реального распределения шихты на колошнике существуют кольцевые сечения, в которых имеет место вырождение двухступенчатого теплообмена по высоте, что уменьшает устойчивость процессов и приводит к дополнительному расходу топлива; рациональное распределение материалов на колошнике при правильном выборе параметров осевой «отдушины» способствует уменьшению количества таких РКЗ, повышает устойчивость процессов и сокращает расход топлива.

Впервые дана количественная аналитическая оценка влияния конструкции загрузочных устройств (конусных – КЗУ, бесконусных – БЗУ), соответствующих возможностей улучшения распределения материалов на колошнике и уменьшения расхода кокса в доменной плавке. Показано, что при переходе от параболического распределения рудной нагрузки, характерного для КЗУ, к равномерному и близким к нему распределениям, характерным для БЗУ, экономия кокса составляет по результатам расчета учетом ожидаемого улучшения устойчивости процессов величину 4–5%.

Заключение

В Институте черной металлургии разработан комплекс технологий замещения кокса другими энергоносителями при одновременном решении задач энергосбережения. В условиях инвестиционного дефицита и прогрессирующего подорожания природного газа наиболее эффективной является технология замены природного газа коксовым при загрузке в доменную печь кускового антрацита. Она позволяет решить задачу коксозамещения при небольших единовременных затратах и создать инвестиционную и технологическую базу для широкого внедрения технологии вдувания пылеугольного топлива и перехода к новым технологиям. Необходимость производства конкурентоспособной продукции стимулирует необходимость «прорыва» в область нетрадиционных технологий, концепция которого включает перестройку доменной плавки на малококсовое и бескоксовое получение металла на основе вдувания продуктов газификации некоксующихся углей, а также перевод отдельных доменных печей в режим газификации углей с утилизацией металлосодержащих отходов.

Одним из направлений работы Института черной металлургии был анализ и обобщение опыта работы доменных печей. В рамках этого направления выполнен ряд методических разработок и создана аналитическая система, включающая подготовку первичной информации, расчет комплексных показателей с учетом влияния погрешностей учета и прогноз показателей на основе двухзонного теплового баланса с переменной температурной границей зон. Разработанная многозонная модель хода про-

цессов в объеме печи позволяет прогнозировать показатели плавки с раскрытием состояния процессов по высоте и поперечному сечению печи.

1. *Товаровский И.Г.* Доменная плавка. Эволюция, ход процессов, проблемы и перспективы. – Днепропетровск: Пороги, 2003. – 596 с.
2. *Коксозамещающие технологии* в доменной плавке. Под редакцией доктора технических наук, профессора Товаровского И.Г. / В.П.Лялюк, И.Г.Товаровский, Д.А.Демчук и др. // Днепропетровск, изд. «Пороги», 2006. – 276 с.
3. *Доменная плавка* с вдуванием коксового газа / В.Ф. Пашинский, И.Г. Товаровский, П.Е. Коваленко, Н.Г. Бойков. – Киев: Техника, 1991. – 104 с.
4. *Товаровский И.Г.* Системный анализ показателей доменной плавки // В книге «Познание процессов доменной плавки». Коллективный труд. Под редакцией В.И. Большакова и И.Г. Товаровского. – Днепропетровск: Пороги, 2006.– С.296 – 321с.
5. *Товаровский И.Г.*, Большаков В.И. Аналитическое исследование влияния распределения рудных нагрузок на показатели плавки // Сталь.– №10.– 2006.– С.7–12.
6. *Товаровский И.Г.*, Большаков В.И. Аналитическое исследование параметров доменной плавки при неравномерном распределении рудной шихты и кокса по радиусу колошника // Черные металлы. – 2007. – январь. – С.7–16.
7. *Товаровский И.Г.*, Большаков В.И., Шутылев Ф.М. Выбор рациональных параметров распределения шихты на колошнике экспериментально–аналитическим методом// Черные металлы.–2007.–июнь.– С.13–19.

Сведения об авторе:

Товаровский Иосиф Григорьевич, докт.техн.наук, профессор, старший научный сотрудник Института черной металлургии НАН Украины