

УДК 669.162.2:001.83

В.И.Большаков, В.А.Шеремет, И.Г.Муравьева, В.С.Листопадов**ТВОРЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО УЧЕНЫХ ИЧМ И СПЕЦИАЛИСТОВ
«КРИВОРОЖСТАЛИ» В РАЗВИТИИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА***Институт черной металлургии, НАН Украины,
ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», Украина*

Благодаря многолетнему творческому сотрудничеству доменщиков «Криворожстали» и ИЧМ доменное производство на комбинате развивается и совершенствуется, растет уровень квалификации персонала.

Возрождение «Криворожстали» – стального сердца Украины – после Великой Отечественной войны началось с пуска в 1949 году доменной печи № 1, в январе 1950 г. начала плавить чугун печь № 1, а в сентябре 1951 г. – доменная печь (ДП) № 3. Бурное развитие завода происходило в 1955–1975 г. В 1958 г. пущена крупнейшая в мире ДП–4 объемом 1719 м³, а в 1960 г. – доменная печь № 5 объемом 2000 м³, оснащенная конвейерной подачей железосодержащих материалов к скиповому подъемнику, грохотами для отсева мелких фракций и двухконусным загрузочным устройством нового типоразмера. В последующие пять лет построены еще две печи (№ 6 и 7) такого же объема.

В начале 1960–х годов перед доменщиками была поставлена задача повышения производительности печей и снижения удельного расхода кокса. Для ее выполнения в 1962 г. специалисты Института черной металлургии (ИЧМ) и завода «Криворожсталь» провели кратковременную опытную плавку с применением богатого агломерата из концентратов глубокого обогащения, содержащих не менее 65% железа. На основании обнадеживающих результатов этой плавки как с точки зрения увеличения производительности и снижения удельного расхода кокса, так и с точки зрения экономической эффективности применения такого агломерата в доменном производстве Советы Министров СССР и УССР обязали завод провести более длительную опытную плавку на установленном режиме. В 1964 г. такую плавку провели в печи № 7 объемом 2000 м³ на офлюсованном, отсеянном от мелочи агломерате из концентратов глубокого обогащения Новокриворожского ГОКа (НКГОКа), содержащих не менее 65% Fe. Под руководством акад. АН УССР З.И. Некрасова «Криворожсталью», НКГОКом, Механобрчерметом и ИЧМ выполнена комплексная разработка новой технологии плавки на богатом агломерате. В 1967 г. в печи объемом 2000 м³ была проведена плавка с концентрацией кислорода в дутье 30% и с применением природного газа. Производительность печи на 1% увеличения концентрации кислорода повышалась на 2%, а коэффициент замены кокса природным газом составил 1,05 кг/м³. Впервые обстоятельно был изучен весь комплекс вопросов, связанных с технологией и работой оборудования доменных печей в новом режиме. Научно–техническая

оценка показателей плавки позволила разработать предложения о целесообразности строительства кислородных блоков на заводах и широкого внедрения кислорода для интенсификации выплавки—Чугуна. Реализация этих предложений позволила обеспечить в 1975 г. работу 110 доменных печей СССР с применением природного газа и 86 печей с комбинированным дутьем, обогащенным кислородом [1].

В 1967 г. построена печь № 8 объемом 2700 м^3 , оснащенная двумя литейными дворами, испарительным охлаждением шахты и установкой припечной грануляции шлака [1].

Наиболее масштабным для комбината, как и для всей страны, было строительство и пуск в 1974 г. крупнейшей в мире печи № 9 объемом 5000 м^3 , принципиально отличавшейся от ранее построенных печей рядом новых технических решений: высокопроизводительной шихтоподачей с отсевом мелких фракций, обеспечивающей автоматизированное дозирование и формирование порций различной конфигурации на главном конвейере подачи шихты на колошник с шириной ленты 2,0 м; гидрофицированным клапанно—конусным двухшлюзовым загрузочным устройством с распределительным конусом («юбкой»); круглым литейным двором с четырьмя летками, двумя установками припечной грануляции шлака, современной автоматизированной системой управления механизмами и технологическим процессом (АСУТП). Печь № 9, как и все головные экземпляры доменных печей, построенных на «Криворожстали», создавалась по технологическому заданию ИЧМ, и на всех этапах ученые института обеспечивали исследование и научно—техническое сопровождение этой печи. Проект комплекса печи № 9 был разработан Укргипромезом в сотрудничестве со специалистами комбината и многих научных и проектно—конструкторских организаций. Технологию плавки и технологические требования к шихтовым материалам разработал ИЧМ. Всего в проектировании, строительстве и освоении этой печи участвовало более 100 научно—исследовательских и проектных институтов, а также вузов Союза, координация этих работ была поручена ИЧМ.

В 1978 г. на печи № 9 после ее капитального ремонта внедрены рекомендации по рациональному режиму загрузки с маневрированием распределительным конусом и по параметрам комбинированного дутья. В результате реализации этих и других научно—технических разработок во второй половине 1978 и в 1979 г. суточная производительность печи достигла 10200 т, расход кокса уменьшился до 436 – 470 кг/т чугуна. Эти показатели были получены благодаря применению программы загрузки, состоящей из четырех подач РРКК 6 и одной КК 0 при массе железорудных материалов в подаче 95 т; расходе дутья – 8300 – 8400 $\text{м}^3/\text{мин}$, температуре — 1150 °С; содержании кислорода в дутье – 29,5%; перепаде давления от фурм до колошника – 172 – 177 кПа; расходе природного газа – 105 – 110 $\text{м}^3/\text{т}$ чугуна; теоретической температуре горения — 2090 – 2130 °С; доле окатышей в железорудной части шихты – 25 – 30%, основности

шлака (CaO/SiO_2) 1,2 ((цифры 6 и 0 – обозначают положение распределительного конуса – «юбки»). В положении «6» траектории движения шихты при загрузке в печь приближаются к защитным плитам колошника, а в положении «0» кокс загружается в осевую зону печи). Опыт освоения печи объемом 5000 м^3 показал, что решающим фактором обеспечения эффективной и устойчивой работы этого крупного агрегата стала реализация возможностей управления радиальным и окружным распределением шихты на колошнике в сочетании с рациональным дутьевым режимом. Анализ результатов работы крупнейшей в мире доменной печи по простейшим более тридцати лет с момента ее пуска позволяет рассмотреть это событие не с точки зрения сиюминутных успехов и неудач, а оценить его значение для развития доменного производства в нашей стране.

В 1980 г. в процессе модернизации печи № 9 установлено бесконусное загрузочное устройство лоткового типа фирмы «П. Вюрт». Начался новый этап разработки технологии загрузки, оборудования и систем управления распределением шихты и газов [2]. По методике, разработанной ИЧМ, впервые в мировой практике выполнены широкомасштабные предпусковые испытания работы оборудования, систем управления и распределения шихты в печи № 9. Результаты исследований позволили исключить отказы, связанные с пуском сложного комплекса оборудования, и ускорить освоение агрегата. После пуска печи выполнены исследования и совершенствование режимов работы БЗУ, впервые опробован и внедрен оригинальный способ управления окружным распределением шихты, разработана и реализована методика определения начальной скорости схода шихты с лотка и определены рабочие угловые позиции лотка для заданного уровня засыпи. Благодаря этим разработкам был поставлен на расчетную основу выбор рациональных программ загрузки шихты.

На печи № 9 освоена система «Спиротерм», дающая возможность вести плавку с использованием информации о температуре поверхности засыпи, регулировать распределение газового потока на колошнике, ход и тепловое состояние агрегата. Выполнен комплекс работ по разработке АСУТП, внедрение которой позволило сэкономить от 1 до 3% кокса. Впервые создана и успешно прошла промышленную проверку система непрерывного бесконтактного измерения температуры чугуна на выпуске с использованием ЭВМ, уточнены математическое описание процесса и алгоритм управления тепловым состоянием печи. В каждый последующий капитальный ремонт на печи проводили модернизацию с целью совершенствования конструкции и обеспечения высокой надежности агрегата. Так, при реконструкции в 1983 г. на печи № 9 число воздушных фурм увеличили с 36 до 42, уменьшили угол наклона заплечиков, с 4,4 до 5 м углубили горн, при этом цилиндрический кожух горна заменили коническим.

Первое отечественное БЗУ с распределителем «воронка–склиз», разработанное ВНИИметмашем и Уралмашзаводом, в 1982 г. было установ-

лено и освоено на печи № 6. Практика показала, что из всех испытанных вариантов наиболее эффективна многокольцевая загрузка шестипорционным циклом с подачей одной порции в осевую зону колошника. Результатом исследований, проведенных ИЧМ вместе с персоналом цеха № 1 за три года эксплуатации БЗУ, стало уменьшение расхода кокса на 12 кг/т чугуна по сравнению с работой печи с типовым загрузочным устройством. Повышение эффективности управления распределением шихты позволило стабилизировать технологический процесс, улучшить степень использования газов, освоить рациональные режимы работы распределителя и клапанных механизмов БЗУ [3]. В 1987 г. после комплексных испытаний аналогичное устройство было установлено на печи № 4 [4].

После пуска печи № 9 комбинат «Криворожсталь» стал крупнейшим металлургическим предприятием Украины. В 1978 г. выплавлено 12,6 млн. т металла, что составило 11,2% от производства чугуна в СССР и более 20% чугуна, выплавленного в Украине. Комбинат снабжал сортовым прокатом народное хозяйство всех союзных республик и экспортировал металлопрокат в 40 стран мира [4].

В создание и развитие доменного производства «Криворожстали» внесли существенный вклад руководители завода и доменных цехов: Ф.Ф.Рязанов, Н.С.Галатов, А.И.Бородулин, В.Д.Гладуш, В.А.Сацкий, П.Г.Нетребко, И.И.Дышлевич, В.А.Шатлов, И.Т.Хомич, Н.М.Омель и др. В разработке новых технологий и оборудования, выполнении исследований и реализации их результатов на предприятии активное участие принимали ученые ИЧМ: З.И.Некрасов, А.В.Праздников, В.И.Большаков, Н.А.Гладков, В.Л.Покрышкин, А.Г.Ульянов, Н.М.Можаренко, Е.Е.Гаврилов и др. В настоящее время руководство комбината и ИЧМ сохраняют традицию творческого сотрудничества производителей и ученых в развитии технологий и повышении эффективности выплавки чугуна [3,4].

Доменное производство «Криворожстали» по выпуску чугуна не имеет аналогов в Украине и является крупнейшим в мире производителем этой продукции. В настоящее время на комбинате действуют два доменных цеха. В цехе № 1 – пять печей суммарным полезным объемом 10419 м³, три разливочные машины, склад холодного чугуна, депо ремонта чугуновозных ковшей, отделение приготовления огнеупорных масс. В состав цеха № 2 входят крупнейшая в Украине доменная печь полезным объемом 5000 м³, четыре разливочные машины, склад холодного чугуна, припечные грануляционные установки, ТЭЦ, система замкнутого водоснабжения, развитая железнодорожная сеть. Работу печи № 9 обеспечивают кислородный блок и аглофабрика НКГОКа.

На комбинате планомерно реализуется программа реконструкции и модернизации доменного производства. В октябре 2000 г. состоялось второе рождение печи № 6, она фактически была построена заново. На этом агрегате внедрено немало новых технических решений: микропроцессор-

ная техника для контроля технологического режима, управления механизмами загрузки и воздухонагревателями; система автоматического контроля тепловых нагрузок холодильников горна и верхней лещади; система замера перепада давления охлаждающей воды для контроля прогара воздушных фурм; система автоматической корректировки массы шихтовых материалов. На этой печи установили типовой двухконусный засыпной аппарат с увеличенной приемной воронкой, металлические конвейеры отсева мелочи агломерата и окатышей. Литейный двор оборудовали более мощными пушками для закрытия чугунных леток; осуществили реконструкцию воздухонагревателя с использованием блочной насадки. Доменная печь № 5 после капитального ремонта была задута в мае 2002 г. Здесь также установили воздушные фурмы со стальным стаканом, футерованным изнутри; реконструировали коллектор подачи охлаждающей воды на фурмы; установили металлические конвейеры отсева мелочи агломерата и окатышей на шихтоподаче; внедрили тиристорные преобразователи для управления лебедками главного подъема, конусов загрузочного устройства, конвейеров агломерата и аглогрохотов; усовершенствовали бункеры добавок, использовали новые компактные грохоты, весовые воронки и систему управления.

В апреле 2003 г. после восстановительного ремонта задута печь № 1, где заменили охладительные элементы и огнеупорную футеровку шахты, отремонтировали шихтоподачу. После капитального ремонта с реконструкцией в это же время начала выдавать чугун печь № 7. На этом агрегате внедрили загрузочное устройство с лепестковым распределителем шихты, разработанное на «Криворожстали»; холодильные плиты новой конструкции; воздушные фурмы с тангенциальным подводом природного газа и утолщенным телом; систему испарительного охлаждения шиберов горячего дутья воздухонагревателей; реконструировали бункерную эстакаду, увеличив число бункеров добавок; установили программно-технический комплекс на основе микропроцессорной техники фирмы «Аллен Бредли»; внедрили систему контроля разгара лещади по тепловым нагрузкам и контроля прогара воздушных фурм; тиристорные преобразователи для управления лебедками главного подъема, конусами загрузочного устройства, конвейерами агломерата, подъемниками коксовой мелочи и агломерата; усовершенствовали систему управления электродвигателями грохотов агломерата, окатышей, добавок путем преобразования частоты питания.

Благодаря устойчивой и прибыльной работе комбината в 2000 – 2002 гг. были выделены средства на капитальный ремонт печи № 9. Однако надо было добиться, чтобы из-за ее остановки не сократились объемы производства. Выполнив модернизацию и восстановление четырех печей цеха № 1, комбинат подготовил исходные позиции для ремонта. В 2002 г. было выплавлено более 6 млн. т чугуна и 6,9 млн. т стали, произведено более

6 млн. т проката, получено более 800 млн. грн. прибыли. На восстановление и обновление основных средств направлено 770 млн. грн., а в 2003 г. – около 1 млрд. грн. В общей сложности с 1974 по 2003 г. на печи № 9 было получено 78,8 млн. т чугуна [5].

В разные годы в должности начальника цеха № 2 трудились известные и уважаемые не только на комбинате, но и в стране доменщики: в 1973 г., т.е. еще в период строительства печи № 9, П.Г.Нетребко, с 1978 по 1981 г. – И.Т.Хомич, в 1995 г. – А.Г.Шидловский. Нынешний начальник цеха № 1 Г.П.Костенко управлял работой печи № 9 с 1997 г. С октября 1999 г. цехом руководит В.С. Листопадов. Потомственный металлург, он возглавил коллектив в 29 лет, доказав на деле свою профессиональную компетентность, высокую квалификацию и ответственность.

Весь коллектив цеха № 2 активно участвовал в подготовке и проведении ремонта печи № 9. Прежде чем руководство комбината приняло решение о дате остановки печи, расчетом определили остаточную толщину футеровки лещади. Теплотехнические расчеты, подтверждены ультразвуковой диагностикой на еще действующей печи в дальнейшем инструментальными измерениями износа кладки металлоприемника непосредственно в печи во время ремонта. Они показали, что защитная футеровка горна исчерпала свой ресурс, а дальнейшая эксплуатация печи стала опасной. 14 мая 2003 г. ее остановили. Капитальный ремонт планировался не только как обновление агрегата, но и как его модернизация. Особое внимание уделяли вопросам экологической безопасности. Ремонт припечных грануляционных установок, реконструкция аспирационных установок собственно печи и шихтоподачи позволят значительно уменьшить выбросы пыли и вредных веществ в атмосферу [6].

После 30 лет эксплуатации печи № 9 во время ремонта многое было выполнено впервые, разработана новая стратегия его проведения. Руководством комбината по предложению ИЧМ в планы включены мероприятия, позволившие без увеличения стоимости ремонта поднять технический уровень печи до мирового. В их числе – новая конструкция горна на углеродистых блоках отечественного производства, первый в Украине и СНГ профилимер поверхности засыпи шихты, система контроля разгара горна и прогнозирования шлакового режима, автоматизированная система управления доменной плавкой и другие. Новые технические решения, в которых сконцентрированы результаты научных разработок и опыт эксплуатации больших печей, подготавливались в 2001 – 2002 гг., а результаты переданы Укргипромету для реализации в проекте реконструкции печи № 9 [4,6].

В мае – сентябре 2003 г. сотрудниками ИЧМ НАН Украины и комбината выполнены комплексные исследования состояния оборудования загрузочного устройства (БЗУ), футеровки и системы охлаждения после выдув печи на капитальный ремонт, анализ ее работы за кампанию 1989 – 2003 гг., оценка особенностей новой технологии интенсивной выдувки и

остановки агрегата. Принципиально новым в технологии выдувки в мае 2003 г. стал высокий уровень форсировки. Выдувка прошла при устойчивом технологическом состоянии печи, без остановок и горения воздушных фурм. Концентрация высоких температур в нижней зоне благодаря выбору рациональных газодинамических параметров и высокой температуре фурменной зоны способствовала обеспечению требуемых температур под колошником. Результаты исследования состояния оборудования БЗУ дали возможность уточнить межремонтные сроки ответственных деталей, наметить мероприятия по увеличению сроков службы узлов устройства. Установлены причины повышенных тепловых нагрузок на холодильники верхней лещади, ускоренного выхода из строя муллитового стана. Эти недостатки устранены в новой конструкции металлоприемника.

На куполе печи № 9 впервые в отечественной практике установлены радиолокационные измерители уровня, предназначенные для прямого измерения профиля поверхности засыпи на колошнике, скорости схода шихты и других параметров, необходимых для управления распределением шихты и газового потока.

14 ноября завершился 180-суточный ремонт. За время третьей кампании работы печи с 1989 по 2003 г. выплавлено 31,6 млн. т чугуна. 13,5 года непрерывной работы уникального плавильного агрегата даже по мировым меркам – значительный срок. Сегодня печь № 9 стабильно выплавляет 8–9 тыс. т металла в сутки при расходе кокса менее 465 кг/т чугуна. Началось освоение новых средств контроля процесса и системы автоматизированного управления загрузкой. Применение этих систем послужит стимулом и средством для разработки и применения более совершенных режимов работы шихтоподачи, для реализации оптимальных программ управления распределением шихтовых материалов в печи, в которых использованы результаты выполненных при загрузке печи исследований.

Проектным заданием предусматривалось выплавлять в печи 4,0 млн. т чугуна в год или 11200 т/сут. при расходе сухого (скипового) кокса 386 кг/т чугуна. Это предполагалось при работе печи на шихте, состоящей из дробленого и отсеянного от мелочи (фракция 0–5 мм не более 4%) агломерата НКГОКа основностью 1,81 ед. в количестве 60% и окатышей СевГОКа с основностью 0,35 ед. – 40%. Выход шлака при проектном содержании железа в шихте был предусмотрен 395 кг/т чугуна. На печи предполагалось применять комбинированное дутье с температурой 1400 °С и концентрацией кислорода 35%. Предусмотрена работа в режиме высокого давления газа в рабочем пространстве печи с давлением на колошнике 2,5 атм [7].

На основании принятых в технологическом задании на строительство ДП–9 условий плавки выполнены расчеты показателей ее работы (табл. 1) при использовании богатого агломерата с содержанием железа 56–57% и окатышей с содержанием железа 60–62% и основностью 0,35–0,62. Эти

показатели достаточно близки к показателям работы печи в существующих условиях (табл. 1).

Данные табл.1 позволяют количественно сравнить проектные, материальные и тепловые параметры плавки с текущими показателями работы печи на многокомпонентной шихте. По проекту печь должна была проплавливать агломерат (60%) и окатыши (40%) суммарным расходом 1689,9 кг/т чугуна. При этом в печь вносится 946,47 кг железа на 1 т чугуна, что соответствует содержанию 56,0% железа в шихте. Проектное производство чугуна (11200 т/сут.) должно обеспечиваться при интенсивности плавки по руде, равной $11200 \times 1,6899 / 24 = 778,29$ т железосодержащих материалов в час. Интенсивность по коксу должна составлять при этом $11200 \times 0,3836 / 24 = 179,02$ т/час. Средняя рудная нагрузка должна быть равна $1689,9 : 383,62 = 4,41$ ед.

Таблица 1 – Проектные и текущие расчетные показатели плавки

№ п.п.	Показатели		Размерность	Варианты		
				Проектный	Текущий	
1	Производство		т/сут.	11200	9871,7	
2	Расход материалов	Кокс	кг/т чугуна	383,62	423,70	
		Агломерат	«	1013,53	1325,3	
		Окатыши	«	675,69	289,24	
		Шлак обогащенный	«	–	66,30	
		Скрап	«	–	56,30	
		Сырой флюс	«	–	36,17	
3	Дутье	Расход	нм ³ /т чугуна	920,90	1098,6	
		Кислород	%	35,0	30,7	
		Природный газ	нм ³ /т чугуна	158,76	93,53	
		Влага	%	1,0	3,03	
		Температура	°C	1400	1096	
	Теоретическая темпер. у фурм		°C	2075	2125	
4	Тепло	потери тепла	Z	ккал/кг	90,36	96,92
		теплосодержание колошникового газа	W	«	66,74	56,98
		расход тепла на 1 кг чугуна		«	2320,44	2265,51

В настоящее время (текущий) печь проплавляет многокомпонентную шихту (табл.1) с общим расходом рудных 1681,0 кг/т чугуна, которая вносит в печь железа 944,52 кг/т чугуна, что соответствует концентрации железа в

шихте 56,18%, практически не отличается от проектных условий. Характерной особенностью шихты текущего состава является присутствие в ней шлака и скрапа доменного, содержащих заметное количество металлического железа (61,1 кг Fe_{мет.} на 1 т чугуна), что обеспечивает экономию 24,9 кг/т кокса. Текущее производство печи составляет 9871,7 т/сут. (88,1% от проектного) при интенсивности плавки по руде 691,43 т/час и 174,28 т/час по коксу. Рудная нагрузка на кокс составляет 3,967 ед. В печь подается 56,1 кг/т антрацита. С его учетом интенсивность плавки по твердому топливу составляет 197,35 т/час, а рудная нагрузка 1681 : 479,8 = 3,5. Заметное различие в текущих показателях плавки в сравнении с проектными при практически равном содержании железа в шихте обусловлено, в первую очередь, различием физических характеристик шихты [8].

Разница в величине порозности проектной и современной шихты ~7,5%. Проектная шихта существенно более газопроницаема, порозность её заметно выше, а с учетом более высокой её однородности по составляющим компонентам можно при меньшем количестве дутья, при высоком качестве образующегося горнового газа и меньшей скорости его движения в столбе шихты, обеспечить активное развитие восстановительного процесса и высокую степень использования газа. При текущем состоянии плавки вследствие большей неоднородности шихты, ввиду её многокомпонентности, и заметно меньшей её газопроницаемости требуется большее раскрытие осевой и периферийной отдушин, что требует увеличения расхода дутья и, следовательно, горнового газа, стимулирующих рациональную скорость схода шихты, но при меньшей степени использования тепловой и химической энергии газа.

Следует подчеркнуть, что проектными условиями предусмотрена предельная температура дутья (1400⁰С) при концентрации кислорода 35% и расходе природного газа 150–160 нм³/т час, что должно было обеспечить нормальное стабильное состояние низа печи, в частности, горна вследствие постоянства теоретической температуры газа у фурм на оптимальном, по современным представлениям, уровне равном 2075⁰С. Текущие условия плавки при расходе природного газа не более 100 нм³/т час и нагреве дутья 1000–1100⁰С обеспечивают достаточную интенсивность плавки и объем производства за счет роста концентрации кислорода в дутье до 30–32%. Это требует регулирования нагрева горна путем подачи 3% и более расхода пара при неизбежном увеличении теоретической температуры у фурм до 2100–2150⁰С. Необходимость работы печи при высокой T_ф обусловлена, вероятно, использованием в шихте 60–80 кг антрацита/т чугуна, условия эффективного использования которого в доменной шихте еще недостаточно изучены [7,8].

Сравнение проектных и текущих показателей плавки (табл.1) показывает заметное различие в величинах расхода углерода на процесс и сгорающего у фурм углерода кокса и, следовательно, величин степени прямого восстановления (0,2864 против 0,3686 ед.), вызванное значительным различием в расходах природного газа и нагрева дутья. Вследствие того

выход высокоактивного горнового газа на 1 кг C_{ϕ} в проектной плавке составляет 6,6882 нм^3 , а в текущей – 5,3929 нм^3 , в то время как на тонну чугуна количество его в первом случае 1373,7 нм^3 , а в текущей плавке возрастает до 1477,11 нм^3 . Это приводит к тому, что степень использования газа в печи в текущей плавке на многокомпонентной шихте получается заметно меньшей. Одной из причин механизма этого является разница в порозности проектной и текущей многокомпонентной шихты, приводящей к заметному различию в скоростях газа в столбе шихты и, следовательно, к различию в использовании его энергии. Следует при этом подчеркнуть, что из-за различия в технологических условиях, при многокомпонентной шихте сложнее реализовать рациональное, более эффективное распределение материалов в печи, чем при проектных условиях [8].

Численные значения показателей теплового баланса обеих плавков (табл. 1) свидетельствуют о меньшем расходе тепла на выплавку 1 кг чугуна при использовании многокомпонентной шихты (2265,51 ккал) против проектной плавки (2320,41 ккал). Это обусловлено в текущей плавке: меньшими затратами тепла на диссоциацию оксидов ввиду меньшей окисленности всей шихты и наличия большего количества в ней металлического железа; лучшими условиями (меньшей теплоты) шлакообразования; меньшим теплосодержанием отходящего колошникового газа, обусловленным низкой температурой и меньшей его теплоемкостью. Обращают на себя внимание заметные расходы тепла при текущей плавке на разложение карбонатов (известняк 23,17 ккал) и испарение влаги (вероятно, за счет развития реакции водяного газа – 9,4 ккал ввиду подачи в печь большого количества пара). Этих расходов тепла, вероятно, можно было бы избежать.

Проектные показатели и параметры плавки доменной печи № 9 прогрессивны, реальны (исключая температуру дутья 1400°C), они могут обеспечивать высокий уровень современной технологии доменной плавки. Опыт работы ДП–9 показывает, что при выполнении технологических и шихтовых условий, предусмотренных в проекте, после усовершенствований системы загрузки, контроля и управления возможно превышение проектной производительности печи, а освоение современных приемов управления распределением шихты и прогрессивных параметров комбинированного дутья может обеспечить уменьшение расхода кокса ниже запланированного уровня.

В таблице 2 представлены показатели работы доменной печи № 9. Условием увеличения производительности печи является: получение агломерата с проектным содержанием Fe, высокой горячей прочностью и низким содержанием кремнезема; получение богатых (SiO_2 до 3,5%) неофлюсованных окатышей с управляемой за счет магнезии долей и свойствами вязкотного расплава; применение кокса с горячей прочностью 60%; использование в печи углеродсодержащих добавок рационального состава и свойств, в том числе ПГ, ПУТ, антрацита и др. В сложившихся в настоящее время условиях плавки наиболее эффективным способом совершенствования технологии плавки является разработка новых методов реали-

зации рационального распределения шихтовых материалов с использованием современных средств автоматизированного контроля распределения шихты и газов в печи.

Табл. 2 – Показатели работы печи № 9 в среднем за год

Показатели		Проект	1976	1978	1981	1990	2005	2006
Выплавка чугуна, млн.т		4,0	3,28	3,25	3,35	3,445	2,614	3,254
Среднесуточное производство, т		11200	9164	9804	9293	9503	7468	8855
Дутьевой режим	расход дутья, м ³ /мин.	7120	7978	7959	7460	7645	6788	7947
	давление, ати		3,91	3,85	3,87	3,78	3,22	3,63
	температура, °С	1400	1271	1131	1123	1075	1102	1028
	содержание O ₂ , %	35,0	26,9	29,9	29,1	29,9	25,8	28,3
Расход природного газа, м ³ /т		157,0	101,0	108,7	114,0	116	88,3	64,4
Расход кокса, кг/т		386	477	471	471	473	427,4	462,2
Давление газа под колошником, ати		2,50	2,29	2,05	2,12	1,82	1,28	1,72
Интенсивность плавки	по руде, т/м ³ сутки		3,302	3,634	3,380	3,310	2,633	3,097
	по коксу, т/м ³ сутки		0,875	0,922	0,874	0,899	0,638	0,819
Рудная нагрузка, т/т кокса			3,75	3,90	3,86	3,66	3,73	3,40
Содержание железа в шихте, Fe, %		54,41	53,59	54,11	54,45	54,48	55,13	55,35
Состав чугуна	Si	0,70	0,80	0,90	0,88	0,87	0,80	0,87
	Mn		0,90	0,92	0,69	0,66	0,37	0,30
	S		0,041	0,041	0,040	0,021	0,023	0,022
Выход шлака, кг/т		395	399	390	444	404	418	423
Количество замененных фурм, г.ч. сгор.			360	435	298	428	137	175
Простои, % ед.		0,5	2,7	2,79	3,16	1,90	4,84	4,09
Тихий ход, %			Н.д	0,73	0,67	0,30	13,77	31,62
Содержание СО в колошниковом газе, %		23,0	19,4	20,5	21,5	19,9	Н.д.	Н.д.
Освоение проектной мощности, %		100,0	82,0	81,3	33,8	84,3	65,4	81,35

Работа доменных печей «Криворожстали» постоянно сопровождается учеными ИЧМ. Здесь проводятся исследования, разрабатываются новые технологии, создаются, осваиваются и совершенствуются новые машины

и системы автоматизированного контроля и управления [5]. Благодаря многолетнему творческому сотрудничеству доменщиков «Криворожстали» и ИЧМ доменное производство на комбинате развивается и совершенствуется, растет уровень квалификации персонала, сотрудники Института всегда получают поддержку и помощь в проведении исследований, разработке и внедрении новых технологий и способов управления процессом доменной плавки. Надеемся, что сотрудничество комбината «АрселорМиттал Кривой Рог» и Института черной металлургии НАН Украины будет развиваться и приносить успехи в повышении эффективности производства.

1. *Некрасов З.И.* Освоение работы доменной печи объемом 5000 м³ завода «Криворожсталь» и пути достижения её проектной мощности. Доклад на НТС МЧМ СССР, 1975. – 30 с.
2. *Большаков В.И.* Теория и практика загрузки доменных печей. М.: Металлургия, 1990. – 256 с.
3. *Освоение* на доменной печи объемом 2000 м³ первого отечественного бесконечного загрузочного устройства и технологии плавки с его использованием / В.Д.Гладуш, И.И.Дышлевич, В.И.Большаков, В.Л.Покрышкин и др. // *Сталь*, 1985, № 11. – С. 7–13.
4. *Доменное* производство «Криворожстали». Монография под ред. чл.-корр. В.И.Большакова. ИЧМ–Криворожсталь. Дн–ск. 2004. – 378 с.
5. *Большаков В.И., Шеремет В.А.* Развитие доменного производства «Криворожстали» // *Сталь*, 2004, № 6. – С. 14–17.
6. *В.И.Большаков, В.А.Шеремет, В.С.Листопадов.* Совершенствование оборудования и технологии на сверхмощной доменной печи // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2006, № 6. – С.85–89.
7. *Сравнительная* оценка проектных и существующих показателей доменной печи № 9 объемом 5000 м³ / В.И.Большаков, Н.А.Гладков, И.Г.Муравьева, В.С.Листопадов // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2007, № 5.– С. 10–15.
8. *Взаимосвязи* показателей плавки в условиях применения многокомпонентной шихты / В.И.Большаков, Н.А.Гладков, Н.Г.Иванча и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Сб. тр. ИЧМ. Вып. 13. 2006. – С. 15–26.

Сведения об авторах:

Большаков Ваим Иванович, член-корреспондент НАН Украины, докт.техн.наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники, директор Института черной металлургии НАН Украины

Муравьева Ирина Геннадиевна, канд.техн.наук, ученый секретарь Института черной металлургии НАН Украины

Шеремет Владимир Александрович, канд.техн.наук, глава администрации по производству, ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», Украина

Листопадов Владислав Станиславович, канд.техн.наук, начальник доменного цеха №2 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», Украина