

В.И.Большаков, Н.М.Можаренко, И.Г.Муравьева, Г.Н.Голубых

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫДУВКИ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ОСТАНОВКЕ НА КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ

Целью исследования является разработка технологических параметров работы доменных печей, обеспечивающих их безаварийную выдувку при постановке на капитальный ремонт. Показано, что выдувка печи должна быть тщательно подготовлена в соответствии с требованиями разработанной технологической инструкции. Рекомендовано соблюдение разработанных параметров работы доменных печей при выдувке на всех доменных печах Украины, что обеспечит промышленную безопасность и продление срока службы печей.

доменная печь, капитальный ремонт, выдувка, срок службы, промышленная безопасность

Целью настоящего исследования является разработка технологических параметров работы доменных печей, обеспечивающих их безаварийную выдувку при постановке на капитальный ремонт.

Современное состояние вопроса. Остановка доменных печей (ДП) на капитальные ремонты I, II и III разрядов определяется их эксплуатационным состоянием. По данным статистики основной причиной остановок ДП на капитальные ремонты I и II разрядов является износ футеровки горна, лещади, заплечиков, распара, шахты и колошника [1]. Для проведения капитальных ремонтов I и II разрядов необходима выдувка ДП, при которой рабочее пространство печи освобождается от шихтовых материалов путем их проплавки, газификации и последующего дожигания оставшегося кокса при подаче воздуха через фурмы, без загрузки новых порций шихты для корректировки температурно-теплого уровня в освобожденном рабочем пространстве печи. Все работы по остановкам ДП с частичной или полной их выдувкой согласуются с правилами безопасности. Разрешение на начало опускания уровня засыпи для выполнения капитального ремонта дается только при условии технологически достаточного теплового состояния печи, ровного, устойчивого ее хода, соблюдении установленного на этот период графика отработки продуктов плавки и физическом нагреве чугуна до 1450–1500⁰С. Режимы дутья и загрузки шихтовых материалов должны обеспечивать постепенное опускание шихты, а температура газов на колошнике не должна превышать 500⁰С [2].

В зависимости от состояния печи, за несколько суток до остановки открываются все закрытые воздушные фурмы, и проводится промывка горна. Обычно для промывки горна используют агрессивные компоненты, такие как конвертерный шлак, мартеновский шлак, шлак ферросплавного производства, сварочный шлак и др. Промывка горна с использованием этих материалов перед выдувкой печи выполняется в течение 3–5 суток. Как правило, это обеспечивает выполнение поставленной задачи. Однако,

наличие в этих материалах трудновосстановимых соединений, в которые входит FeO, приводит к значительной потере длины леток. На ДП–5 «Северстали» (выдувка в 2006 г.) при промывке горна длина леток сократилась на 30–40%, что граничило с аварийными ситуациями и потребовало выполнения специальных мер по их ликвидации [3].

Выдувка ДП, и особенно печей большого объема (3000–5500 м³), должна быть тщательно подготовлена и требует от эксплуатационного персонала определенных производственных навыков. Перед началом выдувки все охлаждающие приборы печи должны быть проверены. При обнаружении течи в холодильниках, их отключают, поврежденные воздушные фурмы заменяют. Проверяют поступление пара в пылеуловители, газопровод грязного газа, скруббер, работу атмосферных клапанов печи и пылеуловителей, исправность отсечного клапана. Устраняют обнаруженные неисправности в контрольно–измерительных приборах. Для подачи воды в печь через колошник к каждому газоотводу подводят водопроводные трубки, проверяют работу насоса для подачи воды на колошник. До начала выдувки из шихты выводят металлодобавку, увеличивают расход кокса (из расчета 0,9–1,0 т на 1 т чугуна) и снижают основность шлака до 1,0–1,15. Во время выдувки печи через каждый час контролируют состав колошникового газа (содержание водорода должно быть не выше 12%, а кислорода – не выше 1%). Началом выдувки считается прекращение зазвучки печи [3].

Существуют разные подходы у практиков–доменщиков и работников научных учреждений к использованию кислорода для обогащения дутья и вдуванию в печь природного газа при выдувках доменных печей. Так, типовая технологическая инструкция Минчермета СССР от 1990 г. определяет, что подача кислорода и углеводородных добавок в печь прекращается перед снижением давления газов на колошнике. В то же время, практика выдувки доменных печей большого объема ДП–6 (3200 м³) НЛМК, ДП–9 (5000 м³) «Криворожстали» и ДП–5 (5500 м³) «Северстали» показала, что сохранение обогащения дутья кислородом при прекращении подачи природного газа позволяет повысить реакционный уровень кокса при температуре на фурмах 2150–2300⁰С, что исключает вероятность проникновения кислорода через слой кокса, когда уровень поверхности засыпи достигает заплечиков.

Основные операции и последовательность их выполнения при выдувке ДП следующие [2,3]:

перед началом выдувки в печь загружают 10–15 холостых подач кокса;

печь переводят на нормальное давление, уменьшают на 10–12% количество дутья и прекращают ввод в дутье природного газа; расход кислорода на обогащение дутья оставляют таким, чтобы теоретическая температура горения находилась в пределах 2150–2300⁰С;

из пылеуловителя выпускают пыль, а перед отключением печи от об-

шего газопровода его полностью очищают от пыли;

при повышении температуры газов на колошнике до 400–450⁰С включают подачу воды в печь;

при достижении поверхностью засыпи уровня распара открывают атмосферные клапаны печи и пылеуловителя, отделяют печь от газовой сети секторной задвижкой, выключают подачу воды в скруббер, включают подачу пара под колошник, в пылеуловитель, газопровод и скруббер;

температуру колошника регулируют количеством подаваемой воды, так чтобы она не превышала 500⁰С и не снижалась ниже 250⁰С;

количество дутья постепенно уменьшают по мере опускания столба шихты, так чтобы к концу выдувки уровень кокса достиг уровня середины заплечиков, а избыточное давление дутья не превышало 0,25–0,3 ати;

контролируют уровень засыпи шихты с помощью зондовых и радиолокационных уровнемеров; на последних выдувках ДП–9 «Криворожстали» контроль уровня поверхности засыпи осуществлялся с помощью радиолокационных уровнемеров;

последний выпуск чугуна и шлака через чугунную летку производят при подходе уровня шихты к зоне распара;

прекращают подачу газа в воздухонагреватели, перекрывают газопровод чистого газа, пропаривают его и тщательно вентилируют;

производят выпуск «козлового» чугуна через заранее подготовленную «козловую» летку;

производят другие операции согласно инструкции по остановке печи.

Постановка задачи. До 80–х годов прошлого столетия выдувка ДП на капитальный ремонт II разряда осуществлялась в соответствии с типовой технологической инструкцией без выпуска «козлового» чугуна. Как показала практика, такой метод остановки печи сопровождался при ее последующей задувке разрывом брони кожуха печи в нижней части горна и верхней лещади, что обусловливается свойством чугуна расширяться при последующем его нагреве (случай с ДП–1 Донецкого металлургического завода в 1996г., ДП–3 завода им. Петровского в 2002г., ДП–5 «Запорожстали» в 2007г.). В настоящее время выдувка ДП на капитальный ремонт II разряда выполняется с выпуском «козлового» чугуна и последующей заливкой доменной печи водой. Расход воды на заливку печи после выпуска «козлового» чугуна определяется в количестве 1–2 проектных объема горна в течение 3–5 часов.

Изложение основных материалов исследования.

Выдувка имеет свои особенности в зависимости от вида предстоящего ремонта, конструкции коммуникаций газового хозяйства, места расположения вспомогательных сооружений и ряда других условий. Поэтому в каждом отдельном случае печь выдувают по специальной инструкции, составленной начальником доменного цеха и утвержденной главным инженером предприятия. Выдувка печи сопровождается опасностью образования взрывоопасной смеси газа и воздуха в освобождающемся рабочем

объеме. В период выдувки возникают большие и резкие колебания давления газов в печи. Особенно опасное положение возникает в газовой системе при подвисаниях, осадках и обрывах шихты. Для непрерывного контроля положения опускающейся поверхности шихты, прогноза подвисаний и обрывов шихты, корректировки дутьевых параметров и режима загрузки рекомендуется применение радиолокационных измерителей дальности [4]. Другим опасным фактором, сопровождающим выдувку, является подача воды в печь для охлаждения газов. Если вода вводится в печь только сосредоточенными струями, то масса шихты, охлаждаясь, затвердевает и создает условия сводообразования с последующим развитием обрывов шихты и толчков в газовой системе [5].

Анализ практики выдувки ДП показал, что струйная заливка печи на выдувке недостаточно эффективна. Более эффективен комбинированный способ, при котором часть воды подается струйным методом, а часть в распыленном состоянии за счет установления специальных форсунок или в виде водоазотной эмульсии инъекционным методом. В этом случае происходит охлаждение не только локальных участков поверхности шихты, но и охлаждение газового потока в объеме рабочего пространства печи. Промышленное опробование этого способа на ДП «Северстали» подтвердило ожидаемую эффективность. Кроме того, подача азота в печь снижает теплотворную способность колошниковога газа, что уменьшает его взрывоопасность.

В случае, если применяемый для заливки печи объем воды недостаточен для снижения температуры газов на колошнике ниже 500°C , необходимо уменьшить расход дутья, а при необходимости и его температуру. При этом ведется постоянный контроль состава колошниковога газа, главным образом, на содержание O_2 и H_2 . Установлено, что допустимые концентрации их равны соответственно 2% и 10%. В отдельных случаях при выдувке содержание водорода в колошниковом газе доходило до 18%. В то же время содержание кислорода в нем не превышало 0,3–0,7%. В этих случаях форсировка выдувки не снижалась. Такие ситуации были отмечены при выдувке ДП–9 «Криворожстали» объемом 5000 м^3 , ДП–3 объемом 2000 м^3 и ДП–5 объемом 5500 м^3 «Северстали».

Основные причины аварийных ситуаций при выдувках доменных печей следующие [6, 7]:

- неправильное ведение выдувки, т.е. отсутствие технологической согласованности между количеством дутья, его давлением и интенсивностью охлаждения газа в рабочем пространстве печи над уровнем засыпи;

- недостаточное количество и давление пара в пылеуловителе для нейтрализации взрывоопасной смеси;

- недопустимое ведение печи с обрывами на ходу и осадками;

- недостаточный уровень выдувки шихты и ее заливки для охлаждения горна печи;

- нарушение правил по надзору за состоянием системы охлаждения и

предупреждения попадания воды в печь; прогар фурменных приборов;
образование взрывоопасной смеси газа с воздухом;
отсутствие на ДП надежных средств, позволяющих контролировать по всей высоте шахты печи положение и скорость опускания шихты.

Сочетание дутьевого режима с контролем уровня шихты в печи, измеряемом на всем протяжении выдувки, необходимо для ее безопасного ведения. Наиболее опасными являются режимы, когда при выдувке печи на капитальный ремонт I разряда нарушается баланс между весом столба шихты и напором дутья. Установленные на ДП традиционные средства контроля уровня засыпи – механические зонды, позволяют контролировать положение опускающейся поверхности шихты до уровня 4–5 м. При этом текущий контроль этого параметра, прогноз подвисаний и обрывов шихты, а также корректировка дутьевых, тепловых параметров и режима загрузки невозможны. Для непрерывного контроля ровности схода шихты при выдувке ДП–9 «Криворожстали» в 2003 г. по рекомендации Института черной металлургии НАН Украины (ИЧМ) впервые в отечественной практике применен радиолокационный измеритель дальности, установленный на куполе печи и обеспечивший измерение скорости схода шихты на глубину более 30 м. Это позволило в сочетании с технологическими приемами обеспечить безопасность выдувки печи перед капитальным ремонтом [4, 8].

Анализ результатов выдувки ДП «Северстали» позволил установить еще один достаточно эффективный метод определения характера схода шихтовых материалов, основанный на получении непрерывной информации о составе газа. По характеру кривых CO_2 , CO и H_2 можно достаточно точно определить как опускается шихта – ровно или с подстоями, а при достижении уровня засыпи 1,0–1,5 м над уровнем воздушных фурм происходит быстрое перераспределение содержания CO_2 и CO . Содержание CO уменьшается практически до 1,0–1,5%, а CO_2 увеличивается до уровня горнового газа. Это однозначно свидетельствует об окончании процесса выдувки печи и обеспечивает ее безаварийное ведение.

Технологические параметры работы доменной печи при выдувке и их контроль. С началом загрузки кокса начинается снижение уровня засыпи. На момент окончания загрузки кокса уровень засыпи должен находиться ниже уровня, фиксируемого электромеханическими уровнемерами (ниже 4,5 м). После прекращения загрузки железорудных материалов и в ходе загрузки кокса следует в течение 2–3 часов сохранять стабильные рабочие параметры печи. После этого необходимо постепенно снижать расход, давление дутья, давление газов на колошнике и прекратить подачу природного газа в печь. С понижением уровня засыпи и уменьшением высоты столба шихты (при наличии в лимитирующей зоне шахты печи коксовой «подушки» значительного объема) значения суммарных и частных перепадов давления газов по высоте печи уменьшаются. В дальнейшем уровень газодинамических параметров печи снижается в соответст-

вии с заданным темпом выдувки печи. Расход кислорода, в случае невозможности подачи в дутье азота, следует поддерживать таким, чтобы его массовое содержание в дутье обеспечивало теоретическую температуру горения 2150–2300⁰С. Управление уровнем температуры дутья при этом осуществляется степенью открытия шиберов холодного дутья на воздушнонагревателе, работающем в режиме «дутье». Переход очередного воздушнонагревателя на режим «дутье» выполняется только с разрешения руководителя выдувки печи.

По мере снижения уровня засыпи температура газов на колошнике будет постепенно увеличиваться. При достижении максимальной температуры 400–450⁰С необходимо подать воду в печь для охлаждения газа в освободившемся рабочем пространстве через форсунки, расположенные на куполе ДП и другие подготовленные и оборудованные отверстия.

В течение выдувки для оценки состояния газовой среды в рабочем пространстве печи необходимо обеспечить отбор проб газа и их анализ на газоанализаторе ВТИ–2. В первые 2–3 часа отбор и анализ газа осуществляется в режиме – одна проба в час. В дальнейшем отбор и анализ газа производится каждые 30 минут. При возникновении осложнений в процессе выдувки (значительном повышении температуры в освободившемся рабочем пространстве печи, увеличении содержания водорода) частоту отбора проб газа и их анализ необходимо увеличить до трех отборов в час. Максимальное содержание водорода и кислорода в отходящем газе не должно превышать 12,0% и 1,0%, соответственно [3].

При значительном количестве воды, подаваемой в печь струйным способом, и проникновении ее на горизонты с высокими температурами, где развивается процесс диссоциации воды на водород и кислород, может произойти неконтролируемое увеличение содержания водорода до 14–17%. Содержание кислорода при обеспечении ровного схода материалов в таких условиях не должно превышать 0,3–0,5%. Такое ограничение концентрации кислорода в составе колошникового газа предотвращает образование взрывоопасной газо–воздушной смеси и позволяет осуществлять дальнейшую выдувку печи. Однако, в этой ситуации необходимо принять меры по немедленному уменьшению содержания водорода путем снижения интенсивности хода печи и уменьшения расхода воды на полив столба шихты.

В процессе выдувки печи контроль положения уровня засыпи, осуществляемый при помощи радиолокационных уровнемеров, целесообразно сопоставлять с результатами расчетного определения уровня по проплавленному объему материалов и объему сгоревшего кокса [4, 8]. Темп снижения уровня газо–дутьевых параметров печи в процессе выдувки должен быть таким, чтобы обеспечить ровный сход столба шихтовых материалов [9]. В случае проявления признаков «подстоя» шихтовых материалов и возможного последующего их подвисания технологическим персоналом в течение 15 минут должны быть приняты меры для предотвра-

шения развития (ликвидации) подвисяния шихты путем снижения расхода и температуры дутья печи. Категорически недопустимо создание условий для неконтролируемых обрывов шихты с развитием локальных взрывных хлопков.

Особенности процесса выдувки с обогащением дутья азотом. Для стабилизации теплового и газодинамического состояния, при условии обеспечения ровного, устойчивого хода печи за 1–3 суток до ее выдувки, целесообразно применение азота для обогащения дутья. Обогащение дутья азотом осуществляется подачей его в тракт холодного дутья после клапана «Снорт». Для снижения концентрации кислорода в дутье до 18–19% при его расходе 5000–8000 м³/мин необходимо подавать в него азот в количестве 500–1000 м³/мин. Снижение концентрации кислорода на 1%, при прочих равных условиях, обуславливает снижение теоретической температуры горения на 60⁰С.

Безаварийная выдувка ДП–9 «АрселорМиттал Кривой Рог» в 2008 г. Выдувка ДП–9 на непродолжительную консервацию осуществлялась в соответствии с разработанной ИЧМ программой [8, 9]. Предложенный технологический режим комплексной промывки доменной печи от неплавких масс и «коксового мусора» путем загрузки железорудных порций с железной и марганцевой рудой в хвостовую часть порции в количестве 5,0 т в подачу и повышения содержания MgO в шихте обеспечил интенсивную промывку металлоприемника и стабилизировал работу всех чугунных леток к моменту выдувки печи.

Рекомендованный ввод азота в состав дутья способствовал уменьшению температуры колошникового газа в среднем на 25⁰С и позволил снизить расход воды, подаваемой в печь, на 10%. Следует отметить, что в полной мере потенциал этой технологии не был реализован, т.к., по техническим причинам при выдувке ДП–9 в печь было подано 170 м³/мин азота вместо требуемых 600–1000 м³/мин.

Правильный выбор места и направления сверления «козловой» летки с учетом данных системы автоматизированного контроля разгара футеровки горна обеспечил достаточно полный выход «козлового» чугуна в количестве ~735 т.

Непрерывный контроль уровня засыпи при помощи радиолокационных измерителей показал, что в процессе выдувки ДП–9 в 2008 г. сход шихтовых материалов осуществлялся достаточно ровно без «подстоев» и обрывов материала на ходу. Во время выдувки этой печи в 2003 г. непрерывный контроль опускания поверхности шихты радиолокационным измерителем дальности позволил своевременно обнаружить начало «подстоя» шихты и принять меры для устранения аварийной ситуации (рисунк).

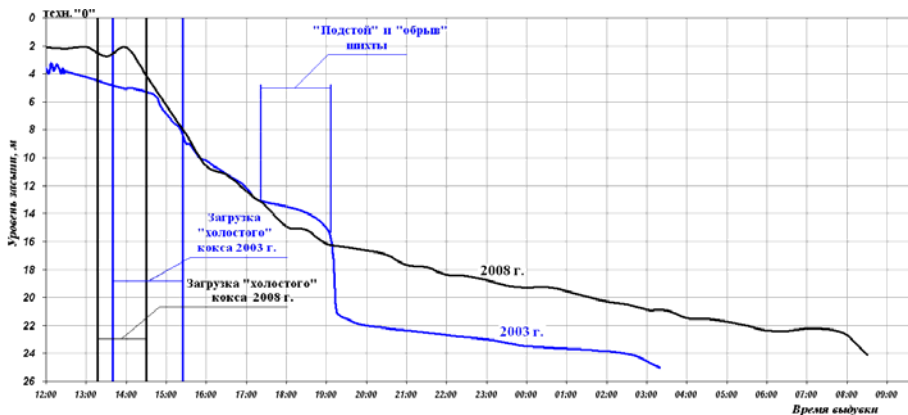


Рисунок. Графики изменения уровня поверхности шихты при выдувках ДП-9 «Криворожстали» в 2003 и 2008 годах.

Выводы.

1. Технология выдувки доменных печей постоянно совершенствуется. При выдувке необходимо обеспечить достаточный прогрев шихты и расплавов, для чего целесообразно обогащение дутья кислородом при прекращении подачи в печь природного газа; выполнить промывку печи для удаления гарнисажа и настывлей.

2. Для обеспечения эффективной и безаварийной выдувки Институтом черной металлургии разработан регламент подготовительных операций и технологический регламент выдувки доменных печей различного объема.

3. При выдувке ДП на капитальный ремонт II разряда рекомендуется производить возможно полный выпуск «козлового» чугуна из печи для предотвращения разрушения горна, возникающего при последующем нагреве «козлового» чугуна вследствие его расширения.

4. Подачу воды для охлаждения печи рекомендуется осуществлять не струями, а душированием. Для обеспечения безопасной и эффективной выдувки для охлаждения печи рекомендуется использование водоазотной эмульсии.

5. Для предотвращения возможных взрывов газов в рабочем пространстве печи, возникающих при подстоях и обрывах шихты, эффективно применение радиолокационного контроля опускания поверхности засыпи.

6. Институтом черной металлургии разработана и опробована на ДП большого объема технология эффективной и безопасной выдувки на капитальные ремонты и на временную консервацию.

1. *Научно–технические* решения по обеспечению продолжительной безопасной работы доменных печей / В.И.Большаков, Н.Г.Иванча, А.С.Нестеров, Н.М.Можаренко и др. // Сб. науч. трудов по результатам программы НАН Украины «Ресурс», полученным в 2004–2006 гг. – Киев: Ин–т электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины. – 2006. – С.440–444.
2. *Промышленная* безопасность доменных печей при задувке и выдувке / В.И.Большаков, Г.Н.Голубых, Н.М.Можаренко, Л.Г.Тубольцев // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб.научн. тр ИЧМ. – 2007. – Вып.14. – С.290–309.
3. *Научно–технические* решения по обеспечению безопасной работы доменных печей в стационарных и переходных режимах / В.И.Большаков, Н.М.Можаренко, Л.Г.Тубольцев, Г.Н.Голубых // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб.научн. тр ИЧМ. – 2008. – Вып.17. – С.283–300.
4. *Доменное* производство «Криворожстали». Монография колл. авторов под редакцией чл.–корр. НАН Украины В.И. Большакова. ИЧМ НАН Украины, «Криворожсталь». Дн–ск, Кривой Рог. – 2004. – 378с.
5. *Вывод* доменной печи из эксплуатации / В.П.Русских, М.А.Аленгос, В.И.Левченко и др. // Металлург. – 2009. – №2. – С.37–39.
6. *Плискановский С.Т., Полтавец В.В.* Неполадки в работе доменных печей. – Днепропетровск: Пороги, 2002. – 301с.
7. *Жеребин Б.Н., Пареньков А.Е.* Неполадки и аварии в работе доменных печей. – Новокузнецк. – 2001. – 275с.
8. *Выдувка* доменной печи объемом 5000 м³ на капитальный ремонт I–го разряда / Н.М.Можаренко, С.Т.Шулико, И.Г.Муравьева и др. // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб.научн.тр ИЧМ. – 2004. – Вып.8. – С.130–139.
9. *Распределение* дутья по окружности доменной печи объемом 5000 м³ при ее работе и выдувке / В.И.Большаков, С.Т.Шулико, В.В.Лебедь и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – №2. – С.10–13.

*Статья рекомендована к печати:
заместитель ответственного редактора
раздела «Доменное производство»:
докт.техн.наук, проф. И.Г.Товаровский*

В.И.Большаков, М.М.Можаренко, И.Г.Муравьева, Г.М.Голубых

Технологічні особливості видування доменних печей при зупинці на капітальний ремонт

Метою дослідження є розробка технологічних параметрів роботи доменних печей, що забезпечують їх безаварійне видування при постановці на капітальний ремонт. Показано, що видування печі повинно бути ретельно підготовлене відповідно до вимог розробленої технологічної інструкції. Рекомендовано дотримання розроблених параметрів роботи на всіх доменних печах України, що забезпечить промислову безпеку та продовження терміну служби печей.