

РЕШЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

© Набоко Е.П.* , Жабалова Г.Г.♦

Карагандинский государственный индустриальный университет,
Республика Казахстан, г. Темиртау

В статье рассмотрена возможность модернизации системы охлаждения шахты доменной печи № 3 АО «АрселорМиттал Темиртау». Система охлаждения химочищенной водой в замкнутом контуре с принудительной циркуляцией увеличит срок эксплуатации холодильного оборудования, существенно сократит отложения на внутренних стенках трубок и улучшит условия обслуживания системы охлаждения.

Производство и потребление высококачественной металлопродукции в последние годы интенсивно увеличивается в связи с потребностями строительства, развитием транспортного машиностроения и других отраслей промышленности. Мировое производство стали в феврале 2010 года достигло 1395 млн. тонн, производство чугуна – 982 млн. тонн. Проявились некоторые проблемы и особенности развития металлургии:

1. В мировой прессе в конце прошлого века была организована мощная пропагандистская компания, суть которой состояла в том, что появление альтернативных бездоменных процессов получения чугуна и стали в скором времени полностью вытеснит доменное производство. В последние годы доказано, что расход энергоносителей в альтернативных процессах в 2-5 раз превышает их расход при использовании традиционной технологии. Многие из альтернативных технологий связаны с большим расходом природного газа. Сегодня по бездоменной технологии получают 4 % от общего количества стали, меньше, чем в конце прошлого века. По современному прогнозу даже через 20-30 лет 85 % металла будет производиться по традиционной технологии и только 10-15 % с помощью альтернативных технологий, которые целесообразно применять лишь в специфических условиях. Таким образом, они не могут составить конкуренции доменному производству.

2. В ряде публикаций по обобщению тенденций развития доменного производства в мире указывается, что «одной из наиболее ярких тенденций, проявившихся в производстве первичного металла за последние 15 лет, явилось развитие технологии выплавки чугуна в доменных печах малого объема и в вагранках» [1]. Авторы полагают, что эпоха «монстров» в черной металлургии подходит к концу, а будущее за малыми доменными печами. Определение этого явления как тенденции развития металлургии чугуна оши-

* Доцент кафедры «Строительство и теплоэнергетика», кандидат технических наук.

♦ Доцент кафедры «Строительство и теплоэнергетика», кандидат технических наук.

бочно. Скорее его можно определить как временную тенденцию организации мелкого металлургического предпринимательства в развивающихся странах. Перспектива строительства доменных печей большого объема обоснована меньшими удельными финансовыми и трудовыми затратами, уменьшением энергетических потерь и многими другими факторами. Эта стратегия развития, опробованная украинскими и российскими доменщиками, сегодня реализована в Японии и Европе, успешно реализуется в Китае. В Японии вместо 78 доменных печей построено 28 печей большого объема, средний объем печи увеличился с 1300-1400 м³ до 4000 м³.

До последнего времени реконструкция и модернизация доменных цехов осуществлялась по сложившимся десятилетиями традициям, которые основывались на принципах, что доменные печи должны работать только на выполнение плана, при этом все мероприятия по обеспечению работоспособности печей сводились к проведению капитальных ремонтов в кратчайшие сроки. Однако производство чугуна встречает на своем пути множество проблем, которые нуждаются в решении. Одна из них – физический износ металлоконструкций, трубопроводов, оборудования, снижение эффективности охлаждения доменной печи, что приводит к увеличению аварийных стоянок и планово-предупредительных ремонтов. Все это – следствия устаревшего способа охлаждения доменной печи технической водой, которая стремительно выводит из строя холодильное оборудование и системы трубопроводов, влечет за собой увеличение толщины и габаритов металлоконструкции и соответственно стоимости и трудозатрат на эксплуатацию. Накипь, даже при толщине слоя в 1 мм, значительно снижает передачу теплоты стенками холодильных плит, что ведет к снижению теплообменной способности и прогару холодильников. Кроме того, коррозия и накипь служат причиной образования вздутий и трещин в холодильных трубах, выпадает осадок, увеличивающий сопротивление в контуре, что приводит к износу регулирующей аппаратуры и насосов.

Доменная печь № 3 АО «АрселорМиттал Темиртау» объемом 2700 м³ построена по типовому проекту Гипромеца (г. Москва) и введена в эксплуатацию в 1971 году. В 2003 году был проведен капитальный ремонт I разряда с модернизацией доменной печи № 3 с увеличением объема печи с 2700 м³ до 3200 м³, увеличением числа воздушных фурм до 32 и чугунных леток до 4, выполненный по проекту ПКО «АрселорМиттал Темиртау». Последний капитальный ремонт III разряда проводился в июне 2009 года. С начала кампании (апрель 2003 года) по сентябрь 2009 года на доменной печи № 3 выплавлено 10,23 млн. тонн чугуна, что составляет 87 % от нормативного.

Схема водоснабжения и система охлаждения доменной печи №3 АО «АрселорМиттал Темиртау» следующая: от насосной станции вода с давлением 7,5 кг/см² подается к печи по двум водоводам диаметром 1,0 м, каждый из которых обеспечивает потребность в воде всей системы охлаждения

в полном объеме. На подводах воды к печи установлены фильтры для очистки воды от механических примесей. Фильтр имеет две параллельные камеры с металлическими сетками; камеры включаются в работу попеременно без сокращения потока воды. Показывающие и регистрирующие измерительные приборы фиксируют количество расходуемой воды и перепад давления на вводе воды в фильтр и выходе из него. При перепаде давления более $0,5 \text{ кг/см}^2$ предпринимаются срочные меры по очистке фильтра. Вода от фильтров подается по двум водоводам диаметром $0,72 \text{ м}$ на три кольца, расположенных на шахте печи: диаметром $0,426 \text{ м}$ на отметке $+22,0 \text{ м}$; диаметром $0,53 \text{ м}$ на отметке $+26,7 \text{ м}$; диаметром $0,426 \text{ м}$ на отметке $+28,4 \text{ м}$. Для охлаждения лещади и горна вода поступает по трубопроводам диаметром $0,273 \text{ м}$ от кольца диаметром $0,53 \text{ м}$ (отметка $+26,7 \text{ м}$) к двум коллекторам на отметке $+3,8 \text{ м}$ чугунной стороны и к двум коллекторам на отметке $+5,5 \text{ м}$ шлаковой стороны.

Для охлаждения фурменной зоны (воздушных фурм, фурменных холодильников, амбразур фланцев колен) вода поступает на 8 коллекторов:

- от кольца на отметке $+22 \text{ м}$ на 4 фурменных коллектора диаметром $0,219 \text{ м}$ (по 2 на чугунной и шлаковой стороне);
- от кольца на отметке $+26,7 \text{ м}$ на 2 фурменных коллектора диаметром $0,219 \text{ м}$ на чугунной стороне;
- от кольца на отметке $+26,7 \text{ м}$ на 2 фурменных коллектора диаметром $0,273 \text{ м}$ и $0,325 \text{ м}$ на шлаковой стороне.

Для охлаждения заплечиков, маратора, I, II и III ряда шахты установлены 8 коллекторов диаметром $0,159 \text{ м}$ на отметке $+19,3 \text{ м}$, 4 из них запитаны от кольца на отметке $+26,7 \text{ м}$ и 4 – от кольца на отметке $+28,4 \text{ м}$.

Для подачи воды к IV и V ряду холодильников шахты установлено 4 коллектора диаметром $0,159 \text{ м}$ на отметке $+22,9 \text{ м}$, запитанных от кольца на отметке $+28,4 \text{ м}$. Для подачи воды к VI и VII ряду холодильников шахты установлено 4 коллектора диаметром $0,159 \text{ м}$ на отметке $+26,3 \text{ м}$, запитанных от кольца на отметке $+28,4 \text{ м}$. Для подачи воды к VIII ряду холодильников шахты установлено 4 коллектора диаметром $0,089 \text{ м}$ на отметке $+29,2 \text{ м}$, запитанных от кольца на отметке $+28,4 \text{ м}$. Для подачи воды к IX и X ряду холодильников шахты установлено 4 коллектора диаметром $0,108 \text{ м}$ на отметке $+31,7 \text{ м}$, запитанных от кольца на отметке $+28,4 \text{ м}$.

Для охлаждения лещади установлено два ряда холодильников по 46 штук:

- низ лещади – одноконтурные, повязанные по 3 штуки горизонтально;
- верх лещади – двухконтурные, повязанные по 3 штуки горизонтально.

Для охлаждения горна установлено:

- низ горна – 44 двухконтурных холодильника, повязанные по 2 штуки;
- верх горна – 46 одноконтурных холодильников, повязанные по 2 штуки.

Для охлаждения фурменной зоны установлен 1 ряд (32 штуки) одноконтурных холодильников, повязанных по 2 штуки.

Для охлаждения заплечиков установлено 2 ряда одноконтурных холодильников, повязанных по 2 штуки: 1-й ряд – 41 штука, 2-й ряд – 41 штука.

Для охлаждения маратора установлен 1 ряд (44 штуки) холодильников с двумя змеевиками, повязанных по 4 штуки.

Для охлаждения шахты установлено:

- I ряд – 46 штук, одноконтурные, повязанные по 3 штуки;
- II ряд – 45 штук, одноконтурные, повязанные по 2 штуки;
- III ряд – 44 штуки, с «сапожками», повязанные по 2 штуки;
- IV ряд – 43 штуки, одноконтурные, повязанные по 2 штуки;
- V ряд – 42 штуки, с «сапожками», повязанные по 2 штуки;
- VI ряд – 41 штука, одноконтурные, повязанные по 3 штуки;
- VII ряд – 40 штук, с «сапожками», повязанные по 3 штуки;
- VIII ряд – 39 штук, одноконтурные, повязанные по 3 штуки;
- IX ряд – 38 штуки, с «сапожками», повязанные по 3 штуки;
- X ряд – 37 штук, с «сапожками», повязанные по 3 штуки.

Отработанная вода системы охлаждения отводится во внешние сети через сливные резервуары и сливные трубопроводы диаметром 0,53-1,020 м, проложенные под рабочей площадкой.

Состояние охлаждения заплечиков и низа шахты неудовлетворительное. Отключенные холодильники в заплечиках и на шахте по состоянию на 10 апреля 2011 года – более 60 холодильников шахты отключены, преимущественно заплечики и 1-4 ряды. На местах отключенных холодильников верхнего ряда заплечиков смонтированы накладные холодильники. Кожух шахты от 6-го ряда холодильников и ниже охлаждается наружным поливом. В местах сгоревших холодильников 2-го и 3-го рядов шахты установлено 63 врезных холодильника. Всего в наиболее напряженной зоне – верхний ряд заплечиков и два ряда шахты, отключено более 35 % холодильников. Так как существующая ситуация является неудовлетворительной, мы рассмотрели возможность установки замкнутого контура охлаждения с принудительной циркуляцией.

Основываясь на опыте работы доменной печи № 6 ОАО «НТМК», проект испарительного охлаждения заплечиков и шахты был выполнен УкрГНТЦ «Энергосталь» с естественной циркуляцией, можно сделать вывод, что скорость циркуляции в контурах недостаточна для надежного отвода тепла от заплечиков, особенно в начальный период работы печи. В распаре и шахте этой печи установлены два пояса медных холодильников общей высотой порядка 8 м, которые при нормальных условиях работы образуют гарнисаж и не способствуют циркуляции воды [2]. Особо следует отметить, что поставщик медных холодильных плит фирма «Paul Wurth» гарантирует стойкость своих медных холодильников только при условии обеспечения скорости

воды в трубках не менее 1,5 м/с, что недостижимо при испарительном охлаждении с естественной циркуляцией.

Ориентировочные расчеты показывают, что при скорости охлаждающей воды внутри холодильной плиты 0,5 м/с, эффективность охлаждения снижается в 2,5 раза. По данным доменной печи в Швельгерне, где, как и на доменной печи №6 ОАО «НТМК» охлаждение заплечиков выполнено из высокопрочного чугуна ВЧ45, а распар и шахта – из медных холодильников, расчетные и измеряемые тепловые потоки следующие:

- 1-й ряд заплечиков: расчетный 46254 Вт/м², измеренный 24000 Вт/м²;
- 2-й ряд заплечиков: расчетный 51200 Вт/м², измеренный 24000 Вт/м²;
- 1-й ряд шахты: расчетный тепловой поток 52340 Вт/м², медные плиты, измеренный тепловой поток 9954 Вт/м²;
- 2-й ряд шахты: расчетный 52340 Вт/м², медные плиты измеренный тепловой поток 9954 Вт/м²;
- 3-й ряд шахты: расчетный тепловой поток 52340 Вт/м², медные холодильники, измеренный 9954 Вт/м².

Очевидно, что при применении медных холодильников возникает изменение профиля тепловых потоков внутри печи. При этом возникает «холодная» зона в нижней части шахты, которая препятствует циркуляции в системе испарительного охлаждения, несмотря на высокие тепловые потоки в холодильниках заплечиков. Таким образом, система испарительного охлаждения не может быстро саморегулироваться, возникает перегрев и разрушение холодильных плит в заплечиках. Предпочтительной системой для охлаждения заплечиков и шахты является система испарительного охлаждения с принудительной циркуляцией. Эта система является привлекательной с точки зрения экономии энергии, потому что количество циркулирующей воды может регулироваться в зависимости от термической перегрузки и не требует затрат энергии на циркуляцию в системе. В настоящее время эта система нашла применение на многих доменных печах.

Отличительной чертой системы охлаждения химочищенной водой в замкнутом контуре является установка циркуляционных насосов и теплообменников типа вода/вода. Такая система охлаждения может работать как в режиме охлаждения холодной химочищенной водой, так и в резервном испарительном режиме. При этом имеются следующие преимущества:

1. гарантированная скорость воды во всех циркуляционных контурах (1,7-1,8 м/с);
2. постоянная работа на химочищенной воде и отсутствие отложений на стенках труб холодильных плит;
3. низкий расход химочищенной воды 2-3 м³/час и кратковременно до 10 м³/час при прогаре элемента охлаждения;
4. легкость обнаружения прогоревшего элемента и возможность контроля расходов воды как по охлаждаемым секторам доменной печи

(до и после холодильников), так и по каждому циркуляционному контуру при условии установки расходомеров на входе и на выходе из циркуляционного контура.

Многие практики-металлурги также говорят о преимуществах систем охлаждения с охлаждающим агентом – химочищенной или умягченной водой по сравнению с испарительным охлаждением:

- температура охлаждающего агента 35-45 °С, что позволяет более глубоко охладить внутреннюю поверхность холодильников для предотвращения рекристаллизации чугуна и их разрушения;
- более глубокое охлаждение внутренней поверхности холодильников является одним из факторов задержки гарнисажа, предохраняющего материал стенок печи и сами холодильники от разрушения. Быстрое сползание гарнисажа начинается при температуре свыше 650 °С;
- для технической воды, как охлаждающего агента, существует ограничение по температуре – 35-40 °С, при которой происходит быстрое выпадение солей временной жесткости. Соли жесткости образуют слой внутри змеевиков, а также подающих и сливных трубопроводов, что ведет к уменьшению количества отводимого тепла (коэффициент теплопроводности накипи λ равен 6 Вт/м·°С, что существенно меньше коэффициента теплопроводности чугуна 62,8 Вт/м·°С) и количества проходящей в них воды и, как следствие, к повышению температуры внутренних поверхностей холодильников со всеми вытекающими отсюда последствиями;
- температура химочищенной воды в аварийном режиме может достигать до 90 °С, при этом она как бы переходит в режим испарительного охлаждения без выпадения солей жесткости.

Не исключено, что внедрение систем охлаждения на химочищенной воде в замкнутом контуре потребуют дополнительных капитальных затрат, однако преимущества данной системы являются очевидными, при этом затраты на внедрение являются разовыми, а экономия будет постоянная на весь период эксплуатации.

Сегодня для максимального сохранения футеровки а, следовательно, и заданной конфигурации и объема рабочего пространства печи, а также для защиты кожуха от воздействия высоких температур доменная печь имеет систему охлаждения на высоту от фундамента до верхней части шахты. Для отвода тепла от охлаждаемых деталей (разного рода холодильников, установленных в кладке печи) используют два теплоносителя:

1. холодная техническая вода (проточное охлаждение) с теплоемкостью 4,2 кДж/(кг·°С). При самом высоком перепаде температуры охлаждающей воды на входе и выходе из холодильника в 10 °С для фурменной зоны и заплечиков отвод тепла составляет 42 кДж/кг воды.

Температура воды при этом повышается до 35-40 °С. Этот способ охлаждения является основным;

2. атмосферный воздух с теплоемкостью 1,3 кДж/(м³·°С) – для охлаждения лещади.

Охлаждаемые элементы-холодильники различаются и по конструкции и по месту установки. Горизонтальные холодильники в толстостенной кладке заплечиков и несменяемые (чугунные плитовые) в шахте печи располагаются сплошным кольцом. Разгар кладки, выход из строя одного из холодильников приводит к проникновению зоны высоких температур в глубь кладки и перегреву кожуха, вызывая необходимость наружного полива.

Холодильник представляет собой чугунную отливку с залитым в ее тело змеевиком в виде изогнутой бесшовной, цельнотянутой, толстостенной трубы диаметром не менее 40 мм. Материалом для тела холодильника служит чугун марок СЧ-15-32, СЧ-12-28, легированный хромом (до 0,6 %). Кривизна поверхности плитового холодильника принимается в полном соответствии с кривизной поверхности кожуха в месте его установки. Вертикальные плитовые холодильники крепятся к кожуху болтовыми соединениями, обеспечивающими их тепловое расширение. Зазоры между холодильниками забиваются чугунной замазкой, естественный зазор между кожухом и холодильными плитами заполняют жидким шамотноцементным раствором. Плитовые вертикальные холодильники конструктивно и по габаритам различаются в зависимости от объема печи и места установки.

Несколько холодильников одного ряда или соседних рядов соединяются в секции по 2-4 и более холодильников в зависимости от теплового напряжения данной зоны печи. Однако некоторые холодильники находятся на индивидуальном питании. К ним относятся все три холодильника каждого из фурменных приборов, расположенных в верхней части горна (фурменной зоне) для подвода в печь дутья; все четыре холодильника каждого из двух шлаковых приборов (леток), расположенных в средней части горна для выпуска «верхнего» шлака; оба плитовых вертикальных холодильника, прилегающих к каналу чугунных леток (леточные холодильники).

В зонах секционного соединения холодильников распара и шахты перепад температуры воды на входе в секцию и выходе из нее составляет 6-10 °С. На холодильниках с индивидуальным питанием температурный перепад не превышает 5 °С. Самый высокий температурный перепад (9-12 °С) наблюдается на холодильниках фурменной зоны и заплечиков.

Использование химочищенной воды в системе охлаждения доменной печи увеличит срок эксплуатации холодильного оборудования, существенно сократит отложения на внутренних стенках трубок и улучшит условия обслуживания системы охлаждения. Использование медных холодильников с более высоким коэффициентом теплопередачи улучшит образование гарнисажа на внутренней поверхности печи, что способствует защите холодильника от прогара.

По результатам расчетов расход воды на охлаждение ряда заплечиков, маратора и 1-4 рядов шахты составит 2382 м³/час. Для охлаждения такого количества химочищенной воды подобран пластинчатый теплообменный аппарат фирмы «Альфа Лаваль» марки MX25-MFGS в количестве 5 штук (3 рабочих и 2 резервных). Также был произведен гидравлический расчет схемы подачи химочищенной воды, на основании которого подобраны циркуляционные насосы фирмы «FLOWSERVE» производительностью 1070 м³/час и 1320 м³/час для первого и второго контура соответственно.

Использование замкнутого контура охлаждения уменьшит риск прогара холодильных элементов за счет качества охлаждаемого агента и увеличит срок кампании печи на 5-8 лет, снизит простои, количество ремонтов и тепловое загрязнение охлаждающей водой пруда-охладителя.

Модернизация системы охлаждения шахты доменной печи № 3 АО «АрселорМиттал Темиртау» даст полную автоматизацию и контроль состояния кожуха печи в наиболее напряженных участках и элементах охлаждения. Это, в свою очередь, повысит стойкость узлов и механизмов, и, как следствие, приведет к увеличению межремонтного периода работы оборудования. Капитальные вложения в модернизацию оборудования составили по расчетам 1,223 млрд.тг. Годовой экономический эффект от возможности безаварийной работы оборудования – 978 млн.тг.

Список литературы:

1. Большаков В.И. Перспективы развития доменного производства. – М., 2009.
2. Чепига М.А. Современное охлаждение доменных печей / УкрГНТЦ. – «Энергосталь», 2010.