

ЗАЙНУЛЛИН ЛИК АНВАРОВИЧ, ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР ОАО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ» (ОАО «ВНИИМТ»)

ЕПИШИН АРТЕМ ЮРЬЕВИЧ, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, СТАРШИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК ЛАБОРАТОРИИ ГРАНУЛЯЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ ОАО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ» (ОАО «ВНИИМТ»)

ФИЛАТОВ СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, УПРАВЛЯЮЩИЙ ДИРЕКТОР ПАО «НОВОЛИПЕЦКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ»

ОХЛАЖДЕНИЕ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ МЕДНЫМИ ХОЛОДИЛЬНИКАМИ

В статье представлены результаты расчетно-аналитического обследования технического состояния системы охлаждения доменной печи №7 «Россиянка» ПАО «НЛМК», г. Липецк (Россия).

Неотъемлемой частью конструкции доменной печи является система охлаждения, которая предохраняет кожух агрегата от воздействия высоких температур и при наличии огнеупорную кладку от разгара. В ходе работы доменной печи под воздействием различных факторов огнеупорная кладка может быть разрушена, и тогда система охлаждения должна обеспечить образование устойчивого гарнисажа. Как правило, для решения данной проблемы в настоящее время используют как чугунные, так и медные холодильники горизонтального или вертикального типа. Опыт эксплуатации показывает ряд недостатков чугунных холодильников по сравнению с медными, таких как низкая эффективность теплоотвода в водоохлаждаемых каналах из-за неплотностей между трубками и чугунным телом, низкая теплопроводность и др. Однако на практике в процессе работы доменной печи №7 «Россиянка», принадлежащей ПАО «НЛМК», г. Липецк (Россия) возникли проблемы со стойкостью медных холодильников. В результате чего перед специалистами ОАО «ВНИИМТ», г. Екатеринбург (Россия) в 2016 году была поставлена задача провести расчетно-аналитическое обследование технического состояния медных холодильных плит системы охлаждения доменной печи №7 «Россиянка».

Система охлаждения ДП «Россиянка» включает в себя 15 рядов холодильников, выполненных из меди марки М1Р: холодильники горна (три ряда) и фурменной зоны (один ряд), зоны заплечиков (два ряда) и шахты (9 рядов) печи. Холодильники зоны заплечиков и нижней части шахты (5-9 ряды), выполнены из меди, ввиду наиболее высоких тепловых нагрузок в данной зоне печи.

Печь пущена 30.08.2011 г.

- через 6 месяцев обнаружено практическое отсутствие керамической и бетонной защиты медных холодильников.

- 07.08.2015 г – обнаружен первый пропавший контур в 6 ряду (через 4 года эксплуатации).

- 18.04.2016 г – на момент остановки печи для замены холодильников – общее количество поврежденных контуров – 29 из 192 (15 %).

- частота выхода из строя холодильников 6-го ряда с 7.08.2015 до 18.04.2016 – 1 контур за 8 дней.

-18.04.2016 – печь остановлена с выдувкой шихты до уровня верха заплечиков для замены десяти холодильников с поврежденными контурами охлаждения на ремонтные.

- 24.08.2016 – вышли из строя 25 холодильников 6 ряда.

- по состоянию на 17.10.2016 г – 20 вышедших из строя холодильных плит (17 в ряду ВЕ6 и 3 в ряду ВО5).

Целью расчетно-аналитического обследования технического состояния медных холодильников было обоснование выхода из строя медных плит, износа ребер и тела, выдачей рекомендаций по возможным конструктивным изменениям, вносимым в существующее исполнение плит, варианты замены материала холодильников. Охлаждение медной плиты осуществляется потоком воды, проходящей снизу вверх по четырем отдельным каналам диаметром 50 мм, расположенных в теле холодильника на межосевом расстоянии 240 мм.

На рисунке 1 представлен общий вид системы охлаждения доменной печи «Россиянка».



Рис. №1. Система охлаждения доменной печи «Россиянка»

В ходе расчета [1,2] определяли тепловой поток, проходящий через непроницаемую медную стенку от рабочего пространства доменной печи с большей температурой к охлаждающей воде в водяном канале с меньшей температурой при заданных условиях однозначности. Затем по рассчитанному тепловому потоку находили неизвестные по условию задачи температуру стенки на поверхности холодильника и температуру стенки охлаждающего канала (см. рисунок 2).

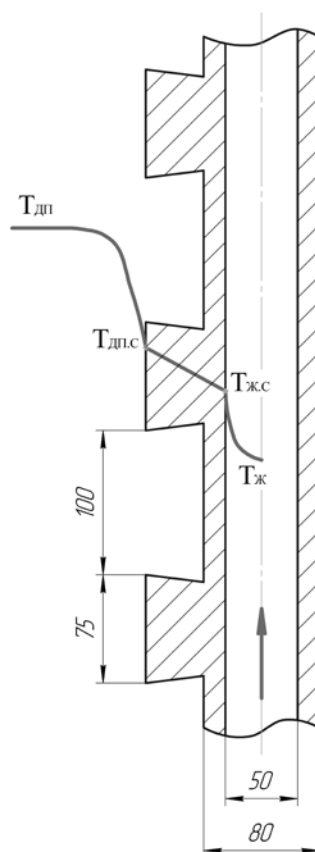


Рис. №2. Схематическое изображение процесса теплопередачи на ребре медного холодильника: $T_{дп}$ – температура в рабочем пространстве доменной печи, $T_{дп.с}$ – температура стенки медного холодильника со стороны доменной печи, $T_{ж.с}$ – температура стенки медного холодильника со стороны охлаждающего канала, $T_{ж}$ – температура охлаждающей жидкости (воды)

Расчетный анализ работы системы охлаждения существующих медных холодильников подтвердил, что при существующих технологических параметрах и условиях работы доменной печи №7 «Россиянка» медные плитовые холодильники данной конструкции не обеспечивают проектный срок службы исходя из фактического повреждения в ряду 6 (см. рисунок 3). Четырехканальные холодильники ряда 5, 6, 7, 8 и 9 имеют прямые внутренние водоохлаждаемые каналы, расставленные на значительном расстоянии друг от друга, что приводит к образованию существенных перепадов температур на поверхности медной плиты. По предоставленной информации, слой огнеупора, нанесенный на оребренную поверхность холодильников и защищающий поверхность плит от перегрева и механического контакта с шихтовыми материалами, через 5-6 месяцев работы доменной печи был разрушен. К тому же, визуальный осмотр рабочего пространства доменной печи, осуществленный в ходе замены поврежденных холодильников ряда 6, показал фактическое отсутствие гарнисажного слоя на стенках печи. Это означает, что поверхность медной плиты находится в наиболее экстремальных условиях, оставаясь незащищенной от возможных перегревов и механических воздействий.

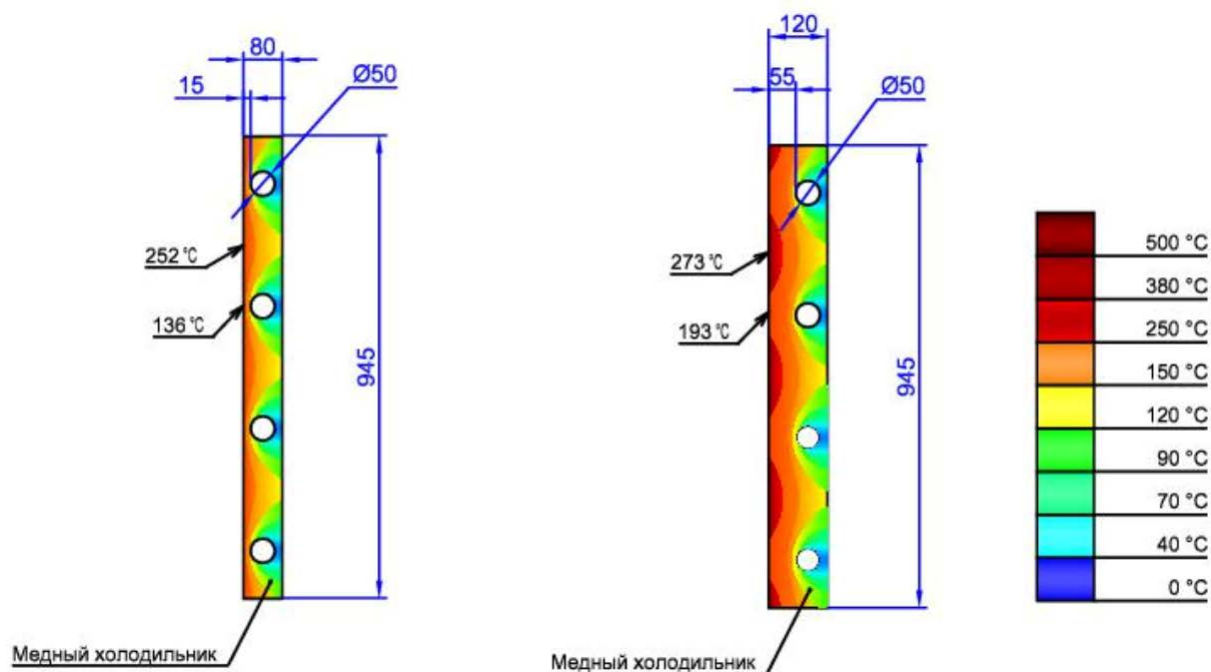


Рис. №3. Температурное поле работы медного холодильника 5, 6 ряда, установленное расчетно-аналитическим способом, где указаны температуры на поверхности тела – рисунок слева, на поверхности ребра – рисунок справа

Исходя из аналитических данных существующие холодильники ряда 5 и 6, находясь в непосредственной близости к фурменной зоне, более чем остальные подвержены риску перегрева поверхности ребра и тела. Также использование марки меди М1Р в качестве материала плиты с крупнозернистой структурой, внутренними дефектами и низкой температурой начала рекристаллизации (180 °С) с последующим разупрочнением, несомненно, приводит к малому сроку службы таких холодильников, что подтверждается на практике. Механический контакт шихтовых материалов с оголенной поверхностью холодильника, оказавшегося незащищенным огнеупорным бетоном, а также при отсутствии гарнисажного слоя, вследствие превышения температуры рекристаллизации 180 °С подвергает ускоренному износу медную плиту.

Расчетным анализом установлено, что мероприятия связанные с попытками увеличения скорости охлаждающей воды в каналах медных плит вплоть до 5 м/с не защитят от износа холодильники ряда 5, 6 вследствие большого перепада температур на поверхности тела и ребра холодильников. По-видимому, конструкция холодильников и система охлаждения была рассчитана на гарантированное наличие гарнисажного слоя.

Доменную печь нельзя отнести к тепловым агрегатам со стабильным тепловым состоянием, поэтому холодильники подвергаются различным тепловым воздействиям в зависимости от хода печи. Нельзя исключать и эпизодическое превышение температуры разупрочнения марки меди М1Р по данным штатных термопар, которые не могут зафиксировать недолговременное местное превышение температур на поверхности оголенного холодильника. Такое превышение температуры происходит одновременно с абразивным воздействием шихты (материала), что резко ускоряет обычный абразивный износ. Это подтверждается косвенно и тем фактом, что на верхних холодильниках практически сохранились ребра, а на нижних они стерлись полностью (это 40 мм) и плюс 15 мм тела холодильника, несмотря на то, что через них прошло одинаковое количество абразивного материала. Следовательно, прочность холодильников шестого и пятого рядов снижалась в процессе эксплуатации из-за высокой температуры.

Реальные фотографии разрушенных плит (см. рисунок 4) подтверждают теоретические доводы о том, что на поверхности медного холодильника имеет место

волнообразное температурное поле со значительными перепадами температур. При осмотре холодильников проблемного шестого ряда износ плит имеет как раз волнообразный характер. В районе охлаждающего канала в некоторых местах плиты даже частично сохраняются ребра, а в области между каналами, напротив, в связи со значительным истиранием меди наблюдается прогиб профиля плиты. Это в очередной раз доказывает факт того, что прочностные свойства меди значительно ухудшаются с ростом температур на ее поверхности после превышения температуры рекристаллизации, износ плиты повышается, а профиль износа соответствует температурному полю, полученному расчетным путем.



Рис. №4. Вышедшие из строя медные холодильники ряда 6

Локальный (местный) износ, не может быть вызван только постоянно сходящими шихтовыми материалами, то есть на одной плите может присутствовать как изношенный до «дыр» (прогар) участок, так и участок с частично сохраненными ребрами. Такое местное разрушение холодильников возможно связано с контактом жидких продуктов плавки с оголенной поверхностью, а не только лишь ускоренным механическим истиранием перегретой плиты. Локальное образование гарнисажа на плитах доменной печи возможно при натекании жидкой шлаковой фазы, а жидкая металлическая фаза негативно воздействует на незащищенную медную стенку, образуя локальный износ поверхности плиты за счет поверхностного оплавления или размягчения с последующим истиранием твердыми частицами шихты.

В ходе проведения различных расчетных и аналитических исследований работы медных холодильников установлено, что для выравнивания температурного поля и понижения температур на поверхности медной оголенной плиты необходимо рекомендовать для ряда 5, 6 восьмиканальное исполнение холодильника с диаметром канала 34 мм при фактическом сохранении существующих расходов и скоростей воды в каналах.

Также с целью сохранения целостности холодильника и предотвращения его выхода из строя рекомендуется замена существующей марки меди холодильника с М1Р на марку МСР01, МРО, температура начала рекристаллизации которых не ниже 350 °С. Такая плита даже в условиях возникновения запредельных температур у ее незащищенной поверхности не выйдет из строя до расчетного срока службы.

Список литературы

1. Kitaev B.I., Yaroshenko Yu.G., Sukhanov E.L., Ovchinnikov Yu.N., Shvydkiy V.S. *Teplotekhnika domennogo protsessa* [Heat engineering of blast furnace process]. Moscow: Metallurgiya, 1978, 248 p.
2. Shvydkiy V. S. *Matematicheskie metody teplofiziki* [Mathematical methods of thermophysics]. Moscow: Mashinostroenie, 2001, 232 p.

Контактная информация

Данная статья была опубликована в сборник статей IX международного конгресса доменщиков: «Металлургия чугуна. Перспективы развития до 2025 года», проходившего 25-27 сентября 2018 года в г. Нижний Тагил.

Если вас заинтересовала информация, приведенная в данной статье, свяжитесь с нами по следующим координатам:

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники» (ОАО «ВНИИМТ»)

620137, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, д. 16

Генеральный директор

Зайнуллин Лик Анварович

Тел. +7 (343) 374-03-80

Email: aup@vniimt.ru

www.vniimt.ru