

Д.А.Пинчук, Г.В.Панчоха, **В.В.Канаев**, Н.М.Можаренко

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ОСТАТОЧНОЙ ТОЛЩИНЫ ФУТЕРОВКИ МЕТАЛЛОПРИЕМНИКА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Проведен анализ современных методов контроля остаточной толщины футеровки металлоприемника доменной печи. Показано, что внедрение автоматизированной подсистемы на доменной печи позволяет обеспечить предотвращение аварийных ситуаций за счет их выявления на ранних стадиях, увеличить межремонтный период печи, а также снизить затраты на производство чугуна.

### Постановка задачи.

Эксплуатационная надежность и продолжительность кампании доменных печей в первую очередь определяется стойкостью футеровки горна и лещади, которую в современных условиях прогнозируют на срок не менее 15 лет [1]. Поэтому, в настоящее время, обеспечение длительной, безопасной и безаварийной работы доменной печи не обходится без наличия средств контроля остаточной толщины огнеупорной футеровки металлоприемника доменной печи.

Важнейшими задачами контроля состояния металлоприемника, прежде всего, являются:

- определение фактического состояния футеровки горна и лещади;
- увеличение продолжительности кампании доменной печи, в результате применения технологии, уменьшающей износ кладки;
- надежное планирование текущих и капитальных ремонтов футеровки металлоприемника доменной печи.

### Методика исследования.

В данный момент, известен ряд современных методов контроля остаточной толщины огнеупорной футеровки доменных печей, основанных на прямых и косвенных измерениях (рис.1);[2–5].

К современным методам контроля остаточной толщины футеровки металлоприемника доменной печи можно отнести следующие методы:

1. калориметрический;
2. термометрический;
3. ультразвуковой.

Калориметрический метод включает измерение расходов и перепадов температуры охладителя (воды или воздуха) с последующим определением тепловых нагрузок на каждый элемент (или группу элементов) системы охлаждения горна и лещади, являющихся основной характеристикой теплового состояния металлоприемника.

Основными преимуществами калориметрического метода являются:

- измеряемый тепловой поток дает интегральную характеристику нагрева всей поверхности холодильника, или группы холодильников

системы охлаждения металлоприемника, тем самым полностью контролируется тепловое состояние горна и лещади;

– обеспечивается определение локальных участков с повышенными тепловыми нагрузками, а также степени зарастания или засорения трубок холодильников.



Рис.1 Современные методы контроля остаточной толщины футеровки металлоприемника доменной печи.

В тоже время калориметрический метод имеет следующие недостатки:

– расчет остаточной толщины футеровки по тепловым нагрузкам дает усредненную толщину кладки по всей поверхности холодильника;

– дискретность и трудоемкость определения тепловых нагрузок измеряемых вручную. В настоящее время, с появлением отечественных средств определения перепадов температур и расходов охладителя с достаточной точностью в автоматическом режиме, это не существенно.

Термометрический метод основан на комплексной информации показаний термопар или термодатчиков, регистрирующих температуру кладки стен и днища металлоприемника, и тепловых нагрузок на систему подлещадного охлаждения служат, что обеспечивает определение профиля разгара горна и лещади.

Основным преимуществом термометрического метода является:

– возможность определения в автоматическом режиме температуры кладки, ее изменений по высоте, периметру и толщине стенок металлоприемника доменной печи.

Это позволяет определить степень износа огнеупоров в зоне расположения термопар.

Недостатком термометрического метода является сложность определения участков локального износа футеровки металлоприемника, не контролируемых термопарами.

Общим преимуществом выше изложенных методов является простота и относительно не высокая стоимость систем контроля, возможность осуществления непосредственного контроля состояния футеровки и получения данных в автоматическом режиме.

Ультразвуковой метод заключается в измерении времени прохождения через огнеупорную футеровку под определенным углом и отражения от внутренней поверхности кладки ультразвуковых колебаний (волн), создаваемых специальным пьезопреобразователем генерирующей головки толщиномера. Для обеспечения этого метода выполняются дополнительные эксперименты по установлению скоростей прохождения волнового сигнала через огнеупоры футеровки металлоприемника, которые служат исходными данными для расчета профиля разгара горна и лещади.

К преимуществам данного метода следует отнести:

- возможность проведения экспресс–анализа диагностики состояния горна и лещади с любого доступного места рабочей площадки поддомного помещения;
- достаточную точность измерений;
- возможность определения физико–механических характеристик футеровки (наличие и параметры трещин, трещиноватость (количество трещин на единицу площади), процентное содержание цинка и влаги).

К недостаткам ультразвукового метода можно отнести:

- высокую стоимость оборудования;
- высокие требования к качеству установки оборудования;
- необходимость проведения большого числа измерений;
- сложность в организации и осуществлении измерений в автоматическом режиме.

Отмеченные недостатки предопределяют ограничение применения этого метода и использование его только для корректировки и уточнения разгара металлоприемника, рассчитанного с помощью других методов контроля.

Общим недостатком, присущим всем выше перечисленным методам контроля остаточной толщины футеровки металлоприемника, является отсутствие объективных данных об изменении теплофизических и механических свойств огнеупоров в процессе эксплуатации печи. Этот недостаток вносит существенные погрешности в расчет фактической величины износа кладки горна и лещади доменной печи.

Проведенный краткий анализ показывает, что на сегодняшний день, не существует универсального метода, позволяющего однозначно определять характер разгара и остаточную толщину кладки и гарнисажа горна и лещади доменной печи.

#### **Результаты исследования.**

Институтом черной металлургии НАН Украины на протяжении многих лет выполнялись анализы расчетных и фактических профилей разга-

ра кладки доменных печей Украины и стран СНГ. Накопленный опыт был положен в разработку методики расчета профиля разгара футеровки горна и лещади, основанную на основном законе теплопроводности и уравнении распространения теплового потока через многослойную плоскую и цилиндрическую стенку, а также определения констант, характеризующих изменения механических и теплофизических свойств огнеупоров в ходе эксплуатации печей, которые используются в алгоритмах расчета остаточной толщины футеровки горна и лещади.

Особенно большое внимание эксплуатации и научные институты уделяли стойкости металлоприемника доменных печей объемом более 3200 м<sup>3</sup>. Так, анализ продолжительности предыдущих кампаний ДП№9 показал, что причиной останковки на кап. ремонт 1-го разряда было разрушение лещади, что стало возможным не только из-за конструктивных недостатков, но и из-за отсутствия постоянного автоматизированного контроля за износом футеровки горна и лещади, а также эффективности применения технологических мероприятий по применению гарнисажеобразующих добавок.

На основе разработанной методики была создана подсистема диагностики состояния футеровки металлоприемника. Математические модели этой подсистемы были опробованы в разное время на ДП №9 АО «Магнитогорский металлургический комбинат», ДП №1,2,3,5 ОАО «Северсталь»[6].

Подход к решению вопроса диагностики состояния огнеупорной футеровки и гарнисажеобразования в горне и лещади доменной печи заключается в комплексном использовании, с момента задувки печи, результатов теплосъемов системы охлаждения, проводимых в автоматическом режиме, как основной информации, в сочетании с показаниями термопар, стационарно установленных в кладке металлоприемника. На рис.2 представлена структурная схема функционирования подсистемы определения разгара и остаточной толщины футеровки металлоприемника.

Современная версия этой подсистемы установлена в 2003 г. на ДП № 9 ОАО «Криворожсталь» при капитальном ремонте 1-го разряда. Целью установки системы контроля разгара и остаточной толщины футеровки горна и лещади на доменной печи № 9 ОАО «Криворожсталь» было повышение эксплуатационной надежности и безаварийной работы металлоприемника и увеличение срока его эксплуатации, за счет обеспечения инженерно-технического персонала достоверной информацией, позволяющей своевременно узнать об отклонениях контролируемых и расчетных параметров.

В кладку металлоприемника на 8-ми уровнях было установлено 104 термопары по периметру горна и лещади, 9 в центральном массиве лещади и 9 термопар на глубину до 1,3 м от кожуха печи. Это позволяет для центрального массива лещади иметь постоянный и достаточный

объем информации, необходимый для расчета остаточной толщины центральной части стакана лещади, а также контролировать положение поверхности износа огнеупоров ее периферийной части. А также для контроля теплового состояния металлоприемника были установлены расходомеры и термодатчики на холодильниках зоны чугунных леток горна и на холодильниках верхней лещади.

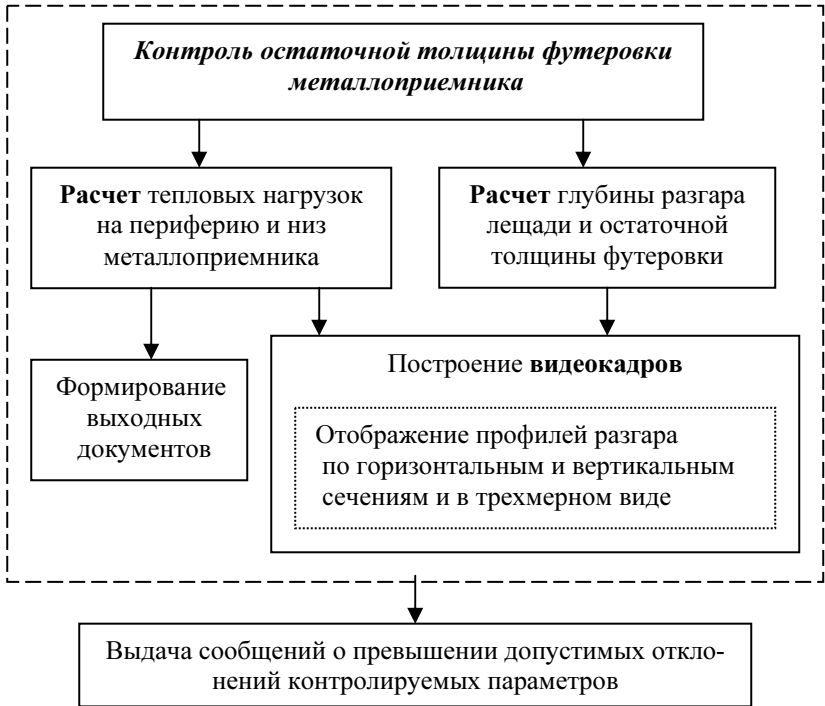


Рис.2 Структурная схема функционирования подсистемы определения разгара и остаточной толщины футеровки металлоприемника.

Количество термопар встроенных в футеровку горна ДП №9 по уровням представлено в таблице.

В 2004 г. сотрудниками института проводился сбор и анализ первичной информации показаний термопар, термодатчиков замера температуры воды, расхода воды системы периферийного охлаждения, а также проводилась адаптация модели расчета остаточной толщины футеровки.

Уточнение параметров расчета связано в первую очередь с уточнением значения теплопроводности углеродистых материалов в рабочих диапазонах температур, а также уточнением глубины закладки термопар.

В данный момент ведется работа по совершенствованию подсистемы диагностики состояния футеровки горна и лещади, корректируется алгоритм расчета остаточной толщины футеровки, идут исследования по отслеживанию динамики изменения тепловых нагрузок системы охлаждения и температуры кладки.

Таблица. Количество встроенных термопар в футеровку горна ДП № 9 при капитальном ремонте I-го разряда

Зона контроля	Количество
Кол-во горизонтов установки термопар	8
Кол-во термопар на горизонте сверху вниз 8 – 4 уровни*	8,12,20,36,20
Кол-во горизонтов установки термопар в нижней лещади – 2: 3 – уровень (на глубину до 1 м в кладку) 2 – уровень (0.75, 0.5 и 0, R)	8 4+4+1=9
Кол-во термопар в подлещадном охлаждении (0.5, 0.2 и 0, R)	4+4+1=9
Количество термопар по периферии	96
Количество термопар в нижней лещади	17
Количество термопар в подлещадном охлаждении	9
Полное количество термопар	122

Примечание: уточненная глубина закладки термопар 8,7,6 уровней – 0.125 м; 5,4 уровней – 0.255 м.

Накопленные данные о работе подсистемы «Разгар» на ДП №9 и полученные уточненные значения теплопроводности углеродистых материалов позволили усовершенствовать математическую модель системы контроля остаточной толщины футеровки металлоприемника, внедряемую на доменной печи № 8 ОАО «Криворожсталь».

#### **Выводы.**

До сих пор отсутствует универсальный метод, позволяющий однозначно определять характер разгара и остаточную толщину кладки металлоприемника доменной печи. Созданная в Институте черной металлургии автоматизированная подсистема контроля разгара и остаточной толщины футеровки горна и лещади доменной печи, хорошо зарекомендовала себя на различных доменных печах, что позволяет инженерно-техническому персоналу своевременно получать необходимую информацию о фактическом состоянии кладки металлоприемника или о превышении допустимых значений контролируемых параметров, а также заблаговременно планировать текущие и капитальные ремонты печи, организовывать технологические мероприятия по применению гарнисажеобразующих добавок, своевременно корректировать технологические

параметры с целью уменьшения износа футеровки. Таким образом, внедрение данной автоматизированной подсистемы на доменной печи позволит обеспечить предотвращение аварийных ситуаций за счет их выявления на ранних стадиях, увеличить межремонтный период печи, а также снизить затраты на производство чугуна.

1. *Анализ работы металлоприемника с целью увеличения продолжительности кампании доменной печи и безопасной ее эксплуатации // Новости черной металлургии за рубежом.* –2003. –№ 4. –С.32–36.
2. *Макиенко В. Г., Серов Ю. В., Аштин Б. И. и др. //Металлург.*–1995. –№ 10. – С.27.
3. *Кудинов Г. А. Охлаждение современных доменных печей.* – М.: Металлургия, 1988. – 256 с.
4. *Диагностирование состояния футеровки металлоприемника доменной печи по тепловым нагрузкам / Е.Е.Гаврилов, А.Г.Ульянов, В.В.Канаев и др. // Сталь.* – 1987. – № 1. – С. 13 – 15.
5. *Ультразвуковой контроль износа футеровки шахты доменной печи /П.Г.Васильев, В.Е.Левченко, Н.Е.Алпаев и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1992. – № 3. – С.3–5.
6. *Панчоха Г.В. , Канаев В.В. и др./ Система оперативного промышленного контроля состояния износа футеровки металлоприёмника ДП№5 ОАО «Северсталь». // Прогрессивные процессы и оборудование металлургического производства. Материалы первой международной научно-технической конференции. г.Череповец. ЧГУ.1998. С.18–20.*

*Статья рекомендована к печати докт.техн.наук А.В.Бородулиным*