



Investigation of Temperature Field for Diagnosis of Steel Ladles in Metallurgy

Ivanka S. PETROVA, Emil MIHAILOV

University of Chemical Technology and Metallurgy (UCTM) – Sofia,
8 Kliment Ohridski Blvd., 1756 Sofia
e-mails: petrovaivanka09@gmail.com; emilgmihailov@gmail.com

Abstract

Diagnostics and predictive maintenance [1-2] of the metallurgical plants operating at high temperatures are among the most important problems that have to be solved under the present day's production conditions. Knowledge of refractory thickness and lining condition is crucial in operation and maintenance decisions. The residual thickness and local wear spots and damage can be determined by performing, at regular intervals, of ladle monitoring at certain points of its operation. Infrared Thermovision (IRT) is well established technique for contactless diagnosis of numbers technological machines and apparatus. On the base of the surface dynamic thermal field of the elaborated device, one could provide Damage Detection and Diagnosis (DDD). As a result decision could be made for relevant actions according the current condition for the equipment-load decreasing, repairing before a predicted time or immediate stop for inspection

Keywords: Infrared Thermovision, Mathematical Modelling, Metallurgical Ladle, Damage Detection and Diagnosis

Изследване на температурното поле за диагностика на стоманоразливни кофи в металургията

Иванка ПЕТРОВА, Емил МИХАЙЛОВ

1. Увод

В съвременните условия на производство на стомана процесът на топене на метала е значително по-кратък, а обработването на метала се провежда в извънпещни инсталации. Това определя ролята на стоманоразливните кофи като основно звено в технологическия процес на добиване на стоманата. Тяхната устойчива работа, като агрегат, в който течния метал престоява през по-голяма част от времето от общия технологичен процес до края на разливането е пряко свързана със сигурността на протичане на отделните процеси на обработване, определящи работата на цялата технологична линия.

Безразрушителния контрол и мониторинг на изолацията, съчетани със съответните коригиращи действия водят до по-добра сигурност, контролирана поддръжка и по-дълъг живот на изолацията на тези агрегати [1-2].

Локалното износване на огнеупорната изолация се получава най-често в процеса на запълване на кофата в резултат на удара на падащата метална струя в стената или пода и от ерозионното действие на интензивно движещия се метала при изливането му от основния добивен агрегат, а на следващия етап на обработване в зависимост от условията на хомогенизиране и допълнително нагриване. При контакт с течния метал огнеупорната изолация е подложена на износване по цялата контактна повърхност в резултат на физикохимичното му въздействие.

За безпроблемната работа на кофата е необходимо познаването на остатъчната дебелина на изолацията в отделните участъци, изразяващи се в локални износвания или разрушения на елементи от зидарията. Остатъчна дебелина, локалните износвания и разрушенията могат да бъдат определени при провеждане на периодичен мониторинг на кофата в отделни моменти от нейната работа. В същото време намаляването на дебелината на изолацията довежда до увеличаване на топлинните загуби, което е пряко свързано със скоростта на намаляване на температурата на метала по време на престой в металургичната кофа и с енергията, която трябва да бъде добавена при обработване на КПИ.

2. Същност на проведеното изследване

Оптимизацията и икономията на енергия са част от мерките за предсказващото поддържане на технологичните процеси на агрегатите, свързани с прилагането на технологии за измерване, контрол и подобряване на технологичните, топлогенерационните и топлообменни системи. Тези мерки включват оценка на топлинното и температурно състояние на системите и подобряване на топлинната работа като намаляват топлинните загуби до максимално възможните нива.

За оптимизиране на топлинната работа на кофата и подбиране на дебелината и материалите за различните слоеве от топлинната изолация се разработват математически модели на процесите на топлообмен в стената.[3]

По време на работа кофата е запълнена с метал около 2 часа, като през половината от времето престоява на инсталацията за извънпещно обработване на стоманата, а другата половина на машината за непрекъснато разливане на стоманата.

За провеждане на изследването, при отчитане на условията, при които протичат процесите са използвани резултатите от работата на разработения за целите на подобни изследвания тримерен математически модел [4-5] на огнеупорната изолация. Изолацията е двуслойна с дебелина 0,280 m с външен (топлоизолационен) слой, изграден от магнезитов огнеупор с дебелина 0,065 m, а вътрешния (работен), контактуващ с течния метал - от хром-магнезит с дебелина 0,215 m. Кожухът е изработен от стомана с дебелина 0,02 m.

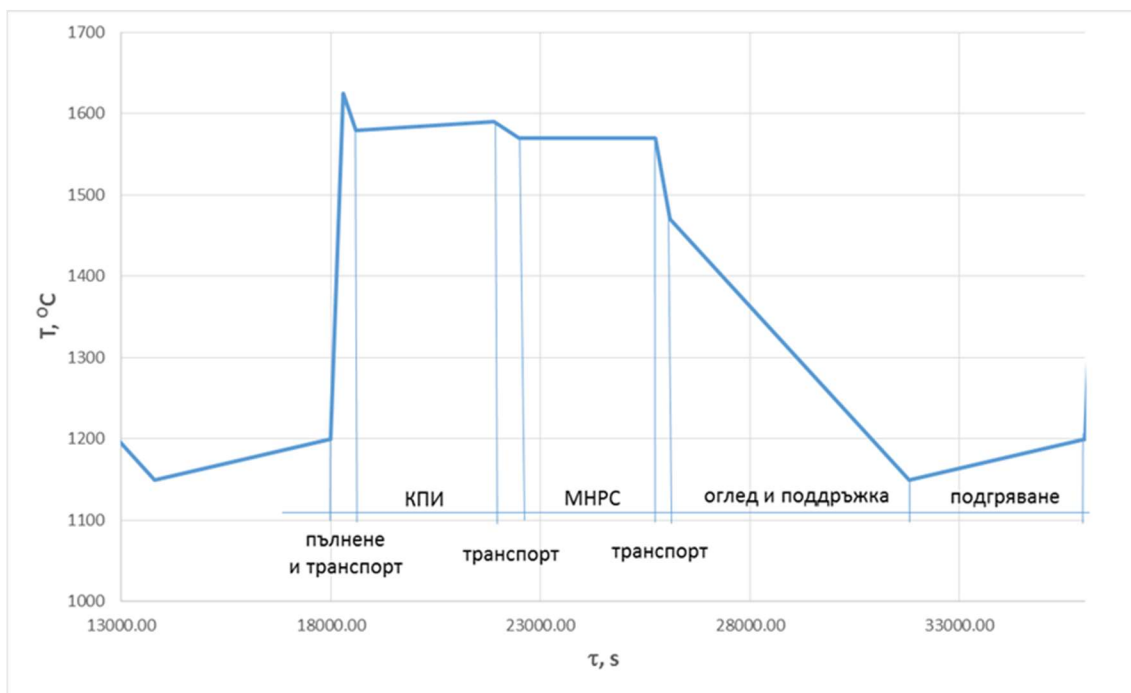
В резултат от анализ на данните от промишлен експеримент са установени продължителността на отделните операции, енергийните разходи и изменението на температурата на течния метал през отделните етапи на технологичния процес.

Установено е, че продължителността на топене е 45 – 50 минути, а тази на непрекъснато разливане на метала – под един час. На базата на температурното изменение на течния метал във времето е разработен график на температурата на вътрешната повърхност на огнеупорната изолация на кофата.

Температурният режим, представен на Фиг.1., е съобразен със следните стадии на обработване:

- Изсушаване и прогряване на кофата след замяна на изолацията;
- Време на транспорт от стенда за подгряване до стенда за разливане;
- Напълване на кофата с течен метал;
- Период на работа на пълната кофа, включително и непрекъснато разливане;
- Период на престой в празно състояние за оглед и поддръжка;
- Междинно подгряване.

Целта на настоящото изследване е да се установи температурното разпределение по напречното сечение на изолацията и на повърхността на кофата във времето, на базата на което да бъде направена оценка топлинното състояние и на остатъчната дебелина в процеса на работа.

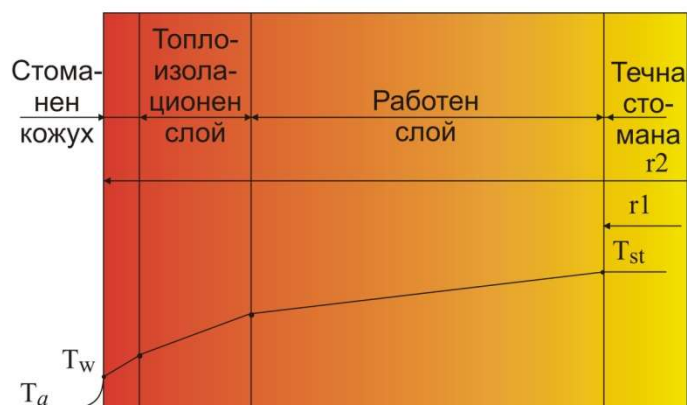


Фиг. 1. Температурен режим на течния метал и вътрешната повърхност на изолацията на кофата.

Температурното разпределение (Фиг.2) по дебелина на изолацията се описва с помощта на законът на Фурие в цилиндрични координати z-r-φ:

$$\rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (1)$$

където: λ е коефициент на топлопроводност, W/mK; T – температура на стената, °C; r – радиус, m; c – специфичен топлинен капацитет, kJ/kgK; ρ – плътност, kg/m³, z, r и φ – координатите, τ – времето, s.



Фиг.2 Схема на огнеупорната изолация на стоманоразливната кофа и температурното разпределение.

Съгласно направените по-горе приемания и разглеждания, граничните условия могат да бъдат представени както следва:

1. За вътрешната повърхност:

$$T(z, \varphi)|_{r=r_1} = T_{st} \quad (2)$$

където: T_{st} е температура на течната стомана, °C; r_1 - радиус на вътрешната повърхност на стената m.

2. За външната повърхност:

$$\lambda(T)gradT(z, \varphi)|_{r=r_2} = \alpha_{\Sigma}(T_w - T_a) \quad (3)$$

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_c + \alpha_r \quad (4)$$

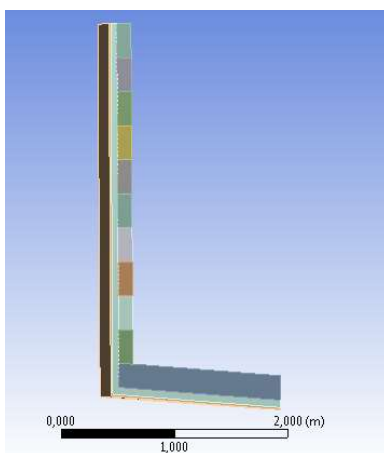
където: r_2 - радиус на външната повърхност на стената, m; T_a – температура на околната среда, °C; T_w – температура на външната повърхност на кофата, °C; α_{Σ} - сумарен коефициент на топлоотдаване, W/m²K; α_c – конвективна компонента на коефициента на топлоотдаване, W/m²K; α_r - лъчиста компонента на коефициента на топлоотдаване, приведена към конвекция, W/m²K, $\alpha_r = q_r/(T_w - T_a)$, q_r – резултантен поток от повърхността към околната среда, W/m².

За реализиране на изследването е използван математически модел, основаващ се на описаните закономерности, като геометрията на обекта, представляваща сектор от стената на стоманоразливната кофа, е представена на фиг.3.

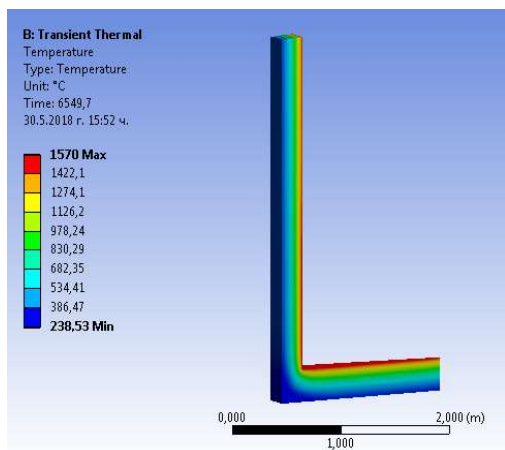
При математичното моделиране един отделен технологичен цикъл на работа на кофата е разделен на отделни работни периоди, описани по-горе.

Прието е, че една кампания на металургична кофа е 90-100 технологични цикъла. В края на кампанията износването на изолацията е приблизително 150 mm, а остатъчната дебелина е 130 mm. В процеса на обследване на огнеупорната зидария на стоманоразливната кофа са разгледани три случая – в началото на работната кампания с дебелина 0,28m, по средата на кампанията – 0,215m и 0,15m – за края на кампанията.

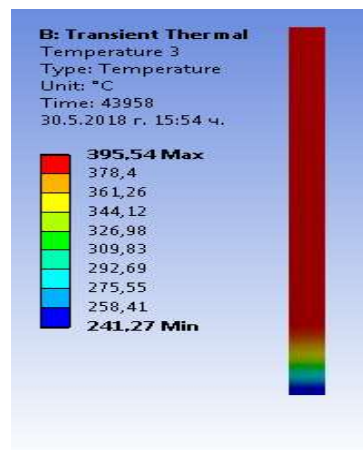
На фиг. 4 е показано температурното разпределение от вътрешния работен слой до външната обшивка с минималните и максимални стойности при даден период на работа на кофата, на фиг. 5 са изобразени температурите по външната повърхност в момент когато кофата е пълна с течен метал.



Фиг.3. Геометрия на напречно сечение на огнеупорна изолация

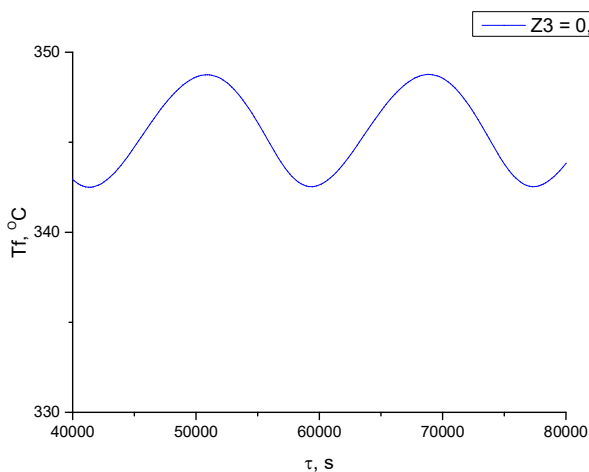


Фиг. 4 Температурно разпределение по напречно сечение на изолацията

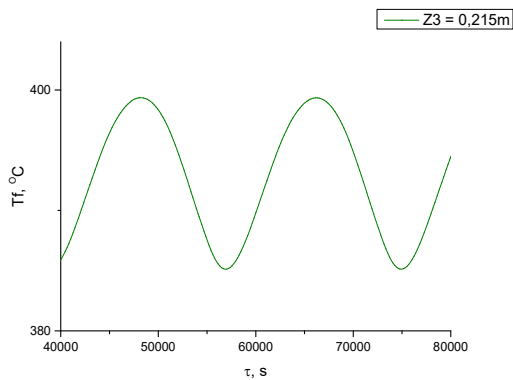


Фиг. 5 Температурно разпределение по външната повърхност на кофата

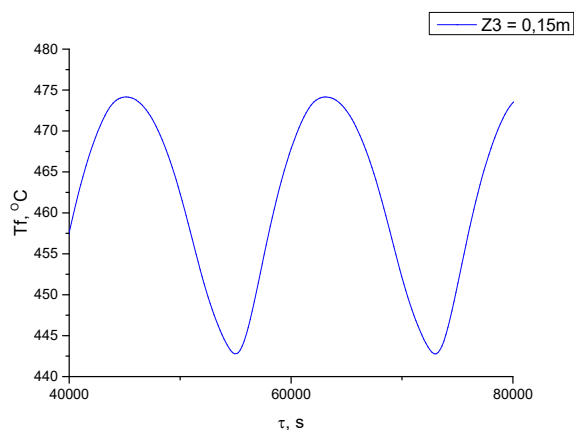
Изменението по повърхностната температура във времето за различните степени на износване е представено съответно на фигури 6, 7 и 8.



Фиг. 6 Повърхностна температура при остатъчна дебелина 0,28m



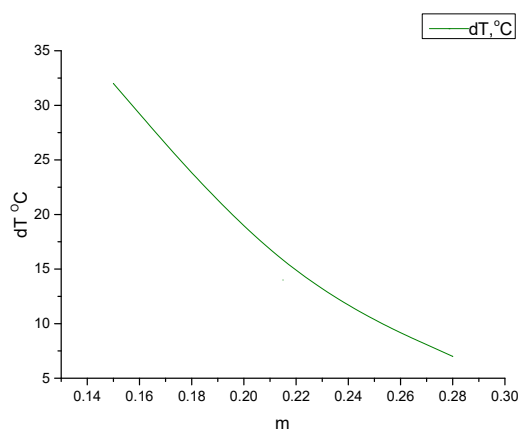
Фиг. 7 Повърхностна температура при остатъчна дебелина 0,215m



Фиг. 8 Повърхностна температура при остатъчна дебелина 0,15m

От фигурите се вижда, че в началото на кампанията на работа на стоманодобивна кофа температурата на повърхността се изменя от 342 °С до 349 °С, или със 7 °С, в средата на кампанията температурата варира в рамките на 14 °С – от 385 °С до 399 °С и в края на кампанията с 32 °С и температури 442 °С до 474 °С.

Тези температурни разлики са използвани за извеждане на графична функция представяща зависимостта на дебелината на изолацията от диапазона на изменение на температурата на повърхността, представена на фигура 9. Тази зависимост може да бъде използвана за определяне на остатъчната дебелина на изолацията при измерване на повърхностната температура в различни етапи от експлоатацията на стоманоразливната кофа.



Фиг. 9 Дебелината на изолацията от диапазона на изменение на температурата на повърхността

3. Заключение

Получените резултати за изменението на повърхностната температура в зависимост от степента на износване на изолацията представляват така наречената фонова температура, определена за бездефектна изолация и тя може да бъде използвана в по-нататъшните изследвания за съпоставка с повърхностните температури в областта на дефекта за анализиране и диагностика [6] на степента на повреденост на стената.

Благодарности

Това изследване е проведено с финансовата подкрепа на ОП НОИР, съфинансирана от ЕСФ на ЕС по проект BG05M2OP001-2.009-0015 „Подкрепа за развитие на капацитета на докторанти и млади учени в областта на техническите, природните и математическите науки“.

Литература

1. Chang L., E.L. Russell, R.D. Braatz. Fault Detection and Diagnosis in Industrial Systems. Springer, 2001.
2. Iserman R. Fault-Diagnosis Systems, Springer, 2006.
3. Suomela J. Condition Monitoring of Paper Machine with Thermal Imaging. Proc. SPIE 4710, Thermosense XXIV, (15 March 2002); DOI: 10.1117/12.459561; <https://doi.org/10.1117/12.459561>
4. Fidali M. An Idea of Continuous Thermographic Monitoring of Machinery. Proc. of the 9th Int. Conf. on Quantitative Infrared Thermography, Krakov, Poland, 2008, 8 p.
5. Mihailov Em., V.Petkov. Case-Based Approach for Diagnosis of Metallurgical Ladle Lining. 4th International Conference of Processing and Structure of Materials, Palic, Serbia, 27-29 May 2010.
6. Petkov V., M. Hadjiski, K. Boshnakov, Em. Mihailov. Diagnosis of Metallurgical Ladle Refractory Lining Based on Non-Stationary On-Line Data Processing. Cybernetics and Information Technologies, Vol. 13, No 2, 2013, pp. 122-130.