

ANDRZEJ GOŁDASZ

Identyfikacja warunków brzegowych wymiany ciepła w komorach pieców grzewczych

Streszczenie

Modelowanie procesu nagrzewania wsadu w piecach grzewczych należy do zagadnień, które ciągle jeszcze przysparzają wielu problemów współczesnym badaczom. Ze względu na wysokie temperatury, przekraczające niejednokrotnie 1200°C, dominującym mechanizmem wymiany ciepła w komorze pieca jest promieniowanie. Mechanizm ten, z powodu swojej złożoności, wymaga czasochłonnych obliczeń numerycznych, a wynik końcowy nie zawsze jest zadowalający. Istotne zatem jest poszukiwanie metody wyznaczania warunków brzegowych pozwalającej na rozwiązanie równania przewodzenia ciepła w nagrzewanym materiale bez potrzeby rozpatrywania poszczególnych mechanizmów.

W niniejszej pracy wyznaczono warunki brzegowe wymiany ciepła w postaci średniej wartości gęstości strumienia ciepła na wszystkich sześciu nagrzewanych powierzchniach materiału w kształcie prostopadłościanu. Dla analizowanego układu zbudowano rozwiązanie odwrotne, wykorzystując metodę funkcji aproksymującej, w której rozwiązanie zadania sprowadza się do określenia minimum normy błędnej będącej sumą kwadratów odchyleń temperatury zmierzonej i obliczonej. Badania rozkładu temperatury w czasie nagrzewania wsadu ze stali 15HM prowadzono w laboratoryjnym piecu grzewczym opalonym gazem ziemnym. Analizie poddano kształty wsadu oraz stopień wypełnienia komory pieca powszechnie występujące w procesach przeróbki plastycznej metali. W czasie badań rejestrowano temperaturę atmosfery pieca w sześciu punktach znajdujących się w pobliżu powierzchni uczestniczących w wymianie ciepła. Posłużyły one do wyznaczenia współczynnika wymiany ciepła na powierzchni materiału. W opracowanej metodzie wyznaczenia warunków brzegowych wymiany ciepła wykorzystano metodę elementów skończonych oraz program komputerowy rozwijany w Katedrze Techniki Ciepłej i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie.

Mając na względzie fakt, że metody odwrotne należą do grupy zagadnień, w których niewielkie zakłócenia danych wejściowych bezpośrednio wpływają na wynik końcowy, w pracy przeprowadzono testy kontrolne, w których symulowano najczęściej

popelniane błędy pomiaru danych. Rozpatrywano m.in. wpływ zadanych własności termofizycznych oraz położenia termopar pomiarowych na wynik obliczeń odwrotnych.

W końcowej części pracy zaproponowano uproszczony model wymiany ciepła w komorach pieców grzewczych służący do szybkiej analizy procesu nagrzewania wsadu. Przeprowadzone z jego udziałem testy kontrolne wykazały, że pomimo dużego uproszczenia można go z powodzeniem stosować do obliczeń procesu nagrzewania zawsze wtedy, gdy czas nie pozwala na wykorzystanie zagadnienia odwrotnego. Należy jednak zawsze porównać wyniki obliczeń rozkładu temperatury w nagrzewanym materiale z pomiarami na obiekcie rzeczywistym.

ANDRZEJ GOŁDASZ

Identification of the heat transfer boundary conditions in the heating furnace chambers

Summary

Modelling the charge heating process in heating furnaces is an issue that still causes many problems for contemporary researchers. Due to high temperatures, often exceeding 1200°C, thermal radiation is the prevailing mechanism of heat transfer in the furnace chamber. This mechanism, due to its complexity requires time-consuming numerical calculations, and the final result is not always satisfactory. Therefore, it is essential to look for a method for determining the boundary conditions allowing the heat conductivity equation in the material heated to be solved without the need to consider individual mechanisms occurring in this material.

In this paper the inverse problem was applied to determine the boundary conditions of heat transfer in the form of the average value of heat flux density at all 6 surfaces heated. For the system analysed the inverse solution was built on the basis of the approximating function method. The inverse problem solution comes down to finding the minimum of error norm, which is the sum of squares of deviations of the measured and calculated temperature: Tests of temperature distribution during steel 15HM charge heating were conducted in a laboratory heating furnace fired with natural gas. Shapes and the degree of furnace fill common in the metal forming processes were analysed. During the tests, also the furnace atmosphere temperature was recorded at 6 points located near the surfaces taking part in heat transfer. These measurements were used to determine the heat transfer coefficient at the material surface. For the needs of the developed method for determining the heat exchange boundary conditions the finite element method and a computer program developed in the Department of Thermal Engineering and the Environment Protection of AGH University of Science and Technology in Krakow were used.

Taking into account the fact that inverse methods belong to a group of issues where small disturbances of input data directly influence the final result, verification tests were conducted, in which the most frequent data measurement errors were simulated. The considerations included the impact of thermophysical properties and the depth of the measurement thermocouples on the inverse calculation outcome.

In the final part of the project, a simplified heat transfer model in heating furnace chambers was proposed for a quick analysis of the charge heating process. The verification tests conducted with this model showed that despite considerable simplification it can be successfully used for heating process computing. However, calculation results of the temperature distribution in the material heated should always be compared with measurements at the actual site.