

Zbigniew MALINOWSKI<sup>1</sup>,  
Beata HADAŁA<sup>3</sup>, Agnieszka CEBO-RUDNICKA<sup>2</sup>, Andrzej GOŁDASZ<sup>3</sup>

## ZASTOSOWANIE BILANSU CIEPŁA W MODELOWANIU POŁA TEMPERATURY SZYN WALCOWANYCH NA GORĄCO

W procesie walcowania szyn na gorąco istotnie jest określenie płynięcia metalu w kolejnych przepustach, tak aby uzyskać wymagany kształt i własności wyrobu. Projektowanie technologii walcowania obejmuje dwa podstawowe zadania sprowadzające się do określenia kształtu wykrojów w poszczególnych przepustach i temperatury walcowania. Wyznaczenie temperatury pasma w czasie walcowania jest istotne nie tylko ze względu na jej wpływ na płynięcie metalu. Wychodząc od temperatury końca walcowania, należy określić spadki temperatury w ciągu walcowniczym aby określić minimalną temperaturę nagrzewania wsadu. Nagrzewanie wsadu do zbyt wysokiej temperatury powoduje straty ciepła, co podwyższa koszty produkcji. W procesie nagrzewania stali w piecach hutniczych opalanych gazem ziemnym występuje utlenianie i odwęglanie warstwy powierzchniowej wsadu. Utlenienie skutkuje zbędną stratą stali, natomiast odwęglanie warstwy powierzchniowej może prowadzić do utraty twardości główki szyny i dyskwalifikacji wyrobu. Obniżenie temperatury nagrzewania wsadu o 20°C do 50 °C może przyczynić się do osiągnięcia istotnych korzyści ekonomicznych i poprawy własności szyn [1]. Modelowanie pola temperatury stwarza znaczne trudności wynikające ze złożonego pod względem geometrycznym kształtu przekroju poprzecznego pasma, a także z warunków wymiany ciepła podczas walcowania. Rozwiązanie zagadnienia wymiany ciepła można uzyskać metodę elementów skończonych dla dwu lub trójwymiarowych zagadnień. Obliczenia z zastosowaniem termomechanicznych modeli trójwymiarowych trwają stosunkowo długo. Rozwiązanie, które poprawia znacząco szybkość obliczeń, bez istotnej utraty dokładności, polega na zastosowaniu modelu dwuwymiarowego do obliczeń temperatury w przekroju poprzecznym pasma [2]. W tym przypadku powstaje zasadnicze pytanie o dokładność rozwiązania dwuwymiarowego w porównaniu do rozwiązań trójwymiarowych. W procesie walcowania możliwe jest wyznaczenie bilansu energii, który powinien być spełniony dla założonej osłony bilansowej. Dotychczas jedynym sposobem sprawdzenia poprawności rozwiązania numerycznego był eksperyment. W pracy zaproponowano metodę weryfikacji rozwiązania modelowego w oparciu o bilans ciepła przeprowadzony dla procesu walcowania szyn. Przedstawione w pracy rozwiązanie pozwala na szybkie określenie zmian temperatury walcowanego pasma z uwzględnieniem następujących mechanizmów: przewodzenie ciepła w przekroju poprzecznym pasma, generowanie ciepła w wyniku pracy odkształcenia plastycznego i pracy tarcia, chłodzenia w powietrzu z uwzględnieniem konwekcji wymuszonej, chłodzenia wodą i natryskiem wodnym, chłodzenia w skrzyniach wodnych. W celu efektywnego prowadzenia obliczeń opracowano program komputerowy z interfejsem graficznym do szybkiego i dokładnego wyznaczania rozkładu temperatury pasma w całym ciągu.

Obliczenia rozkładu temperatury oraz bilansu ciepła wykonano dla walcowania szyny w 10 przepustach. Wyniki obliczeń przedstawiono na rys.1 i 2. Na rys. 1 przedstawiono zmiany średniej temperatury pasma oraz średniej temperatury powierzchni górnej i powierzchni bocznej pasma w kolejnych przepustach. Nagłe spadki temperatury powierzchni pasma widoczne na rys. 1 występują w czasie styku pasma z powierzchnią walców. W czasie chłodzenia w powietrzu następuje wyrównywanie temperatury w przekroju pasma i chwilowy

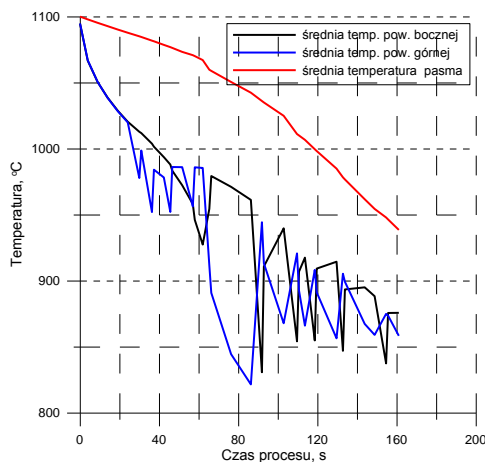
---

<sup>1</sup> Prof. dr hab. inż., Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, Akademia Górniczo-Hutnicza.

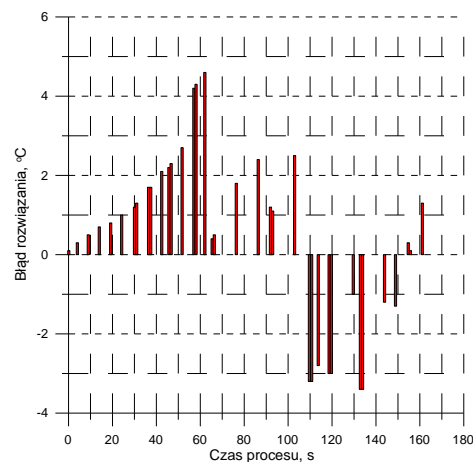
<sup>2</sup> Mgr inż., Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, Akademia Górniczo-Hutnicza.

<sup>3</sup> Dr inż., Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, Akademia Górniczo-Hutnicza.

wzrost temperatury powierzchni. Średnia temperatura pasma spada w całym ciągu walcowniczym od początkowej 1100°C do 938°C na końcu procesu walcowania. Na rys. 2 przedstawiono błąd obliczeń pola temperatury wyznaczony z bilansu ciepła wraz z narastającym czasem obliczeń. W początkowych przepustach obserwujemy narastanie błędu wyznaczenia średniej temperatury do około 5°C. Następnie następuje zmniejszenie błędu i przejście w kierunku wartości ujemnych. Dodatnia wartość błędu oznacza zawyżenie, a ujemna zaniżenie średniej temperatury pasma. Na końcu obliczeń błąd wynosi około 1.3°C. Przebieg zmian błędu jest złożony i wynika z zastosowanych algorytmów numerycznych. Do najważniejszych przyczyn powstawania błędu rozwiązania można poszukiwać w schemacie rozwiązania równań przewodzenia ciepła i przeniesieniu wyników do kolejnych siatek elementów generowanych po zmianie kształtu pasma. Należy podkreślić, że błąd rozwiązania na poziomie 5°C jest mały i uzyskane rozwiązanie cechuje się wysoką dokładnością, pomimo znacznych zmian kształtu pasma w kolejnych przepustach.



Rys. 1. Przebieg zmian średniej temperatury: pasma, powierzchni bocznej i powierzchni górnej pasma w procesie walcowania szyny w 10 przepustach.



Rys. 2. Błąd obliczeń pola temperatury wyznaczony z bilansu ciepła dla walcowania szyny w 10 przepustach.

## Literatura:

- [1]. Malinowski Z., Gołdasz A., Hadała B., Banach M., Zygmunt T.: Modelowanie numeryczne pól temperatury kształtowników walcowanych na gorąco. *Hutnik Wiadomości Hutnicze*, 2008, nr 4, s. 176–181.
- [2]. Malinowski Z., Cebo-Rudnicka A., Gołdasz A., Hadała B., Hojny M.: Modelowanie pola temperatury prętów walcowanych na gorąco. *Prace Instytutu Metalurgii Żelaza*, 2010, t. 62 nr 1, s. 73–77.

## Implementation of the heat balance in modeling of the temperature of hot rolled rails

In the design of rolling process of rails a proper prediction of the temperature field plays an important role. It is important to make a possibility to predict the temperature changes in the hole rolling line. The temperature changes should be followed starting from the charge heating following the rolling mills and product cooling at cooling bed. This type of calculations can be performed using the finite element software designed for modeling of rolling processes. In such a case the computation time is high due to simulation of subsequent rolling passes. In addition to long computation time it is difficult to transfer data from one to the other simulation. The mathematical model and software designed for computation of the strip temperature has been developed. The strip temperature in the rolling line can be computed without simulation of the material plastic deformation at rolling mills. In such a case the computation time is very low and design of cooling and heating systems is efficient.