

Wacław WITTCHEN, Artur MAZUR

Instytut Metalurgii Żelaza im. St. Staszica

METODA TERMOWIZJI JAKO NARZĘDZIE POMOCNICZE W PROCESACH SYMULACJI NUMERYCZNEJ

Technika termowizyjna w przemyśle hutniczym może być wykorzystywana do kontroli stanu technicznego urządzeń, monitorowania procesów technologicznych oraz wspomagania procedur badawczych, w tym symulacji fizycznej i numerycznej. Przykłady zastosowania termowizji jako narzędzia przydatnego w procesach symulacji numerycznej przedstawiono na przykładzie programu ProCAST służącego do symulacji odlewania i krzepnięcia metalu. Zaprezentowano to na przykładzie symulacji numerycznej procesu ciągłego odlewania stali. Ponadto przedstawiono przykład weryfikacji wyników symulacji numerycznej zmian temperatury na powierzchni kadzi lejniczej w oparciu o pomiary temperatury na obiekcie rzeczywistym. Zasygnalizowano możliwości wykorzystania techniki termowizyjnej jako narzędzia wspomagającego w pracach badawczych do weryfikacji wyników obliczeń numerycznych poprzez porównanie ich z pomiarami przeprowadzonymi na obiektach rzeczywistych w warunkach przemysłowych.

Słowa kluczowe: termowizja, termografia, podczerwień, badania nieniszczące, procesy symulacji, symulacja fizyczna, symulacja numeryczna

THERMOVISION METHOD AS A SUPPORTIVE TOOL FOR NUMERICAL SIMULATION PROCESSES

Thermovision technique can be used in the metallurgical industry for controlling technical condition of devices, monitoring technological processes and supporting research procedures, including physical and numerical simulation. The examples of using thermovision as a useful tool for numerical simulation processes were shown on the basis of ProCAST software used for simulation of metal casting and solidification. It was presented based on the example of numerical simulation of continuous casting of steel. In addition, the example of verification of the results of numerical simulation of changes in temperature on the casting ladle surface based on the temperature measurements taken on the real object was presented. The possibilities of using thermovision techniques as a supportive tool in the research works for verification of numerical calculation results by comparing them to the measurements taken on the real objects under industrial conditions were indicated.

Key words: thermovision, thermography, infrared, nondestructive tests, physical simulation, numerical simulation

1. WSTĘP

Istotną cechą procesów hutniczych jest wysoka temperatura, oraz w wielu przypadkach, szybkie zmiany temperatury wiążące się z wymianą dużych ilości ciepła. Ponadto temperatura jest jednym z najważniejszych parametrów technologicznych i w zasadniczy sposób wpływa na większość procesów produkcyjnych. Do monitorowania problemów związanych z rozkładem pola temperaturowego może posłużyć metoda termowizji. Technika termowizyjna w hutnictwie żelaza i stali oprócz typowych zastosowań do kontroli procesów technologicznych oraz oceny stanu technicznego urządzeń, może być wykorzystywana jako narzędzie pomocnicze w procesach symulacji zarówno fizycznej jak i numerycznej. W przypadku symulacji fizycznej dokonuje się monitorowania procesów prowadzonych w warunkach laboratoryjnych celem porównania wyników z badaniami prowadzonymi w skali przemysłowej. Natomiast w przypadku symulacji numerycznej pomiary termowizyjne są źródłem danych do określania warunków początkowych i brzegowych dla modeli matematycznych,

a następnie ich weryfikacji poprzez porównanie wyników obliczeń i pomiarów na obiektach rzeczywistych.

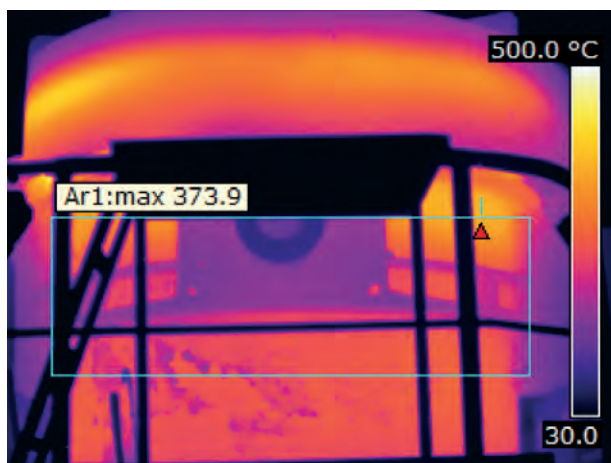
Uzyskane obrazy termowizyjne pozwalają w bardzo dokładny sposób określić warunki brzegowe i początkowe dla obliczeń symulacyjnych procesów cieplnych. Informacje takie można wykorzystywać zarówno w badaniach urządzeń hutniczych takich jak kadzie lejnicze oraz procesów technologicznych wytwarzania stali takich jak proces ciągłego odlewania stali.

Badania takie przyczyniają się do wzbogacenia informacji o przebiegu procesu oraz są pomocne w powiązaniu z innymi metodami.

2. ZASTOSOWANIE TERMOWIZJI W BADANIACH PROCESÓW HUTNICZYCH

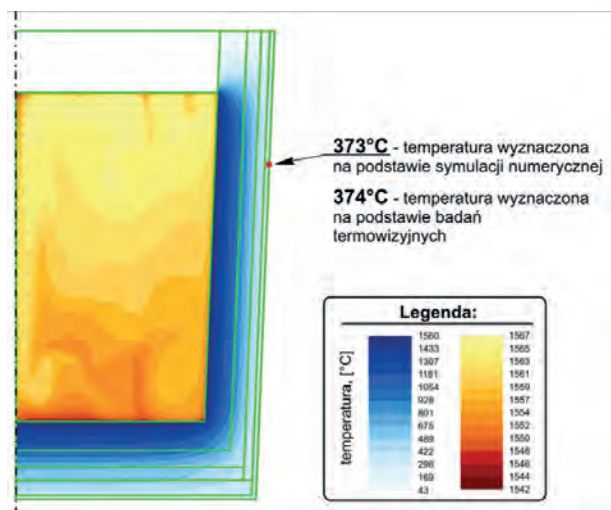
Termowizja w hutnictwie może być wykorzystywana do: monitorowania stanu technicznego urządzeń, działań służących zapobieganiu awarii, badania hutniczych procesów technologicznych począwszy od proce-

su topnienia aż do gotowego wyrobu jak również jako stały element wyposażenia linii produkcyjnej. Bardziej szczegółowe przykłady dotyczące wykorzystania techniki termowizyjnej w procesach przemysłowych hutnictwa żelaza i stali podano w [1, 2]. Badania termowizyjne mogą również posłużyć jako narzędzie pomocnicze do badania rozkładu temperatury na powierzchni badanego elementu w procesach symulacji [3]. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przykład zastosowania badań termowizyjnych do weryfikacji wyników symulacji numerycznej. Przeprowadzone badania posłużyły do porównania temperatury pancierza kadzi lejniczej na podstawie badań modelowych z pomiarami wyznaczonymi za pomocą analizy termowizyjnej.



Rys. 1. Termogram obrazujący rozkład temperatury na powierzchni kadzi lejniczej usytuowanej na wieży urządzenia COS

Fig. 1. Thermal image illustrating temperature distribution on the surface of ladle located on tower of COS machine



Rys. 2. Rozkład temperatury pancierza kadzi lejniczej wyznaczonej na podstawie badań modelowych

Fig. 2. Temperature distribution on ladle casing determined by model research

Ponadto należy wspomnieć, że mimo wielu zastosowań termowizji we wszystkich dziedzinach nauki i techniki należy się spodziewać ciągłego rozwoju wykorzystania tej techniki w tym również w hutnictwie żelaza i stali [4].

3. PRZYKŁADY WYKORZYSTANIA TERMOWIZJI W PROCESACH SYMULACJI NUMERYCZNEJ

Analiza termowizyjna rozkładu temperatury na powierzchni badanego elementu w modelowaniu numerycznym wykorzystywana jest w dwóch etapach:

- Przygotowanie danych wejściowych (etap 1)
- Weryfikacja uzyskanych wyników symulacji numerycznej (etap 2)

Możliwości wykorzystania badań termowizyjnych do wspomagania procesów symulacji przedstawiono na przykładzie wytopów przemysłowych procesu ciągłego odlewania stali z wykorzystaniem programu ProCAST, służącego do symulacji odlewania i krzepnięcia metalu.

3.1. PRZYGOTOWANIE DANYCH WEJŚCIOWYCH

Wyniki analizy rozkładu pola temperaturowego na powierzchni pasma podczas procesu ciągłego odlewania stali, zarejestrowane przy użyciu kamery termowizyjnej wykorzystywane są do pośredniego określenia warunków jednoznaczności. Na podstawie uzyskanych obrazów termalnych przeprowadzana jest analiza zmian temperatury na powierzchni wlewka na różnych etapach procesu ciągłego odlewania stali.

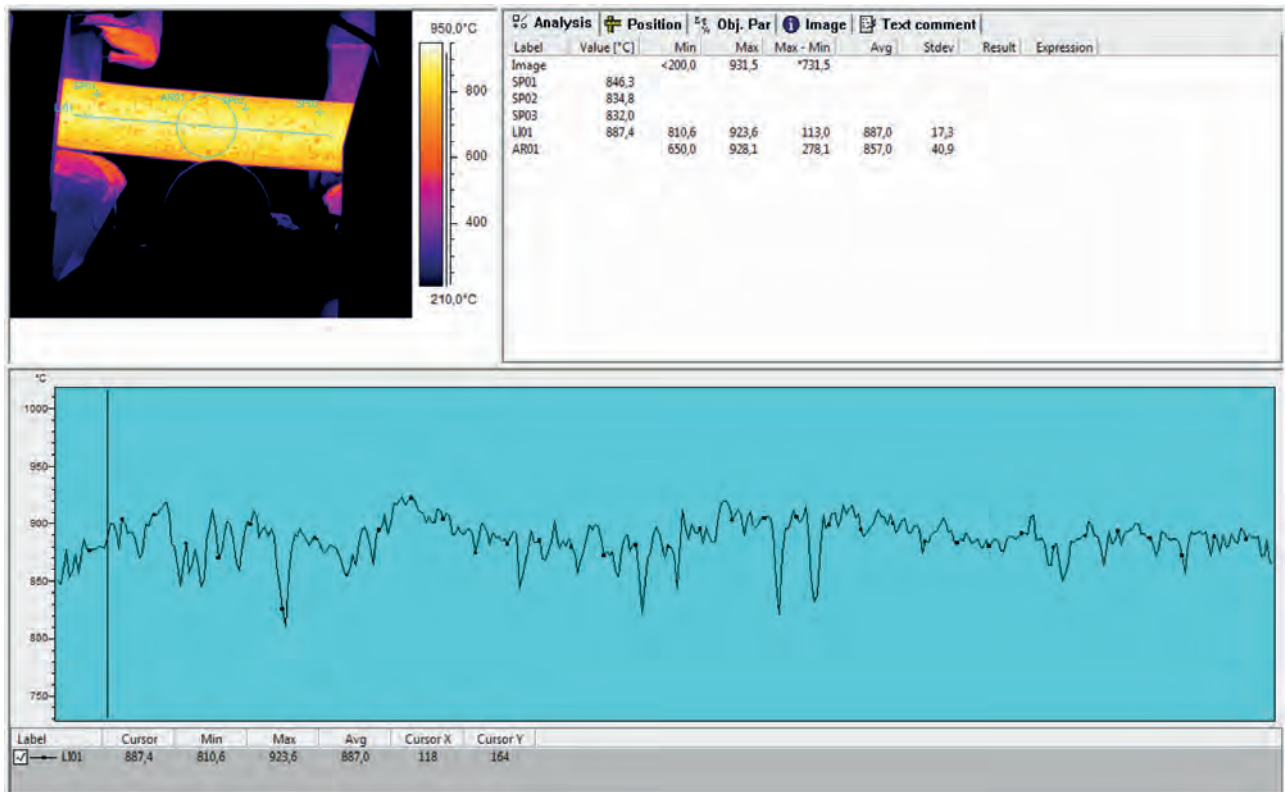
Przykładowy termogram przedstawiający boczną powierzchnię wlewka ciągłego w trakcie wytopu przemysłowego przedstawiono na rysunku nr 3.

Uzyskane w ten sposób dane wprowadzane są do programu ProCAST (moduł symulacji odwrotnej) jako historia zmian temperatury. Otrzymane wyniki symulacji odwrotnej, w postaci współczynnika odprowadzenia ciepła, wykorzystywane są jako jeden z warunków brzegowych w obliczeniach bezpośrednich symulacji procesu ciągłego odlewania stali.

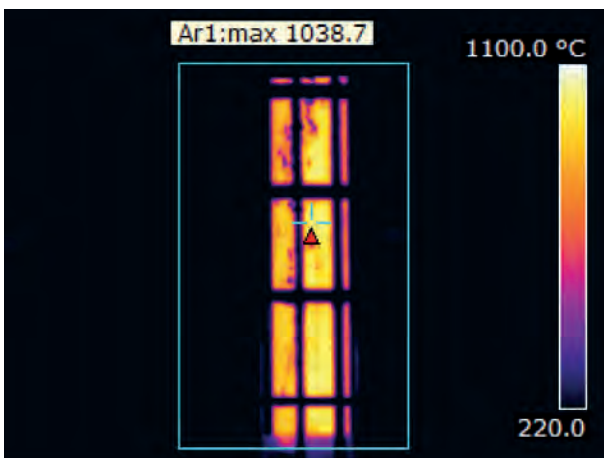
3.2. WERYFIKACJA UZYSKANYCH WYNIKÓW SYMULACJI NUMERYCZNEJ

Możliwości programów komputerowych do zaawansowanej analizy termogramów pozwalają między innymi na określenie temperatury w dowolnym punkcie badanego obiektu. Na tej podstawie możliwe jest porównanie temperatury na rzeczywistym obiekcie z temperaturą uzyskaną w wyniku symulacji numerycznej. Przykładowe wyniki pomiarów temperatury na powierzchni pasma, uzyskane na podstawie analizy termogramu, w zestawieniu z wynikami symulacji numerycznej rozkładu temperatury na przekroju poprzecznym pasma (dla tych samych miejsc) zostały przedstawione na rysunkach 4 i 5.

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki analizy termogramu, obrazującego rozkład pola temperaturowego na powierzchni pasma po wyjściu z komory chłodzenia wtórnego, przeprowadzonej dla potrzeb weryfikacji wyników symulacji numerycznej z wykorzystaniem programu ProCAST, natomiast na rysunku 5 przedstawiono rozkład temperatury na przekroju poprzecznym wlewka ciągłego, z zaznaczonym punktem odczytu temperatury dla potrzeb weryfikacji badań modelowych.



Rys. 3. Termogram obrazujący rozkład pola temperaturowego na bocznej powierzchni wlewka ciągłego
 Fig. 3. Thermal image illustrating temperature distribution on side surface of continuously cast strand

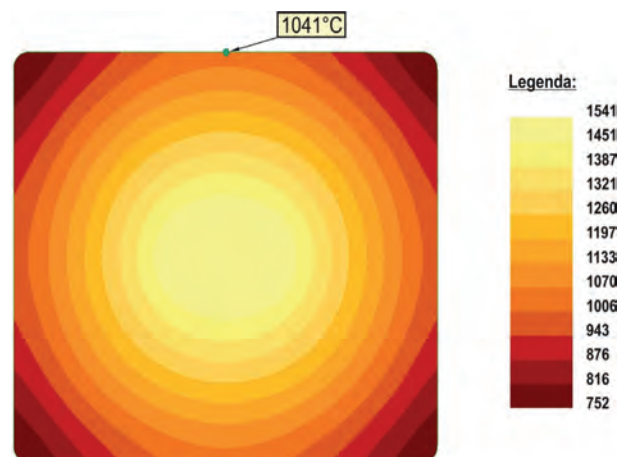


Rys. 4. Termogram obrazujący rozkład pola temperaturowego na powierzchni pasma ciągłego po wyjściu z komory chłodzenia wtórnego

Fig. 4. Thermal image illustrating temperature distribution on surface of the strand coming out from the secondary cooling chamber

4. PODSUMOWANIE

Istotną cechą hutnictwa żelaza i stali jest realizacja wielu wysokotemperaturowych procesów, które mogą być monitorowane przy wykorzystaniu kamery termowizyjnej. Metoda ta pozwala na otrzymanie radiometrycznych obrazów termalnych wykorzystując promieniowanie elektromagnetyczne w paśmie podczerwieni. Technika termowizyjna może być między innymi wykorzystywana do monitorowania stanu technicznego urządzeń, bieżącego monitorowania



Rys. 5. Rozkład temperatury na przekroju poprzecznym pasma uzyskany na podstawie symulacji numerycznej z wykorzystaniem programu ProCAST

Fig. 5. Temperature distribution over cross-section of the strand obtained on the basis of numerical simulation with ProCAST software

technologii oraz wspomagania procedur badawczych w tym symulacji fizycznej i numerycznej. W przypadku symulacji fizycznej dokonuje się monitorowania procesów prowadzonych w warunkach laboratoryjnych celem porównania wyników z badaniami prowadzonymi w skali przemysłowej. Natomiast w przypadku symulacji numerycznej pomiary termowizyjne są źródłem danych do określania warunków początkowych i brzegowych dla modeli matematycznych, a następnie ich weryfikacji poprzez porównanie wyników obliczeń i pomiarów na obiektach rzeczywistych. Przedstawiono

przykłady zastosowania termowizji w procesach symulacji numerycznej na przykładzie programu ProCAST służącego do symulacji odlewania i krzepnięcia metalu. Analiza termowizyjna rozkładu pola temperaturowego na powierzchni badanego obiektu wykorzystywana jest w dwóch etapach: to jest przygotowanie danych wejściowych oraz weryfikacja uzyskanych wyników symulacji numerycznej. Zaprezentowano to na przykładzie symulacji numerycznej ciągłego odlewania stali.

Ponadto zaprezentowano przykład weryfikacji wyników symulacji numerycznej zmian temperatury wewnątrz kadzi lejniczej w oparciu o pomiary temperatury na rzeczywistym obiekcie.

Zasygnalizowano możliwość wykorzystania techniki termowizyjnej jako narzędzia pomocniczego w pracach badawczych do weryfikacji wyników obliczeń numerycznych poprzez porównanie ich z pomiarami przeprowadzonymi na obiektach rzeczywistych.

LITERATURA

1. Wittchen W.: Wykorzystanie techniki termowizyjnej w hutnictwie żelaza i stali, Prace IMŻ, nr 1, 2010, s. 250-254
2. Wittchen W., Niesler M., Borecki M., Zdonek B.: Application of thermovision method in analysing metallurgical processes, Publikacja referatów z 9th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography, Kraków – Poland, 2-5 czerwca 2008, s. 101-104
3. Borecki M., Mazur A., Stecko J., Wittchen W.: Zastosowanie termowizji w symulacji numerycznej i fizycznej w badaniach procesów hutniczych, IX Konferencja Termografia i Termometria w Podczerwieni, Ustroń 19-21.10.2011, s. 241-247
4. Więcek M., Strakowski R., Wiecek B., Olbrycht R., Świątczak T., Wittchen W., Borecki M.: Estimation of steel slag parameters using thermal imaging and neural networks classification, Publikacja referatów z 10th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography, Quebec City – Kanada, 27-30 July 2010, s. 669-673