

Wacław WITTCHEN
Mariusz BORECKI
Artur MAZUR

Sieć Badawcza Łukasiewicz – IMŻ ■ Łukasiewicz Research Network – Institute of Ferrous Metallurgy

WYKORZYSTANIE BADAŃ TERMOWIZYJNYCH W PRZEMYSŁE STALOWNICZYM

USE OF THERMAL IMAGING TESTS IN THE STEEL INDUSTRY

Przedstawiono możliwości oraz wybrane przykłady praktycznego wykorzystania techniki termowizyjnej w przemyśle hutniczym jako bezinwazyjnej metody badawczej do pomiarów rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu. Metoda ta może być wykorzystana we wszystkich etapach produkcji stali począwszy od przygotowania wsadu aż do gotowego wyrobu, jak również diagnostyki urządzeń technicznych. Podkreślono nieinwazyjny charakter badań, który nie zakłóca cyklu produkcyjnego.

Słowa kluczowe: termowizja, termografia, podczerwień, badania nieniszczące, procesy symulacji

1. WPROWADZENIE

Dla oceny procesów technologicznych w przemyśle metalurgicznym oraz zjawisk zachodzących w urządzeniach produkcyjnych bardzo ważnym parametrem jest temperatura, która decyduje o prawidłowości przebiegu tych procesów oraz wpływa na cechy użytkowe wielu wyrobów. Klasycznie stosowane metody pomiaru temperatury, takie jak np. pirometry, termoelementy, termometry stykowe, dają jedynie punktowy pomiar temperatury, który nie zawsze jest wystarczający dla prawidłowej oceny zwłaszcza w warunkach wielkopowierzchniowej wymiany ciepła. W wielu przypadkach niezbędne są informacje o rozkładzie temperatury wzdłuż określonej linii lub na całej powierzchni badanego obiektu.

Możliwości takie stwarza metoda termowizji, która pozwala na zobrazowanie rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu w sposób bezkontaktowy, poprzez pomiar energii promieniowania podczerwonego, emitowanego z badanego obiektu. Pole zastosowań techniki termowizyjnej jest bardzo szerokie niemal we wszystkich dziedzinach nauki i techniki. Technika ta może być z powodzeniem stosowana do kontroli rozkładu temperatury on-line w ciągłych procesach produkcyjnych, w tym w wielu aspektach w hutnictwie. Dzięki obrazom termowizyjnym można wnioskować o stanie termalnym obserwowanych obiektów oraz dynamice zmian tego stanu, co jest bardzo przydatne w działaniach diagnostycznych, produkcyjnych i badawczych.

The paper presents the possibilities and selected examples of practical use of the thermal imaging technique in the metallurgical industry as a non-invasive testing method for measuring temperature distribution on the surface of the examined object. This method can be used in all stages of steel production, from charge preparation to finished product, as well as diagnostics of technical devices. The paper emphasises the non-invasive nature of the examination, which does not disturb the production cycle.

Keywords: thermal imaging, thermography, infra-red, non-destructive testing, simulation processes

1. INTRODUCTION

For the assessment of technological processes in the metallurgical industry and phenomena occurring in production equipment, the temperature, which determines the correctness of these processes and affects usable features of many products, is a very important parameter. Classically used methods of measuring temperature, such as e.g. pyrometers, thermocouples, or contact thermometers, provide only point temperature measurement, which is not always sufficient for correct assessment, especially in the conditions of heat exchange on large surfaces. In many cases, information about temperature distribution along a specific line or over the entire surface of the test object is necessary.

Such possibilities are created by the thermal imaging method, which allows imaging temperature distribution on the surface of the examined object in a non-contact manner, by measuring the energy of infra-red radiation emitted from the examined object. The area of application of the thermal imaging technique is very wide in almost all fields of science and technology. This technique can be successfully used to control temperature distribution online in continuous production processes, including many aspects in the steel industry. Thanks to thermal images it is possible to infer about the thermal state of the observed objects and the dynamics of changes in this state, which is very useful in diagnostic, production and testing activities.

2. KIERUNKI WYKORZYSTANIA TERMOWIZJI W HUTNICTWIE ŻELAZA I STALI

Jako typowe przykłady wykorzystania termowizji do określenia stanu technicznego urządzeń oraz do badania procesów produkcyjnych i technologicznych w hutnictwie żelaza i stali, można wskazać:

- W zakresie kontroli stanu urządzeń:
 - monitorowanie pracy pieców, kadzi oraz ich stanów awaryjnych
 - ocena strat cieplnych z pieców i innych obiektów
 - ocena stanu drożności magistrali przepływu gazów procesowych.
- W zakresie procesów wytwarzania surowki i stali kontrolę:
 - procesu spiekania rud żelaza
 - procesu wielkopieczowego wraz z infrastrukturą wielkiego pieca
 - procesów stalowniczych obejmującą: detekcję żużla (slag detection), odlewanie stali do wlewnic, proces ciągłego odlewania stali, obróbkę pozapiecową.
- Śledzenie procesów nagrzewania, chłodzenia, stygnięcia oraz roztapiania żużla, metalu, zasypek itp.
- Badanie procesów przeróbki plastycznej (procesy kucia, walcowania, wytwarzania rur i inne).
- Wspomaganie procesów optymalizacji oraz symulacji fizycznej i numerycznej.

W wielu przypadkach uważa się za konieczne instalowanie na liniach produkcyjnych stacjonarnych kamer termowizyjnych lub skanerów na podczerwień do ciągłego monitorowania procesu produkcyjnego. Jako typowe przykłady dla tego typu aplikacji można podać detekcję żużla podczas spustu stali z pieca hutniczego do kadzi lub monitorowanie procesu walcowania blach. Systemy takie są wspomagane przez dedykowane do tego celu oprogramowanie komputerowe [1–3].

3. WYBRANE PRZYKŁADY WYKORZYSTANIA TERMOWIZJI W PRZEMYSŁE STALOWNICZYM

Poniżej przedstawiono wybrane przykłady wykorzystania techniki termowizyjnej w stalownictwie, a w szczególności detekcję żużla podczas spustu stali z pieca metalurgicznego, monitoring procesu odlewania stali, w tym odlewanie konwencjonalne oraz ciągle, monitoring procesów cieplnych takich jak nagrzewanie, chłodzenie, stygnięcie i roztapianie, jak również wspomaganie procesów symulacji numerycznej w aplikacjach hutniczych.

Do badań użyto pomiarowej kamery termowizyjnej pracującej w zakresie spektralnym od 7,5 do 13,0 μm .

3.1. DETEKcja ŻUŻLA PODCZAS SPUSTU STALI Z PIECA STALOWNICZEGO (SLAG DETECTION)

Na rysunku 1a oraz 1b przedstawiono przykład wykorzystania metody termowizyjnej do detekcji żużla podczas spustu stali z pieca hutniczego do kadzi odlewniczej.

W procesie metalurgicznym istotną sprawą jest, aby podczas spustu stali z pieca hutniczego nie dopuścić do przedostawania się żużla piecowego do kadzi odlewniczej ze względu na jego szkodliwy wpływ na właściwości wytapianej stali oraz dalszą obróbkę pozapiecową.

2. OF THE USE OF THERMAL IMAGING IN THE IRON AND STEEL INDUSTRY

The following can be indicated as typical examples of the use of thermal imaging to determine the technical condition of devices, and to study production and technological processes in the iron and steel industry:

- In the scope of machinery condition control:
 - monitoring of the operation of furnaces, ladles, and their emergency conditions
 - assessment of heat losses from furnaces and other facilities
 - assessment of the patency of the process gas flow main.
- In the scope of pig iron and steel production processes, control of:
 - the iron ore sintering process
 - the blast furnace process together with blast furnace infrastructure
 - steelmaking processes including: slag detection, steel casting into ingot moulds, continuous steel casting process, secondary treatment.
- Monitoring of the processes of heating, cooling, temperature reduction and melting of slag, metal, powders, etc.
- Examination of plastic working processes (forging, rolling, pipe making and other processes).
- Supporting optimisation processes as well as physical and numerical simulation.

In many cases, it is considered necessary to install stationary thermal imaging cameras or infra-red scanners on production lines for continuous monitoring of the production process. Slag detection during the drainage of steel from the furnace to the ladle or monitoring of the sheet rolling process can be provided as typical examples for this type of application. Such systems are supported by dedicated computer software [1–3].

3. SELECTED EXAMPLES OF THE USE OF THERMAL IMAGING IN THE STEEL INDUSTRY

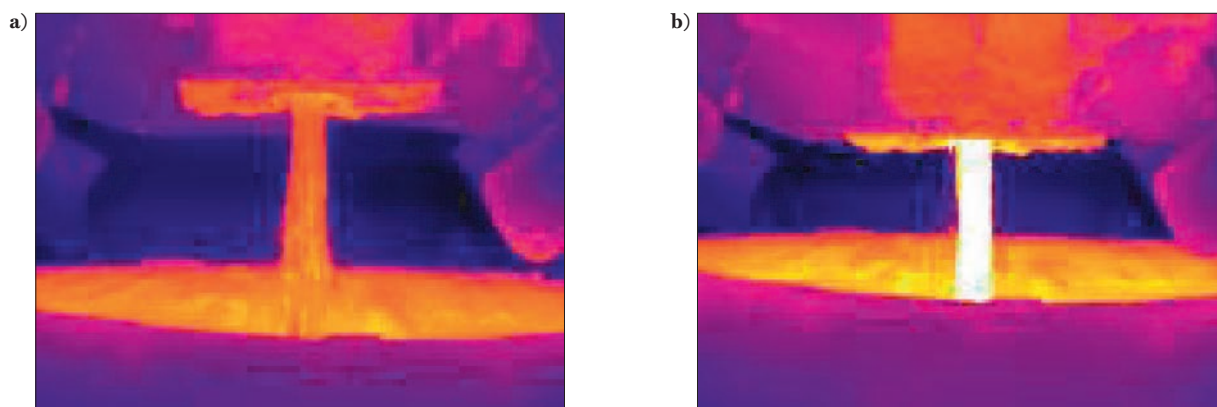
Selected examples of the use of the thermal imaging technique in the steel industry, in particular slag detection during steel drainage from a metallurgical furnace, monitoring of the steel casting process including conventional and continuous casting, monitoring of thermal processes such as heating, cooling, temperature reduction and melting, as well as supporting numerical simulation processes in metallurgical applications are presented below.

A thermal imaging camera operating in the spectral range of 7.5 to 13.0 μm was used for the tests.

3.1. SLAG DETECTION DURING THE DRAINAGE OF STEEL FROM A STEEL FURNACE

Figures 1a and 1b show an example of using the thermal imaging method to detect slag during the drainage of steel from a metallurgical furnace to a casting ladle.

In the metallurgical process, it is important to prevent the furnace slag from entering the casting ladle during the drainage of steel from the metallurgical furnace due to its harmful effect on the properties of the smelted steel and further secondary treatment.



Rys. 1. Płynna stal wypływająca z otworu spustowego (a), żużel pojawiający się w otworze spustowym (b)
Fig. 1. Liquid steel flowing out of the outlet (a), Slag appearing in the outlet (b)

W procesie metalurgicznym ciekła stal i żużel mają w przybliżeniu jednakowe temperatury lecz różne charakterystyki promieniowania (współczynniki emisyjności). Z tego powodu kamera termowizyjna obrazuje żużel jako znacznie cieplejszy. W praktyce na obrazie termowizyjnym obserwujemy wtedy zmianę koloru wypływającej strugi w momencie pojawienia się żużla w otworze spustowym. Stosowanie tej metody skutecznie ogranicza przedostawanie się żużla piecowego do kadzi.

W wielu zakładach metalurgicznych instaluje się specjalne stacjonarne systemy termowizyjne przystosowane do detekcji żużla w procesie stalowniczym. Metodę tę zaczęto stosować w światowym hutnictwie w ostatnich latach XX wieku.

Należy wspomnieć, że prowadzi się prace badawcze mające na celu rozszerzenie termowizyjnej metody detekcji żużla o nowe funkcje celem uzyskania rozszerzonych informacji o właściwościach żużla stalowniczego [3].

3.2. ODLEWANIE KONWENCJONALNE STALI

Istotnym problemem występującym podczas odlewania stali w sposób konwencjonalny jest pękanie wlewnic i wlewków, które jest wywołane naprężeniami cieplnymi występującymi podczas szybkich zmian temperatury. Zjawiska takie występują w trakcie procesu odlewania i krzepnięcia wlewków. Stosując technikę termowizyjną możemy prowadzić badania mające na celu określenie rozkładu tempera-

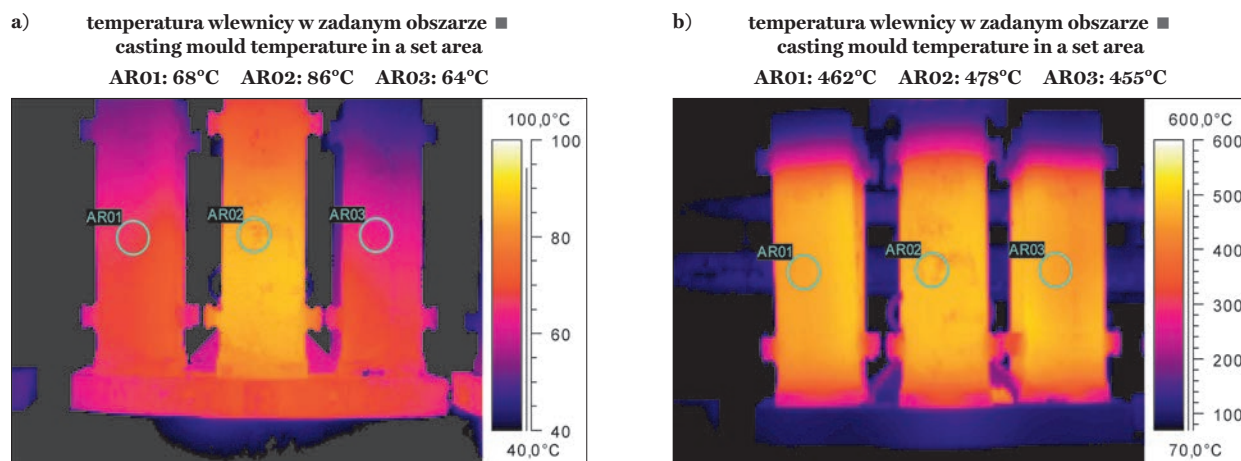
In the metallurgical process, liquid steel and slag have approximately the same temperature but different radiation characteristics (emission factors). For this reason, a thermal imaging camera shows slag as significantly warmer. Then, in practice, a thermal image shows a change in the colour of the stream flowing out when slag appears in the outlet. The application of this method effectively limits the entry of furnace slag into the ladle.

Special stationary thermal imaging systems adapted to the detection of slag in the steelmaking process are installed in many metallurgical plants. This method was first used in global metallurgy in the last years of the 20th century.

It should be mentioned that research is carried out to extend the thermal imaging slag detection method with new functions to obtain extended information on the properties of steel slag [3].

3.2. CONVENTIONAL STEEL CASTING

An important problem occurring during steel casting in a conventional way is the cracking of casting moulds and ingots, which is caused by thermal stresses occurring during rapid temperature changes. Such phenomena occur during the process of casting and solidification of ingots. Using the thermal imaging technique, tests aimed at determining the temperature distribution on the surface of casting moulds



Rys. 2. Zestaw odlewniczy a) przygotowany do zalania, b) 35 minut po wypełnieniu metalem
Fig. 2. Casting set a) prepared for pouring, b) 35 minutes after pouring metal

tury na powierzchni wlewnic od początku odlewania aż do czasu ochłodzenia powierzchni. Przykładowe termogramy określające rozkład pola temperaturowego na powierzchni wlewnic przedstawiono na rys. 2a oraz 2b.

Dzięki monitoringowi termowizyjnemu można określić szybkość krzepnięcia i studzenia wlewków, co ma podstawowe znaczenie dla ich struktury i tym samym jakości. Wiedza ta pozwala modyfikować technologię i konstrukcję wlewnic oraz ich wstępne przygotowanie.

Badania termowizyjne umożliwiają również określenie temperatury wlewków po wyjęciu ich z wlewnic, co pozwala na optymalizację wyboru dalszych operacji technologicznych, takich jak umieszczenie w piecu grzewczym lub poddanie przeróbce plastycznej.

3.3. CIĄGŁE ODLEWANIE STALI

Technika termowizyjna może być również użyteczna w kontroli procesów ciągłego odlewania stali, gdzie monitoringowi temperatury poddaje się wlewki odlewane w sposób ciągły, począwszy od wyjścia z krystalizatora aż do ułożenia na tzw. „stosie” lub przekazaniu na chłodnie, gdzie wlewki ulegają końcowemu schłodzeniu.

Na rysunku 3 przedstawiono różnice temperatur na powierzchni bocznej wlewka ciągłego po wyjściu z krystalizatora oraz za I i II klatką ciągnąco-prostującą.

Na rysunkach 4 i 5, przedstawiono rozkłady temperatur na powierzchni górnej wlewków ciągłych w trakcie ciągłego odlewania stali na dwużyłowym urządzeniu COS. Wyraźnie widać, że jedna żyła jest chłodniejsza.

from the beginning of casting until the surface cools down can be conducted. Examples of thermal images determining the distribution of the temperature field on the surface of ingot moulds are shown in Figs. 2a and 2b.

Thanks to thermal imaging monitoring, the solidification and cooling rate of ingots can be determined, which is of fundamental importance for their structure and quality. This knowledge allows modifying the technology and design of ingot moulds and their initial preparation.

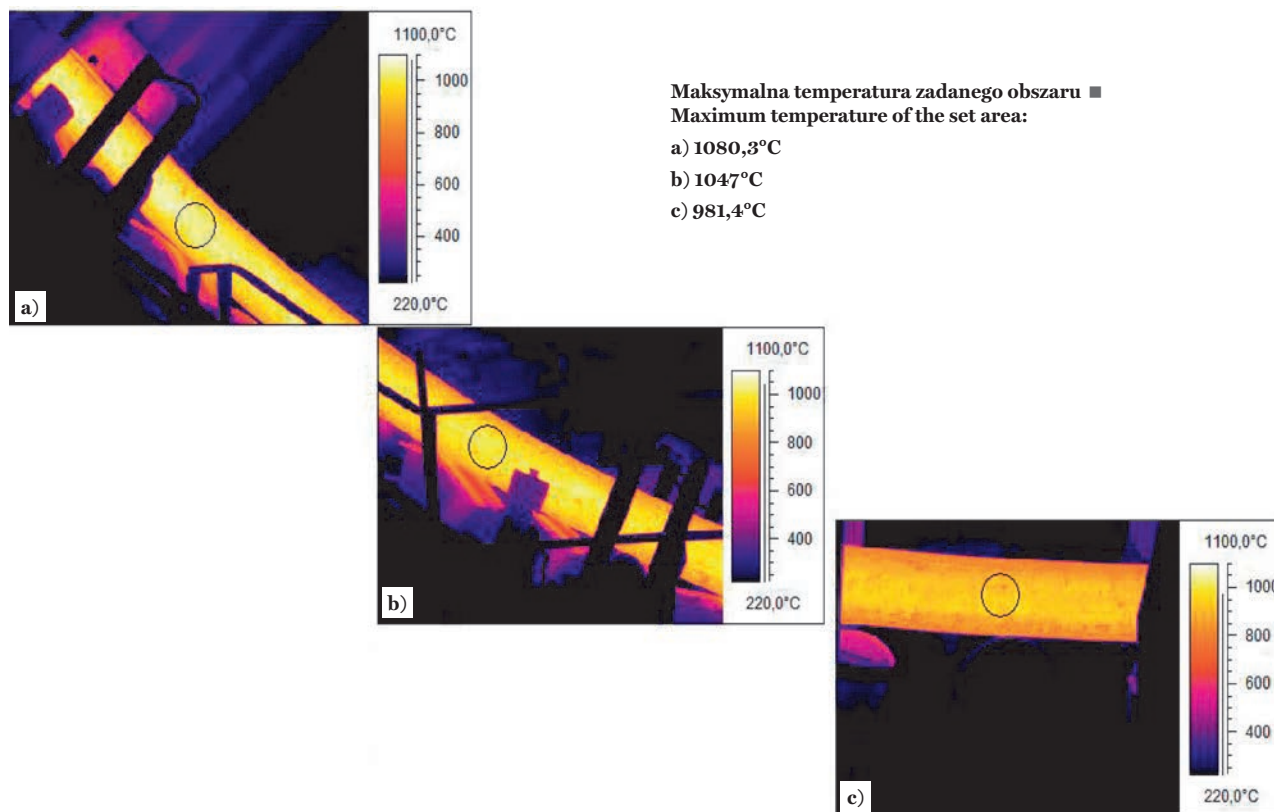
Thermal imaging examinations also allow determining the temperature of the ingots after removing them from the ingot moulds, which allows optimising the selection of further technological operations such as placing in a heating furnace or plastic working.

3.3. CONTINUOUS STEEL CASTING

The thermal imaging technique can also be useful in the control of continuous steel casting processes, where temperature monitoring is carried out on ingots cast continuously, starting from the outlet from the crystalliser, up to 'stacking' or transfer to cold storage, where the ingots are finally cooled.

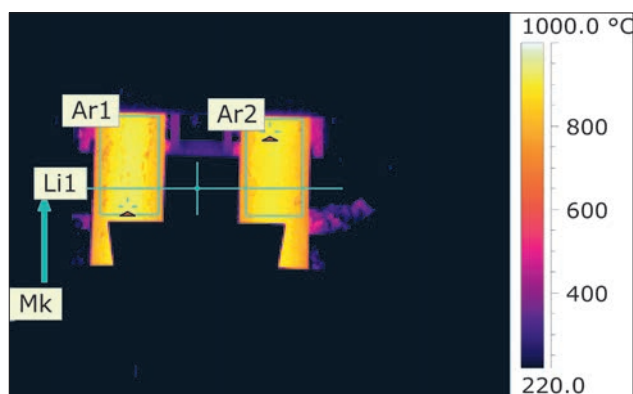
Figure 3 shows the temperature differences on the lateral surface of a continuous ingot after exiting the crystalliser, and after the 1st and 2nd unbending stand.

Figures 4 and 5 show the temperature distribution on the upper surface of continuous ingots during continuous steel casting on a two-strand CC machine. It is clearly visible that one strand is cooler.



Rys. 3. Kontrola rozkładu temperatury powierzchni bocznej wlewka ciągłego: a) wyjście wlewka COS z komory chłodzenia wtórnego, b) wlewek COS przed I klatką ciągnąco-prostującą, c) wlewek COS przed II klatką ciągnąco-prostującą

Fig. 3. Control of temperature distribution of the lateral surface of a continuous ingot: a) CC ingot exiting the secondary cooling chamber, b) CC ingot before the 1st unbending stand, c) CC ingot before the 2nd unbending stand



Mk – kierunek odlewania ■ casting direction

Maksymalne temperatury w zadanych obszarach ■
Maximum temperatures in set areas

Ar1 max.: 939°C

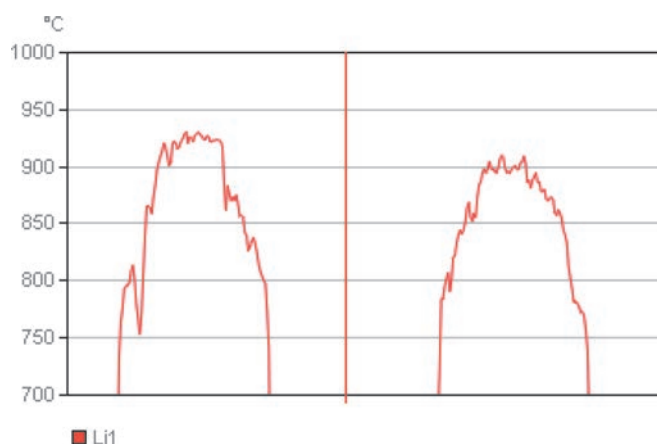
Ar2 max.: 920°C

Znacznikami zaznaczono najcieplejsze punkty w zadanych obszarach

■ The tags mark the warmest points in the set areas

Rys. 4. Termogram obrazujący rozkład pola temperaturowego na górnej powierzchni wlewków ciągłych (za I klatką ciągnąco prostującą)

Fig. 4. Thermal image showing the distribution of temperature field on the upper surface of continuous ingots (behind the 1st unbending stand)



Rys. 5. Rozkład temperatury na górnej powierzchni wlewa ciągłego

Fig. 5. Temperature distribution on the upper surface of a continuous ingot

3.4. KONTROLA PROCESÓW CIEPLNYCH

Za pomocą kamery termowizyjnej można śledzić przebieg procesów roztopienia oraz nagrzewania, chłodzenia i stygnięcia wyrobów stalowych.

Wybrane przykłady przedstawiono na rys. 6–11.

Kontrola procesów nagrzewania

Na rys. 6a oraz 6b przedstawiono kontrolę procesu nagrzewania na przykładzie fragmentu pieca szybowego, gdzie podano maksymalne wartości temperatur w wybranych obszarach pancerza pieca szybowego. Badanie przeprowa-

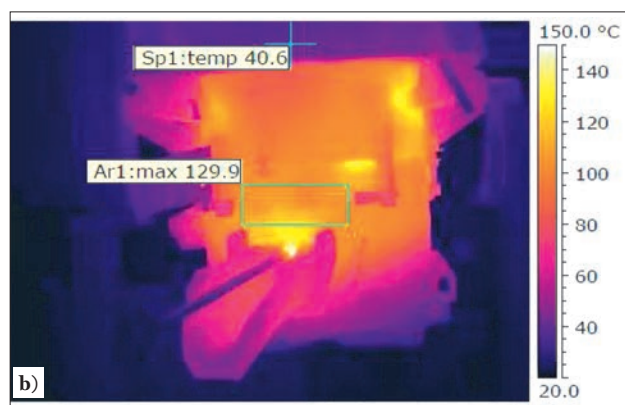
3.4. CONTROL OF THERMAL PROCESSES

A thermal imaging camera can be used to track the processes of melting, heating, cooling and temperature reduction of steel products.

Selected examples are shown in Figs. 6–11.

Control of heating processes

Figs. 6a and 6b show the control of the heating process on the example of a shaft furnace section, where the maximum temperatures in selected areas of the shaft furnace armour are given. The test was carried out during the heating of the



Rys. 6. Fragment pieca szybowego w trakcie a) uruchamiania, b) pracy

Fig. 6. Section of a shaft furnace during a) start-up, b) operation

dzono w trakcie rozgrzewania pieca (po uruchomieniu) i po rozgrzaniu pieca. Natomiast na rysunku 7 przedstawiono wykres charakteryzujący średnią temperaturę pancierza pieca dla wybranego obszaru zainteresowania w trakcie jego pracy w czasie ponad siedmiu godzin. Uzyskane informacje pozwalają śledzić wpływ wprowadzania do pieca różnych materiałów wsadowych oraz dodatków na bilans energetyczny. Umożliwia to projektowanie warunków wsadowych pod kątem stanu termicznego pieca.

Kontrola procesów chłodzenia

Kontrolę procesów chłodzenia przedstawiono na przykładzie pomiarów temperatury wybranych odcinków walcówki umieszczonej na linii regulowanego chłodnia „Stelmor”. Termogramy oraz profile liniowe walcówki wybranych fragmentów linii przedstawiono na rys. 8–10.

Wykres obrazujący krzywą chłodzenia walcówki umieszczonej na linii „Stelmor” przedstawiono na rys. 11.

W podobny sposób można monitorować inne procesy cieplne, jak np. chłodzenie kształtowników przekazywanych na chłodnie, stygnięcie wlewków COS ułożonych na stosie, procesy stygnięcia odkuwek, procesy roztopienia np. zasypki dodawanych do krystalizatora urządzenia COS oraz inne operacje technologiczne.

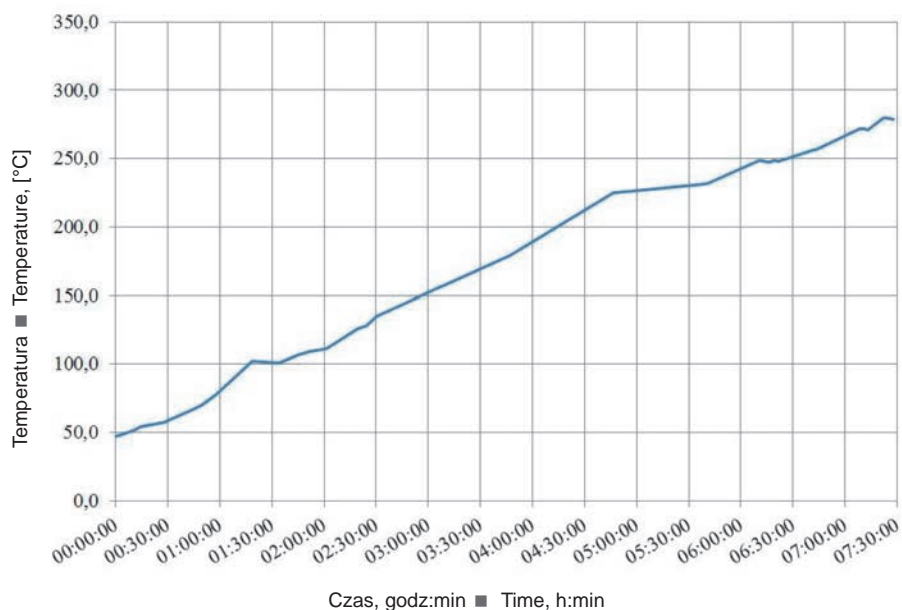
furnace (after start-up) and after heating the furnace. Figure 7 presents a graph characterising the average furnace armour temperature for a selected area of interest during its operation for over seven hours. The obtained information allows tracking the impact of introducing various input materials and additives on the energy balance. This enables designing input conditions for the thermal state of the furnace.

Control of cooling processes

The control of cooling processes is presented on the example of temperature measurement of selected sections of wire rod located on the line of a regulated Stelmor cold store. Thermal images and wire rod line profiles of selected line fragments are shown in Figs. 8 to 10.

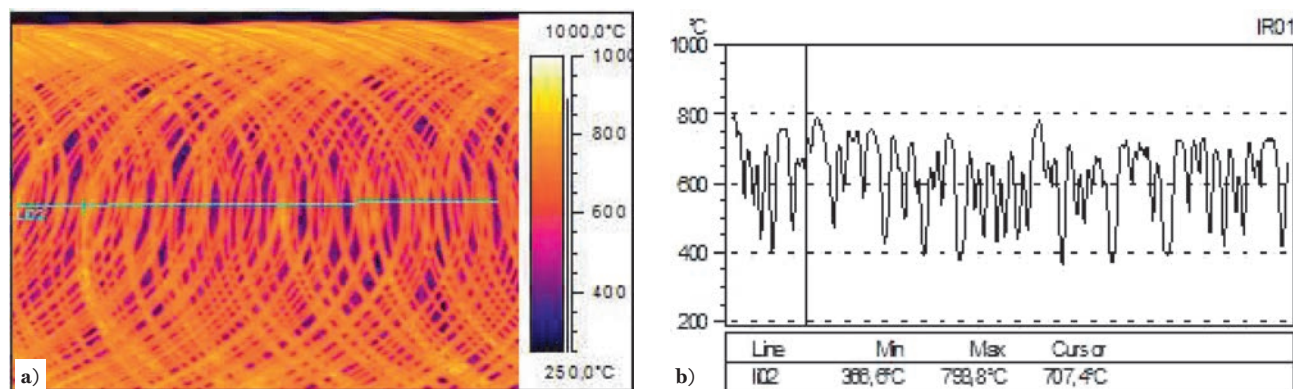
The graph illustrating the cooling curve of the wire rod placed on the Stelmor line is presented in Fig. 11.

Other thermal processes can be monitored similarly, such as cooling of sections transferred to cold stores, temperature reduction of stacked CC ingots, temperature reduction processes for forgings, melting processes, e.g. of powders added to the CC machine crystalliser, and other technological operations.



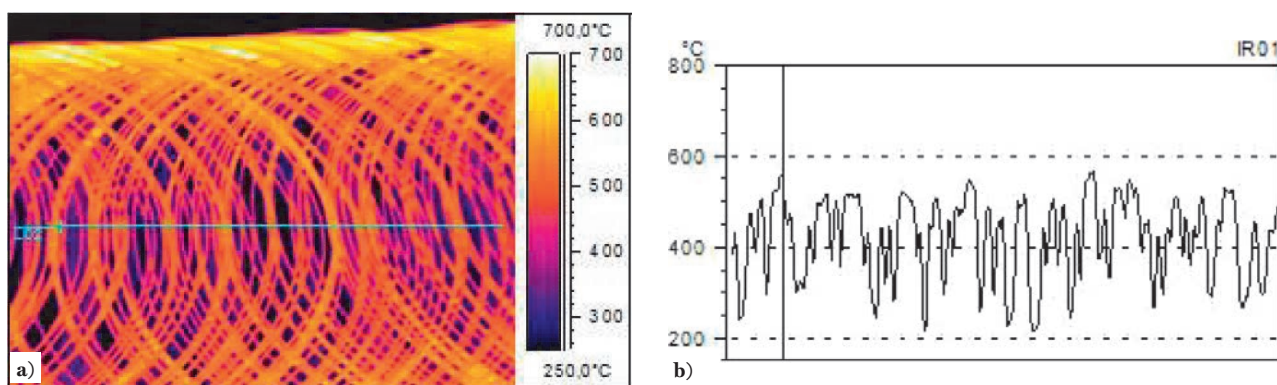
Rys. 7. Przebieg zmian temperatury pancierza pieca szybowego w trakcie pracy

Fig. 7. Course of temperature changes in the shaft furnace armour during operation



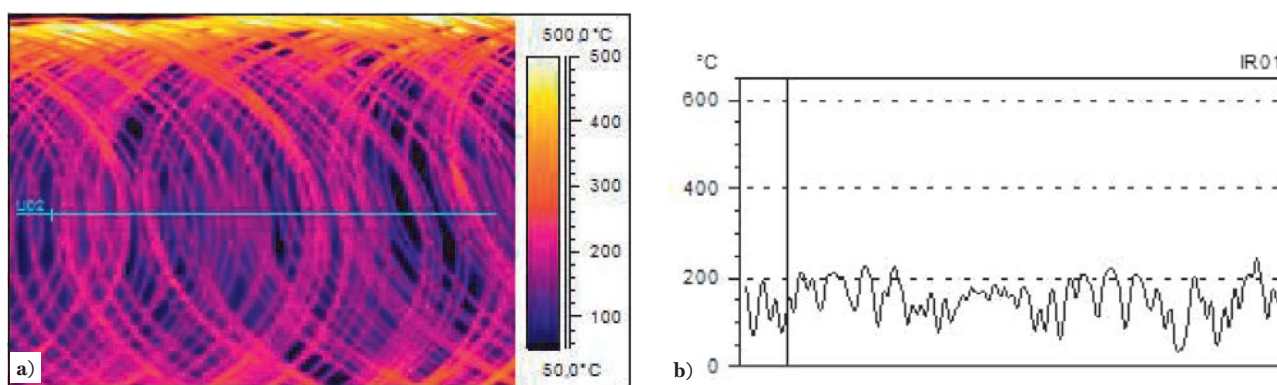
Rys. 8. Segment walcówki w odległości 5 m od głowicy a) termogram b) zadany profil liniowy temperatury

Fig. 8. Wire rod section at a distance of 5 m from the head a) thermal image b) set temperature line profile



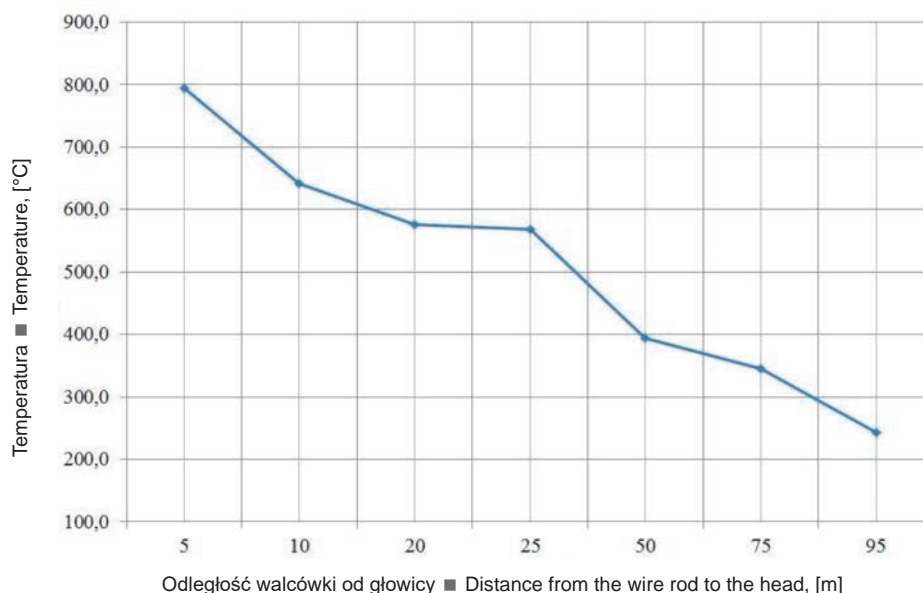
Rys. 9. Segment walcówki w odległości 25 m od głowicy a) termogram b) zadany profil liniowy temperatury

Fig. 9. Wire rod section at a distance of 25 m from the head a) thermal image b) set temperature line profile



Rys. 10. Segment walcówki w odległości 95 m od głowicy: a) termogram, b) zadany profil liniowy temperatury

Fig. 10. Wire rod section at a distance of 95 m from the head a) thermal image b) set temperature line profile



Rys. 11. Krzywa chłodzenia walcówki umieszczonej na linii regulowanego chłodzenia typu „Stelmor”

Fig. 11. Cooling curve for wire rod located on the Stelmor-type controlled cooling line

3.5. WSPOMAGANIE PROCESÓW SYMULACJI NUMERYCZNYCH

Oprócz typowych zastosowań przemysłowych do oceny stanu technicznego oraz kontroli procesów technologicznych termowizja może być wykorzystana jako narzędzie

3.5. SUPPORTING NUMERICAL SIMULATION PROCESSES

In addition to typical industrial applications for the assessment of technical condition and control of technological processes, thermal imaging can be used as a support tool in

wspomagające w procesach symulacji numerycznej i fizycznej zarówno do określania warunków początkowych i brzegowych, jak i weryfikacji wyników obliczeń.

Na podstawie pomiarów termowizyjnych określono rozkład temperatury powierzchni kadzi. Dane te wykorzystano do określenia warunków początkowych i brzegowych dla symulacji nagrzewania kadzi liczonej w programie ProCAST.

Ponadto wykonane pomiary posłużyły do porównania temperatury pancierza kadzi lejniczej wyznaczonej na podstawie badań modelowych z pomiarami wykonanymi za pomocą badań termowizyjnych i tym samym zweryfikowania przyjętych warunków początkowych i brzegowych oraz właściwości termofizycznych poszczególnych materiałów.

Na rysunku 12a oraz 12b przedstawiono porównanie badań termowizyjnych i wyników symulacji numerycznej wykonanych w ramach weryfikacji zbudowanego modelu.

Metoda termowizji może być również przydatna do wspomagania symulacji fizycznej, gdzie dokonuje się monitorowania obiektów w warunkach laboratoryjnych celem porównania wyników z badaniami prowadzonymi w skali przemysłowej.

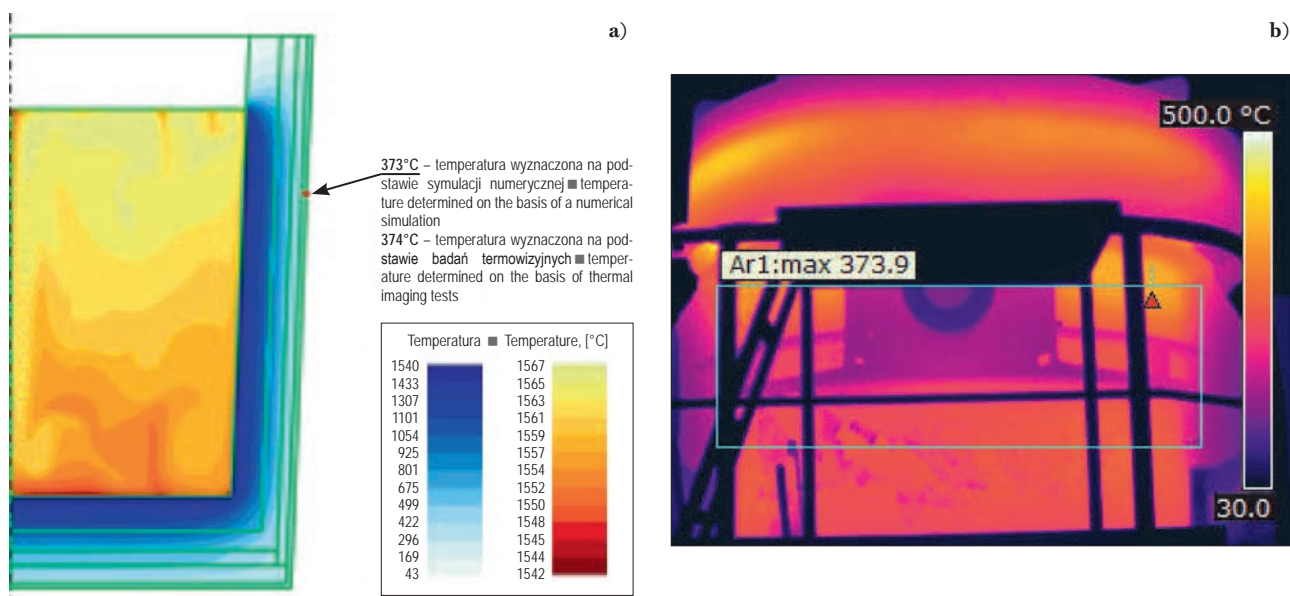
numerical and physical simulation processes, both for determining initial and boundary conditions as well as for verification of calculation results.

The temperature distribution of a ladle surface was determined based on thermal imaging measurement. These data were used to determine the initial and boundary conditions for the simulation of ladle heating calculated in the ProCAST program.

In addition, the measurement was used to compare the pouring ladle armour temperature determined on the basis of model tests with measurement taken by means of thermal imaging tests, and thus to verify the assumed initial and boundary conditions, as well as the thermophysical properties of individual materials.

Figures 12a and 12b show a comparison of thermal imaging tests and the results of numerical simulation carried out as part of verification of the constructed model.

The thermal imaging method can also be useful to support a physical simulation where objects are monitored under laboratory conditions to compare the results with research carried out on an industrial scale.



Rys. 12. Rozkład temperatury pancierza kadzi lejniczej wyznaczony na podstawie badań a) modelowych b) termowizyjnych

Fig. 12. Distribution of temperature of the ladle armour determined on the basis of a) model tests, b) thermal imaging tests

4. PODSUMOWANIE

Zaprezentowano możliwości wykorzystywania techniki termowizyjnej jako bezinwazyjnej metody pomiarowej służącej do badania rozkładu pola temperaturowego na zewnętrznej powierzchni monitorowanego obiektu.

Przedstawiono wybrane przykłady dotyczące wykorzystania kamery termowizyjnej w aplikacjach hutniczych jako metody umożliwiającej kontrolę hutniczych procesów technologicznych i produkcyjnych.

W szczególności zaprezentowano detekcje żuła podczas spustu stal z pieca metalurgicznego do kadzi, proces nagrzewania wlewnic podczas odlewania konwencjonalnego, monitorowanie procesu ciągłego odlewania stali, procesy nagrzewania oraz chłodzenia jak również wspomaganie procesów symulacji.

4. SUMMARY

The paper presents the possibilities of using the thermal imaging technique as a non-invasive measurement method for testing the distribution of the temperature field on the external surface of a monitored object.

It presents selected examples concerning the use of a thermal imaging camera in metallurgical applications as a method enabling the control of metallurgical technological and production processes.

In particular, the detection of slag during the drainage of steel from a metallurgical furnace to the ladle, the process of heating ingot moulds during conventional casting, monitoring of the continuous steel casting process, heating and cooling processes as well as supporting simulation processes were presented.

Przedstawione zagadnienia nie wyczerpują wszystkich możliwości zastosowania termowizji w hutnictwie żelaza i stali, a jedynie sygnalizują wybrane aspekty oraz przykłady wybranych zastosowań.

Należy podkreślić bezinwazyjny charakter badań bez zakłócania cyklu produkcyjnego. W wielu przypadkach prowadzenie takich badań innymi metodami jest bardzo trudne lub niemożliwe.

Jednakże należy zawsze pamiętać, że wiarygodne wyniki zapewnia tylko stosowanie właściwej metodyki wykonywania badań termowizyjnych oraz poprawna analiza i interpretacja wyników.

The presented issues do not exhaust all the possibilities of using thermal imaging in the iron and steel industry, but only signal selected aspects and examples of selected applications.

The non-invasive nature of the tests without disrupting the production cycle should be emphasised. In many cases it is very difficult or impossible to carry out such tests with other methods.

However, it should always be remembered that reliable results can only be ensured by using the right methodology for performing thermal imaging examinations and the correct analysis and interpretation of results.

LITERATURA ■ REFERENCES

- [1] B. Więcek, K. Pacholski, R. Olbrycht, R. Strąkowski, M. Kałuża, M. Borecki, W. Wittchen. *Termografia i spektrometria w podczerwieni – zastosowania przemysłowe*, PWN, Warszawa 2017.
- [2] W. Wittchen, A. Mazur. Metoda termowizji jako narzędzie pomocnicze w procesach symulacji numerycznej. *Prace IMŻ*, 2012, 64 (1), s. 188-191.
- [3] W. Wittchen, M. Borecki, B. Więcek, K. Pacholski, R. Olbrycht, R. Strąkowski. Multispektralny system pomiarowy do określenia parametrów żużla stalowniczego podczas spustu stali z pieca hutniczego do kadzi odlewniczej. *Prace IMŻ*, 2015, 67 (2), s. 168-174.