

Zastosowanie termografii w diagnozowaniu i przewidywaniu uszkodzeń w elementach konstrukcyjnych maszyn i urządzeń

Use of thermography in diagnosing and predicting defects in structural components of machines and devices

ANDRZEJ SUCHETA
KRZYSZTOF SIKORA*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.186>
English version available on: www.mechanik.media.pl

Przedstawiono zastosowanie termografii biernej (pasywnej) w diagnozowaniu błędów połączeń żeber z rurkami w grzejnikach konwekcyjnych, a także wykorzystanie kamery termowizyjnej do prognozowania miejsca wystąpienia zerwania elementu konstrukcyjnego poddanego działaniu naprężeń rozciągających.

SŁOWA KLUCZOWE: termografia pasywna, diagnostyka termowizyjna

The use of passive thermography to diagnose defects in the connection of ribs with tubes in convection heaters, has been reported, as well as the use of thermal imaging cameras to predict the occurrence of breakage of a structural element subjected to tensile stress.

KEYWORDS: passive thermography, thermal imaging

W większości procesów technologicznych oraz podczas pracy urządzeń mamy do czynienia z przemianami energii, którym towarzyszy przepływ ciepła, powodujący zmiany temperatury poszczególnych elementów urządzenia. Obserwacje rozkładu temperatury na powierzchni pozwalają ocenić intensywność procesu. Miejscowe podwyższenie temperatury powierzchni względem wartości spodziewanej może oznaczać, że proces nie przebiega prawidłowo [1].

Dzięki kamerom termowizyjnym oraz możliwości rejestrowania promieniowania podczerwonego obiektów termografia znalazła zastosowanie w wielu dziedzinach. Bezkontaktowy pomiar temperatury pozwala m.in. na diagnostykę nieniszczącą (NDT – *non-destructive testing*) materiałów i urządzeń.

W wielu artykułach opisywane są metody wykorzystania termografii aktywnej, polegającej na pobudzaniu badanego obiektu impulsem (najczęściej cieplnym), a następnie na rejestrowaniu zmiany pola temperatury w czasie i analizowaniu otrzymanych rozkładów [2–4]. Rzadziej opisywane są metody wykorzystujące termografię pasywną, czyli rejestrowanie rozkładu temperatury na powierzchni obiektu podczas normalnej pracy, bez wymuszeń zewnętrznych. Takie metody są prostsze, ponieważ nie wymagają zastosowania dodatkowych urządzeń generujących wymuszenia termiczne, jednak mają też ograniczenia wynikające m.in. z szybkiego wyrównywania się pól temperatury w obiektach. Obecnie metody pasywne są już standardem w diagnostyce w branży elektroenergetycznej i w ocenie poprawności wykonania izolacji termicznych. W artykule przedstawiono również inne obszary, w których termografia pasywna może być z powodzeniem stosowana.

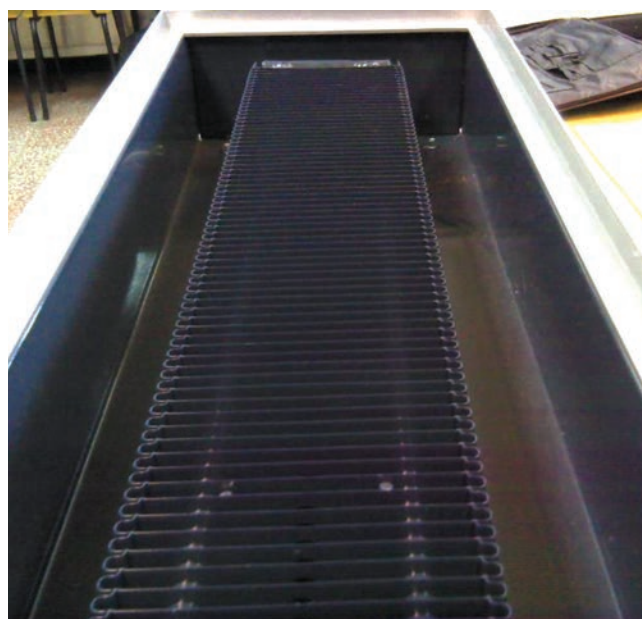
Zastosowanie termografii pasywnej w diagnostyce grzejników konwekcyjnych

Do efektywnego działania grzejników konwekcyjnych niezbędne jest intensyfikowanie wymiany ciepła poprzez minimalizację oporów cieplnych. Zastosowanie materiałów dobrze przewodzących ciepło, takich jak miedź czy aluminium, minimalizuje cieplne opory przewodzenia, jednak niezbędne jest także zminimalizowanie oporu kontaktowego na połączeniu żeber oraz rurki, przez którą przepływa medium grzewcze. Jedną z metod łączenia jest nakładanie na rurkę żeber z otworami, które są tylko minimalnie większe od średnicy zewnętrznej rurki, a następnie – zwiększanie średnicy rurki metodami mechanicznymi (przez rozwałcowanie lub przeciąganie). Istnieje ryzyko, że podczas tego procesu nie osiągnie się odpowiedniego przylegania wszystkich żeber do rurki (z powodu niedokładności ich wykonania) – w efekcie wystąpi cieplny opór kontaktowy, obniżający moc cieplną grzejnika.

Zastosowanie kamery termowizyjnej pozwala na zaobserwowanie ewentualnych różnic temperatury poszczególnych żeber oraz na wykrycie błędów montażowych.

Na rys. 1 przedstawiono przykładowy grzejnik konwekcyjny umieszczony w kanale.

Badany grzejnik zasilono wodą o temperaturze 45°C i za pomocą kamery termowizyjnej Flir E50 zarejestrowano film, który pokazuje rozgrzewanie się grzejnika i żeber.



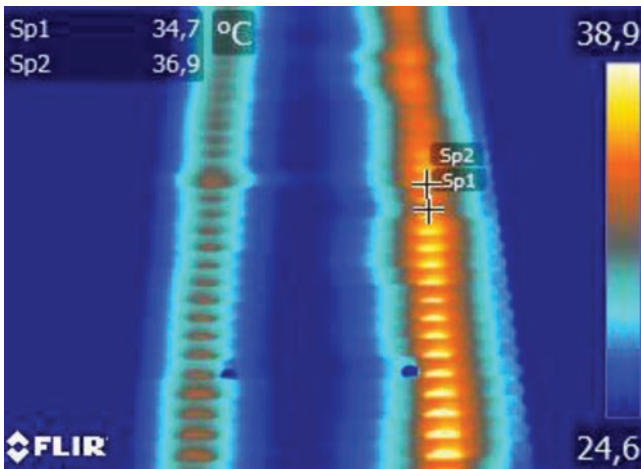
Rys. 1. Grzejnik konwekcyjny kanałowy poddany badaniom

* Dr hab. inż. Andrzej Sucheta, prof. ATH (sucheta@ath.bielsko.pl); dr inż. Krzysztof Sikora (ksikora@ath.bielsko.pl) – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

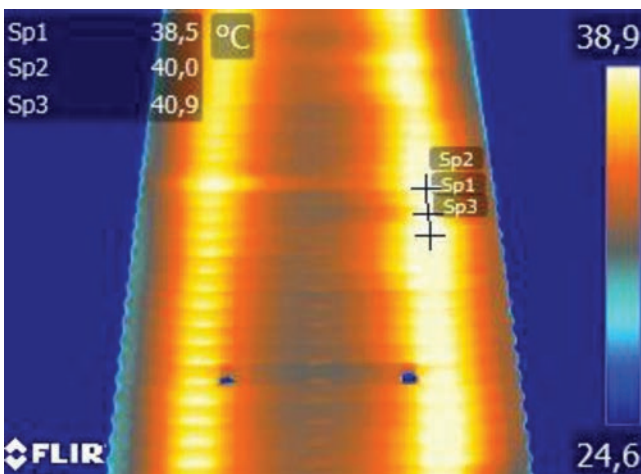
Zaobserwowano kilka miejsc, które wskazują na większy opór kontaktowy (na gorsze połączenie rurki z żebrą). Punkty pomiarowe Sp1 i Sp2 (rys. 2) umieszczono na 2 sąsiednich żebrach. Czynnikiem grzewczym najpierw dopływa do żebra z punktem Sp1, a następnie – do żebra z punktem Sp2, więc temperatura żebra pierwszego powinna być wyższa niż drugiego. Na podstawie pomiaru można stwierdzić, że temperatura żebra pierwszego jest o ok. 2°C niższa niż drugiego, co oznacza, że jego opór kontaktowy jest większy i żebro to gorzej odprowadza ciepło. Kilkakrotnie powtórzone pomiary potwierdziły wcześniejsze spostrzeżenia.

Diagnostykę grzejników można przeprowadzić nie tylko w laboratorium czy hali montażowej, lecz także w miejscu, gdzie grzejnik funkcjonuje. Podczas eksploatacji grzejnika miejsca styku podlegają zmiennym obciążeniom termicznym i w skrajnym przypadku może nastąpić obłuzowanie żebra, co spowoduje znaczne obniżenie mocy cieplnej. Takie sytuacje bardzo łatwo można zdiagnozować za pomocą kamery termowizyjnej.

Na rys. 3 można zauważyć, że niektóre żebra w grzejniku mają niższą temperaturę także podczas pracy w stanie ustalonym. Najwyższą temperaturę ma punkt Sp3. Biorąc pod uwagę kierunek przepływu czynnika grzewczego wewnątrz rurki, na którą są nasadzone żebra, kolejne żebra powinny mieć temperaturę niższą. Żebro z punktem pomiarowym Sp1 ma temperaturę niższą niż kolejne żebro z punktem Sp2, co oznacza, że osadzenie tego żebra jest gorsze (występuje większy opór cieplny).



Rys. 2. Rozkład temperatury na żebrach grzejnika w czasie rozgrzewania. Sp1 i Sp2 – punkty pomiaru temperatury



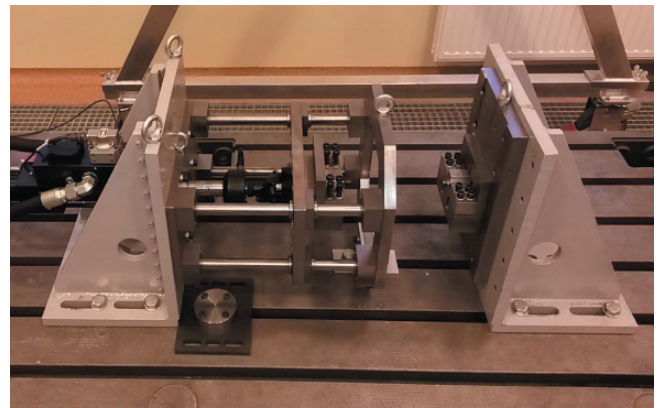
Rys. 3. Rozkład temperatury na żebrach grzejnika w stanie ustalonym

Zastosowanie termografii do przewidywania miejsc zerwania dla elementów poddanych rozciąganiu

Termografię pasywną można zastosować również do prognozowania miejsc uszkodzeń w elementach konstrukcyjnych poddanych obciążeniu. Podczas odkształcania plastycznego materiału część energii deformacji zostaje zamieniona na ciepło i powoduje lokalny wzrost temperatury w miejscu dyssypacji energii mechanicznej. Przeanalizowano przypadek rozciągania elementu konstrukcyjnego na stanowisku MTS.

Na rys. 4 przedstawiono stanowisko z siłownikiem liniowym MTS, na którym przeprowadzono doświadczenie polegające na rozciąganiu próbki wiosełkowej ze stali S235JR o długości 250 mm, szerokości 10 mm i grubości 1 mm (rys. 5). Próbki zostały pokryte warstwą sadzy, aby zwiększyć emisyjność powierzchni.

Próbki mocowano w aparacie MTS (rys. 6), ustawiano stały posuw 5 mm/min i prowadzono test rozciągania. Po ok. 10 s rozciągania na próbkach pojawiał się obszar o nieznacznie wyższej temperaturze (rys. 7).



Rys. 4. Stanowisko do rozciągania próbek



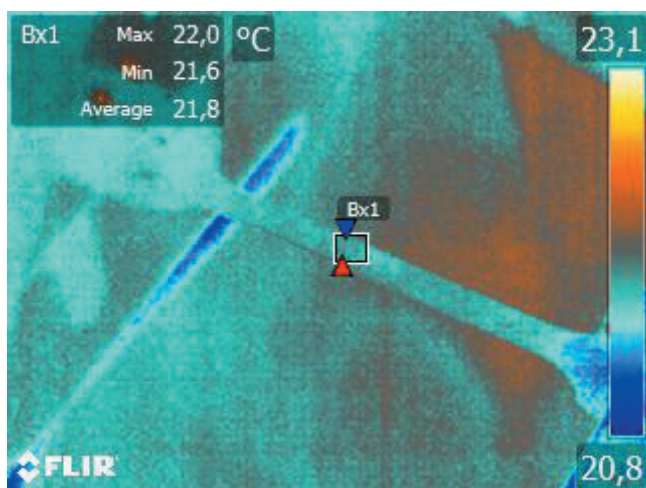
Rys. 5. Próbką niezniszczona (powyżej) oraz po rozciągnięciu (poniżej)



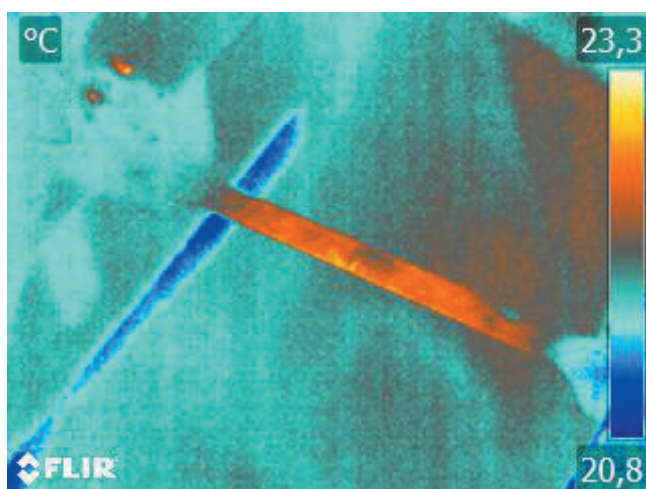
Rys. 6. Próbką zamocowana na stanowisku

Po ok. 40 s wyraźnie widać obszar o podwyższonej temperaturze (rys. 8). Moment zerwania nastąpił po 7 min i 43 s rozciągania próbki (rys. 9). Miejsce zerwania próbki odpowiadało miejscu wystąpienia początkowej zmiany temperatury, jaką można było zarejestrować po 10 s rozciągania.

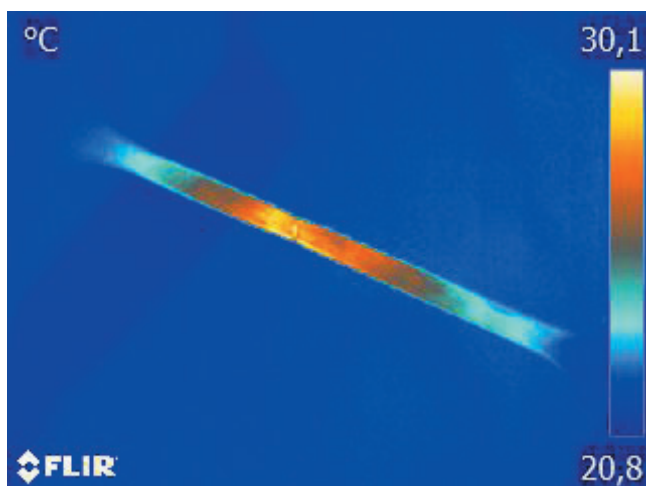
Na rys.10 przedstawiono wykres siła – przemieszczenie z naniesionymi punktami, w których wykonano zdjęcia kamerą termowizyjną: P1 to punkt odpowiadający rys. 7, P2 odpowiada rys. 8, natomiast P3 odpowiada rys. 9.



Rys. 7. Termogram po 10 s rozciągania

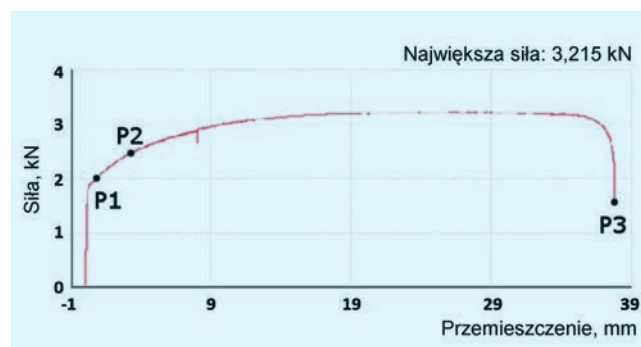


Rys. 8. Termogram po 40 s rozciągania



Rys. 9. Termogram po 7 min i 43 s rozciągania w chwili zerwania próbki

Dla kolejnej rozciąganej próbki uzyskano bardzo podobne rezultaty. Pozwala to na sformułowanie wniosku, że termografię pasywną można zastosować do przewidywania miejsc wystąpienia uszkodzeń w elementach konstrukcyjnych na podstawie ciepła generowanego w tych miejscach i wywołanego nim przyrostu temperatury.



Rys. 10. Wykres z zaznaczonymi punktami wykonania termogramów

Oczywiście diagnostykę taką można traktować jedynie w kategoriach jakościowych – nie daje ona informacji o stopniu uszkodzenia czy przewidywanym czasie do zniszczenia elementu.

Wnioski

Termografia pasywna jest z powodzeniem wykorzystywana w energetyce (do szybkiej diagnostyki instalacji elektrycznych, bezpieczników, elektroenergetycznych linii przesyłowych) czy budownictwie (do wykrywania uszkodzeń izolacji termicznych, mostków cieplnych, zawilgoceń ścian czy wycieków z instalacji ogrzewania podłogowego). Znajduje zastosowanie w medycynie (do diagnozowania stanów zapalnych czy zmian nowotworowych). Systemy termowizyjne są od dawna wykorzystywane przez wojsko oraz inne służby mundurowe. Ze względu na malejące ceny kamer termowizyjnych oraz upraszczanie ich konstrukcji (i tym samym coraz łatwiejszą obsługę) termowizja może również znaleźć szersze zastosowanie w szybkiej diagnostyce elementów maszyn i urządzeń w różnych dziedzinach przemysłu. Należy jednak pamiętać, że termografia pasywna pozwala jedynie na diagnostykę jakościową.

W celu znalezienia przyczyny zaobserwowanych zmian trzeba przeprowadzić dalsze badania lub analizy. Dla grzejnika konwekcyjnego należałoby zbudować model matematyczny przepływu ciepła, w którym parametrem będzie opór kontaktowy pomiędzy rurką a żebrzem. Liczbowa wartość tego parametru będzie rozwiązaniem odwrotnego zagadnienia przewodzenia ciepła.

Również zaobserwowanie miejscowego przyrostu temperatury elementu konstrukcyjnego może być jedynie przesłanką do dalszej diagnostyki.

LITERATURA

1. Oliferuk W. „Termografia podczerwieni w nieniszczących badaniach materiałów i urządzeń”. Biuro Gamma, 2008.
2. Madej J. „Lokalizacja uszkodzeń metodą termiczną” IV Międzynarodowe Sympozjum Mechaniki Zniszczenia Materiałów i Konstrukcji, Augustów 2007.
3. Uhl T. „Termografia dynamiczna jako narzędzie diagnostyki konstrukcji”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska*. 45 (2007): s. 157–171.
4. Szczepanik M., Stabik J., Wróbel G., Wierzbicki Ł. „Wykorzystanie systemów termowizyjnych do badań materiałów polimerowych”. *Modelowanie Inżynierskie*. 36 (2008): s. 279–286.