MODELOWANIE INŻYNIERSKIE ISSN 1896-771X
34, s. 99-104, Gliwice 2007

DIAGNOSTYKA TERMOWIZYJNA STOPNIA DEGRADACJI ZMĘCZENIOWEJ KOMPOZYTÓW EPOKSYDOWO-SZKLANYCH

GRZEGORZ MUZIA, ZBIGNIEW RDZAWSKI, MACIEJ ROJEK, JÓZEF STABIK, GABRIEL WRÓBEL

Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska
e-mail: gabriel.wrobel@politechnika.slaska.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodykę oceny stopnia degradacji zmęczeniowej z wykorzystaniem techniki termowizyjnej. Kompozyty epoksydowe wzmocnione włóknem szklanym poddawano zmęczeniu metodą zginania trójpunktowego. Tak degradowane materiały poddano następnie badaniom termowizyjnym, w czasie których określano zmianę temperatury próbek nagrzewanych promiennikiem podczerwieni. Wyznaczano zależność szybkości narostu temperatury od liczby cykli zmęczeniowych. Wraz ze wzrostem liczby cykli zmęczeniowych zaobserwowano spadek szybkości narostu temperatury.

1. WSTĘP

Badania termograficzne opierają się na detekcji promieniowania elektromagnetycznego, emitowanego przez badane obiekty, z zakresu podczerwieni i zamianie tego promieniowania na zakres widzialny [8, 10]. Każde ciało, które ma temperaturę wyższą od zera bezwzględnego, emituje fale podczerwone. Dzięki temu można obserwować rozkład temperatur oraz ich wartości na zewnętrznej powierzchni badanego obiektu .

Termografia to technika zobrazowania i rejestracji pól temperatury powierzchni badanych obiektów (temperatury w każdym jego punkcie) dzięki detekcji promieniowania podczerwonego pochodzącego od tych obiektów.

Ciała o temperaturze paru kelwinów emitują promieniowanie w zakresie dalekiej podczerwieni, ciała o temperaturze pokojowej emitują najwięcej promieniowania w zakresie średniej podczerwieni (długość fali rzędu 10 μm). Przedmioty o wyższej temperaturze emitują więcej promieniowania w zakresie podczerwieni bliskiej, co pozwala na ich łatwiejsze wykrycie.

W wielu dziedzinach przemysłu temperatura jest istotnym parametrem, którego monitorowanie pozwala na lokalizacje lokalnych różnic temperatur, nieprawidłowości mogących prowadzić do uszkodzeń maszyn i urządzeń (przegrzewanie się), detekcji defektów w materiałach [5, 8] itp.

Termowizja lub termografia znalazła szerokie zastosowanie w zakresie nieinwazyjnego wykrywania [4]:

- wad technologicznych przegród budynków, błędów w ociepleniu, mostów cieplnych, zawilgoceń, filtracji powietrza,

- lokalizacji rur z ciepłą wodą oraz wycieków i nieszczelności,
- zwiększonej rezystancji dla rozdzielni wszystkich napięć, transformatorów, szafek elektrycznych, uszkodzonych bezpieczników, linii WN i wszelkich złączy elektrycznych,
- złego stanu izolacji cieplnej kotłów, rurociągów, izolowanych kanałów, elektrofiltrów,
- lokalizacji przebiegu sieci ciepłowniczej,
- złego stanu przewodów doprowadzających gazy,
- wadliwie pracujących urządzeń mechanicznych (nadmierne nagrzewanie),
- uszkodzeń wymurówki pieców, kominów żelbetowych,
- ognisk pożarów leśnych.

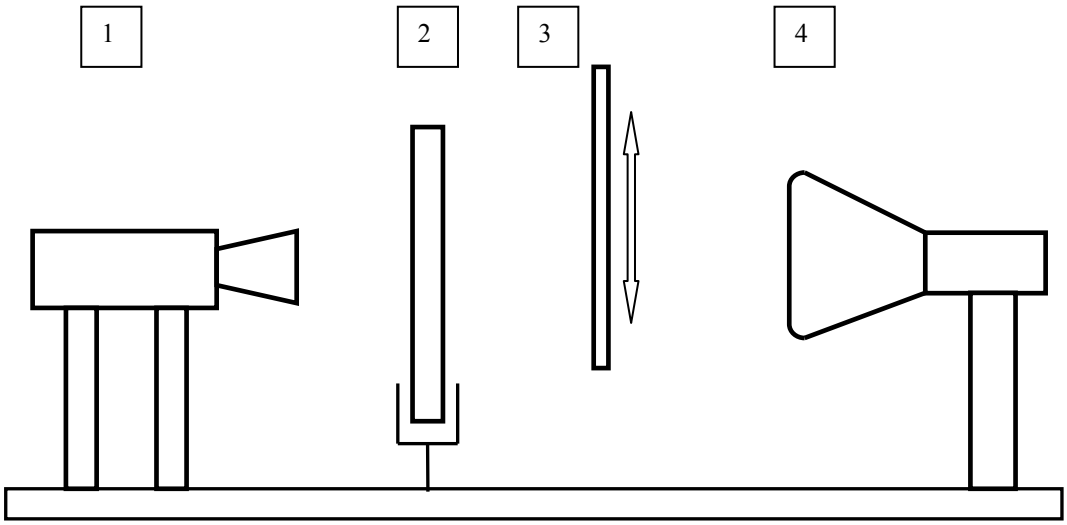
Poza wymienionymi obszarami badań nieniszczących termowizja znalazła szerokie zastosowanie w lotnictwie [1], technice wojskowej, medycynie, ekspertyzach oryginalności dzieł sztuki oraz wielu innych [2, 3, 6, 9].

2. BADANIA TERMOWIZYJNE

2.1. Metodyka badań

Celem badań było opracowanie metodyki wykorzystania techniki termowizyjnej do oceny stopnia degradacji zmęczeniowej konstrukcyjnych materiałów polimerowych, na przykładzie kompozytu epoksydowo-szklanego. Badaniom poddano próbki wykonane z laminatu epoksydowo - szklanego TSE-6. Próbki wycięto z płyt wykonanych metodą prasowania przez IZO-ERG w Gliwicach. Do badań przyjęto próbki o kształcie płytek prostopadłościennych o wymiarach 250x20x4mm. Programem badań objęto serię próbek poddając je w pierwszej fazie obciążeniom zmęczeniowym w warunkach trójpunktowego zginania dwustronnego przy stałej amplitudzie ugięcia. Faza eksperymentu obejmująca program obciążeń przeprowadzona została na maszynie zmęczeniowej własnej konstrukcji. Badania zmęczeniowe prowadzone były w warunkach wymuszenia kinematycznego amplitudy ugięcia o wartości 3mm. Częstotliwość odkształcenia wynosiła 0,8 Hz. Maksymalna liczba cykli zmęczeniowych wyniosła 1 930 000.

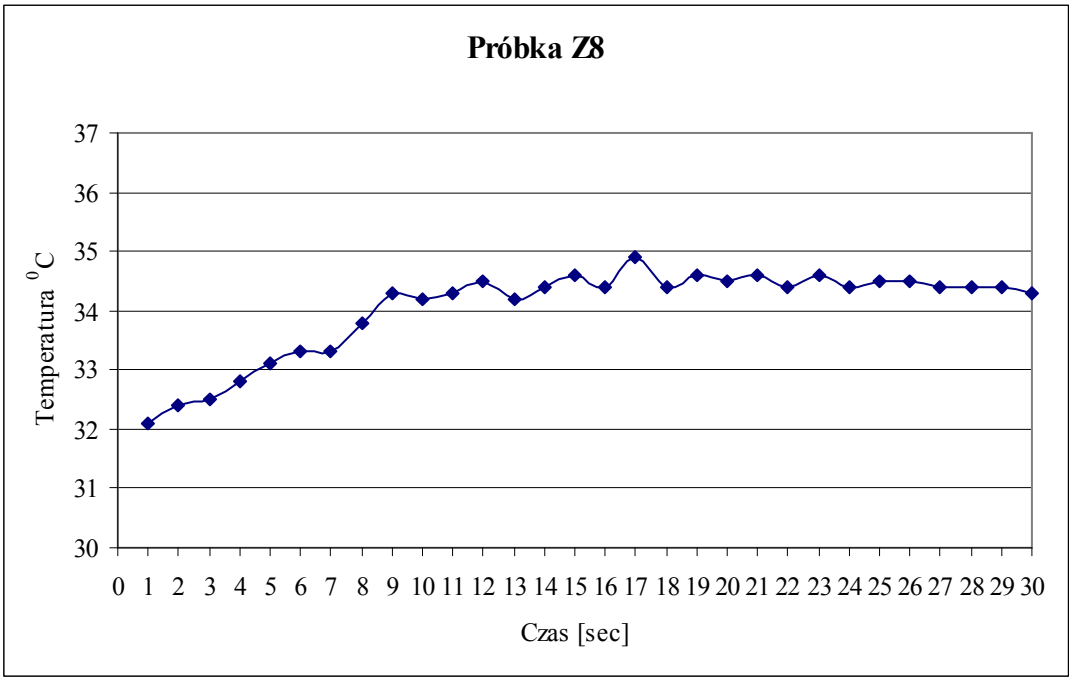
Badania termograficzne przeprowadzono za pomocą kamery termowizyjnej Inframetrics typ 76B produkcji USA. Główna teza opracowanego programu badawczego postulowała jednoznaczny związek własności cieplnych badanego materiału, w szczególności rozkładu przewodności cieplnej, ze stanem laminatu zależnym od historii obciążenia zmęczeniowego. Stwierdzenie takiej zależności dałoby podstawę poszukiwania funkcji diagnostycznej umożliwiającej nieniszczącą ocenę stopnia wyczerpania zdolności nośnych materiału badanej klasy w warunkach obciążenia zmęczeniowego. W celu wykazania słuszności postawionej tezy wykonano eksperyment obejmujący próbki poddane różnej liczbie cykli obciążenia. Każdą z próbek poddano naświetlaniu w umownym czasie 40 s za pomocą lampy emitującej promienie podczerwone. Próbki usytuowane były w stałej odległości od źródła promieniowania wynoszącej 78mm, powierzchnia próbek pokryta została jednolicie matową czarną farbą nitrocelulozową. Z chwilą zakończenia procesu naświetlania rozpoczynała się rejestracja rozkładu temperatury na powierzchni próbki przeciwległej do naświetlanej. Zarejestrowano sekwencje obrazów termowizyjnych powierzchni próbek. Schemat stanowiska do pomiaru temperatury z wykorzystaniem kamery termowizyjnej przedstawiono na rys.1.



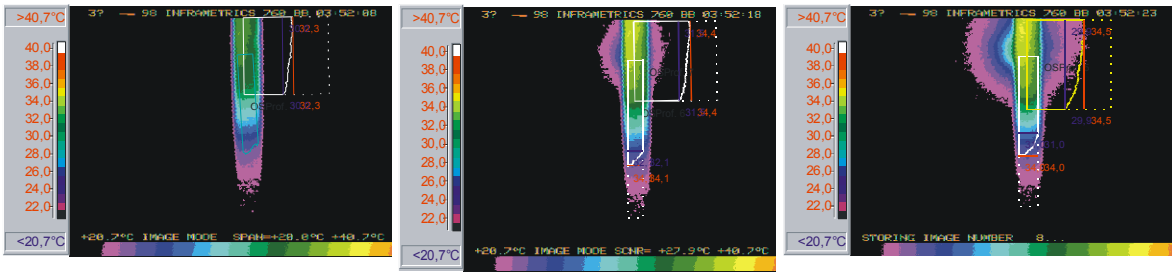
Rys. 1 Schemat stanowiska do badań termowizyjnych. 1 – kamera termowizyjna, 2 – badana próbka kompozytowa, 3 – ruchoma przesłona, 4 – promiennik podczerwieni

2.2 Wyniki badań i ich analiza

Przeprowadzone badania dostarczyły bardzo obszernego materiału w postaci obrazów termowizyjnych i termogramów ujmujących zależność zmian temperatury od czasu. Na rys. 2 zamieszczono przykładowy wykres zmian temperatury od czasu, mierzonej po zakończeniu cyklu nagrzewania. Rys. 3 przedstawia przykładowe obrazy zarejestrowane po czasie 1 sekundzie, 10 sekundach i 20 sekundach przez kamerę termowizyjną.

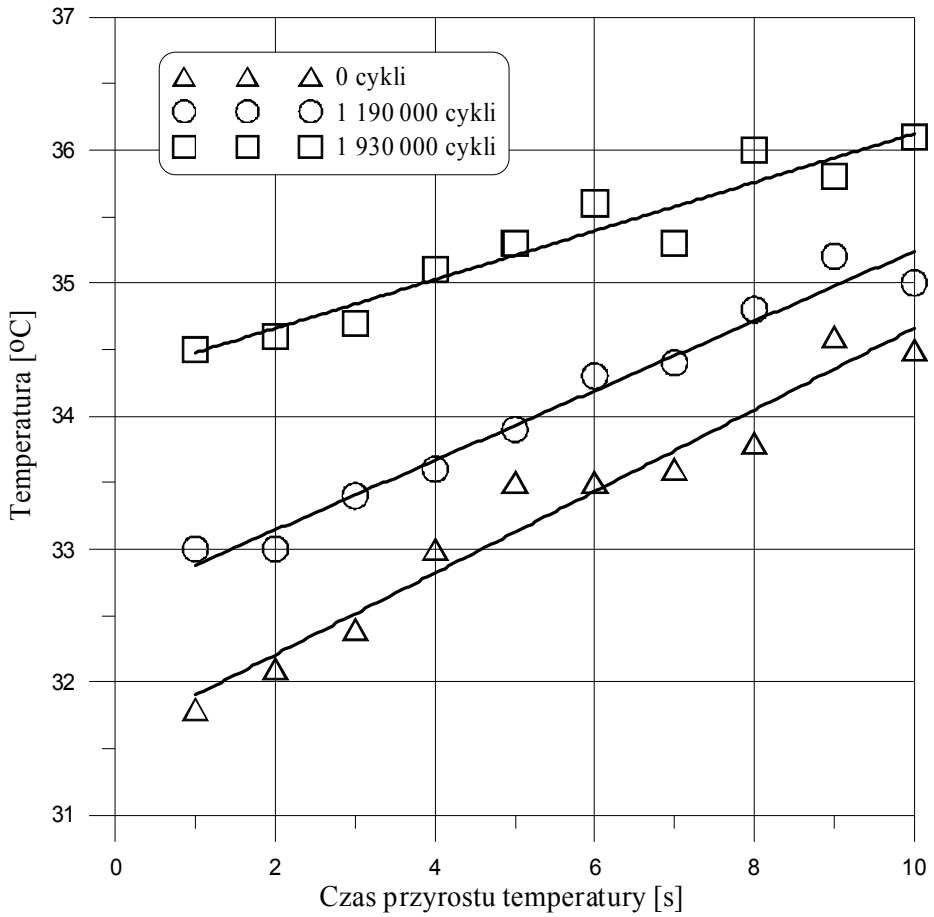


Rys.2 Zależność temperatury na powierzchni próbki w jej środkowej części od czasu pomiaru



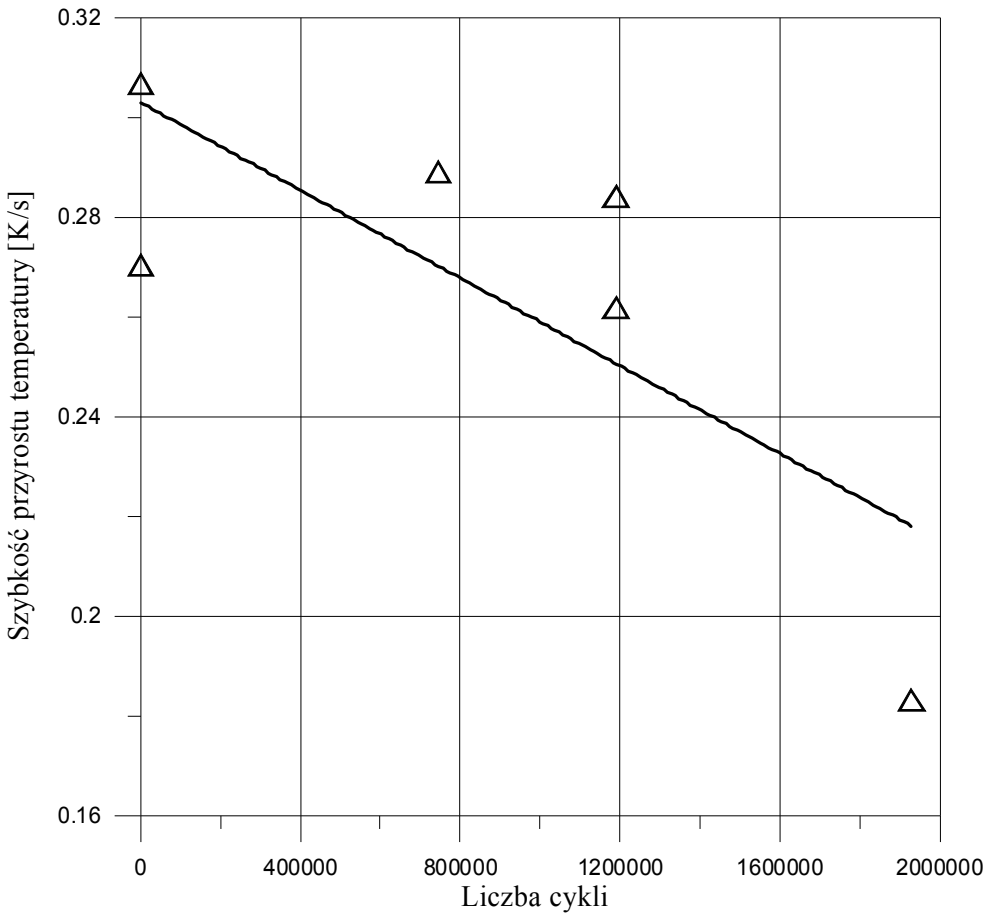
Rys. 3 Przykładowe obrazy zarejestrowane po upływie 1 sekundy, 10 sekund i 20 sekund przez kamerę termowizyjną w czasie badań próbki jak na rys. 2

Wyniki zmian temperatury (rys. 2) wskazują, że można wyróżnić początkową fazę wzrostu temperatury powierzchni. Na rys.4 przedstawiono trzy takie zależności dla próbek poddanych zmęczeniu z różną liczbą cykli.



Rys. 4 Przyrost temperatury w pierwszych dziesięciu sekundach cyklu pomiarowego

Liniowy zakres zmian temperatury w wybranym, centralnym punkcie na powierzchni próbek pozwolił na wyznaczenie charakterystycznego parametru procesu współczynnika nachylenia wykresu, który oznacza prędkość wzrostu temperatury wybranego punktu w badanym okresie. Analiza zmian tak określanej prędkości w zależności od liczby cykli obciążenia próbki pozwoliła stwierdzić korelację zadawalającą z punktu widzenia procedury diagnostycznej (Rys.5).



Rys. 5 Zależność szybkości przyrostu temperatury od liczby cykli zmęczeniowych kompozytu epoksydowo-szklanego TSE-6

Jak wynika z zależności przedstawionej na rys. 5, im większa liczba cykli zmęczeniowych, a tym samym większy stopień degradacji zmęczeniowej kompozytu, tym mniejsza szybkość wzrostu temperatury. Spowodowane to jest zmniejszeniem współczynnika przewodnictwa cieplnego, co z kolei wynika z nagromadzenia w kompozycie różnego rodzaju nieciągłości takich jak delaminacje, mikropęknięcia, utrata adhezji pomiędzy osnową a wzmocnieniem szklanym itp.

Badania miały charakter wstępny i wykorzystane zostaną do opracowania szerszego programu związanego z diagnostyką zmęczeniową i starzeniową kompozytów polimerowych.

3. WNIOSKI

Analiza zmian prędkości przyrostu temperatury w zależności od liczby cykli obciążenia próbki pozwoliła stwierdzić korelację zadowalającą z punktu widzenia procedury diagnostycznej.

Wraz ze wzrostem liczby cykli zmęczeniowych zaobserwowano spadek przewodności cieplnej badanego kompozytu i związanej z tym szybkości wzrostu temperatury w analizowanym stadium procesu cieplnego.

LITERATURA

1. Avdelidis N.P., Hawtin B.C., Almond D.P.: Transient thermography in the assessment of defects of aircraft composites. NDT & E International 2003, 36, 433-439.
2. Avdelidis N.P., Ibarra-Castanedo C., Maldague X., Marioli-Riga Z.P., Almond D.P.: A thermographic comparison study for the assessment of composite patches. "Infrared Physics&Technology" 2004, 45, 291-299.
3. Kim J., Liaw P.K.: Monitoring tensile damage evolution in Nextel 312/Blackglas™ composites. W: Materials Science and Engineering A 409, , 2005, 302-308.
4. Krishnapillai M., Jones R., Marshall I.H., Bannister M., Rajic N.: Thermography as a tool for damage assessment. "Composite Structures" 2005, 67, 149-155.
5. Maldague, Xavier P.V., Couturier, J. P.: Review of pulsed phase thermography. W: IV Workshop on Advances in Infrared Technology, Atti della Fondazione G. Ronchi, Firence 1997, 53, s. 271.
6. Meola C., Carlomagno G.M., Giorleo L.: Geometrical limitations to detection of defects in composite by means of infrared thermography. "Journal of Nondestructive Evaluation" 2004, Vol. 23, No. 4.
7. Ochelski S.: Metody badań nieniszczących kompozytów. W: V konferencja naukowo - techniczna "Polimery i kompozyty konstrukcyjne". Gliwice 2002.
8. Oliferuk W.: Nieniszczące badania materiałów. W: Materiały XII Seminarium „Termografia aktywna w badaniach materiałów" . Zakopan : IPPT PAN, 2006.
9. Rajic N.: Principal component thermography for flaw contrast enhancement and flaw depth characterization in composites structures. "Composite Structures" 2002, 58, s. 521-528.
10. Xavier P.V. Maldague, Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing. New York : John Wiley, 2001.

THERMOGRAPHIC DIAGNOSIS OF THE DEGRREE OF FATIGUE DEGRADATION OF EPOXY-GLASS COMPOSITES

Summary. In the paper a method of thermographic diagnosis of the degree of fatigue degradation is presented. Epoxy-glass composites were fatigue degraded using three-point bending. Degraded composites were subsequently tested using thermovision camera. Temperature increase was evaluated after infra-red radiation heating. The dependence between the number of fatigue cycles and the rate of temperature increase was searched. It was stated that the higher is the number of fatigue cycles the lower is the rate of temperature increase.