

DIAGNOSTYCZNE METODY DETEKCCI WAD W POŁĄCZENIACH KLEJOWYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH

Diagnostic methods defects detection in joints bonded composite materials

Karol GROCHALSKI, Katarzyna PETA, Marcin WIŚNIEWSKI

Streszczenie: Podczas łączenia materiałów kompozytowych za pomocą spoin klejowych pojawia się problem z jednorodnym rozprowadzeniem warstwy kleju na powierzchni elementu, czego następstwem jest powstawanie defektów w strukturze spoiny i obniżenie czynnej powierzchni oddziaływania sił adhezji na łączone materiały. Zachodzi wówczas konieczność kontroli jakości połączenia pomiędzy powierzchniami klejonymi. Stosowanie bezkontaktowych metod diagnostycznych umożliwia analizę większej powierzchni badanej, co warunkuje wydajniejszy proces kontroli jakości. Porównano metody detekcji wad spoin klejowych, wykorzystujące aktywną termowizję w podczerwieni z różnymi rodzajami wymuszeń z obrazowaniem tomograficznym. Analiza metod diagnostycznych pozwoliła na przyspieszenie procesu kontroli jakości spoin dla danej grupy materiałów.

Słowa kluczowe: montaż, diagnostyka, termowizja aktywna, tomografia komputerowa

Abstract: During the connection composite materials using glue weld there is a problem with a homogeneous distribution of the adhesive layer on the surface of the element, resulting in the formation of defects in the structure of the weld and reduce the active surface of the impact of adhesion forces the coupled material. There is the need to control the quality of the connection between the glued surfaces. The use of non-contact diagnostic methods enables the analysis of a larger area of the test which determines the efficient process quality control. Compared the methods of detection of defects of bonded joints using active thermography with different excitations types with tomographic imaging. Analysis of diagnostic methods made it possible to speed up the process for Quality Control of welds for the group of materials.

Keywords: assembly, diagnostics, active thermography, CT

Wstęp

Zwiększanie wymagań jakościowych gotowych wyrobów wprowadza konieczność kontroli połączeń elementów, także połączeń klejowych części odpowiedzialnych za bezpieczeństwo użytkowania i bezawaryjność produktu.

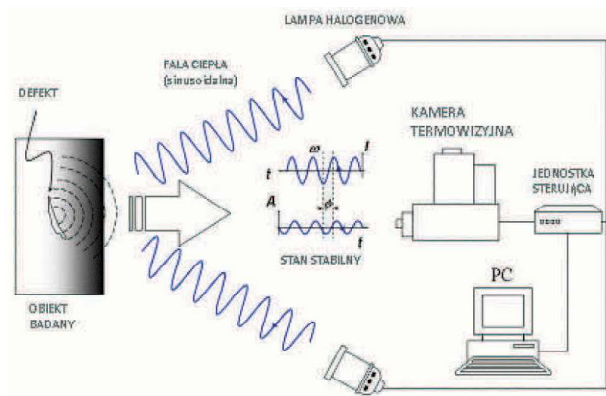
Klasyczne metody kontroli połączeń klejowych, oparte na diagnostyce ultradźwiękowej, umożliwiają punktowe sprawdzanie spoiny, a także wymagają bezpośredniego styku sondy pomiarowej z mierzonym elementem, co w przypadku powierzchni delikatnych jest niepożądane. Wprowadzenie optycznych metod diagnostycznych umożliwia kontrolę jakości połączeń klejowych w sposób bezkontaktowy, szybszy i obejmujący widok całej mierzonej powierzchni.

Cel i metodyka badań

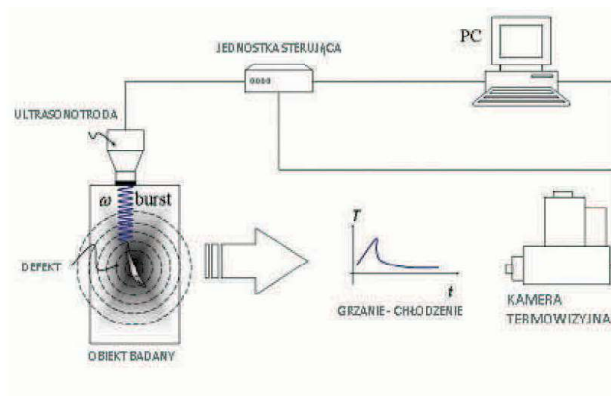
Celem pracy było porównanie bezkontaktowych metod detekcji wad spoiny klejowej. Przedstawiono metody optyczne, oparte na aktywnej termografii w podczerwieni, wykorzystującej m.in. wymuszenia optyczne (okresowo zmienne i impulsowe) oraz pobudzenia mechaniczne wysokiej częstotliwości generowane przez sonotrodę [8], [3]. W badaniach wykorzystano kamerę termowizyjną FLIR X6540sc oraz FLIR T620 wraz z oprogramowaniem FLIR ResearchIR MAX i IrNdt, współpracującym ze sterownikiem firmy Automation

Technology. Uzyskane rezultaty z analizy dystrybucji ciepła na powierzchni badanej porównano z wynikami z tomografu GE phoenix v|tome|x S 240. Metodę wykorzystującą tomograf należy uznać za metodę referencyjną z uwagi na możliwość detekcji wad w całej objętości spoiny bez względu na głębokość jej występowania oraz dokładność odwzorowania defektu [1], [4], [5]. Badaniu poddano klejone próbki kompozytowe z wadami występującymi w spoinie klejowej, znajdującej się pomiędzy łączonymi materiałami. Metodyka badań polegała na zastosowaniu zewnętrznego wymuszenia cieplnego. Wymuszenie termiczne generowano za pomocą lampy typu FLASH o energii impulsu do 6kJ (metoda Pulse) lub lampy halogenowej o mocy 2500 W (metoda LockIn) o regulowanej pod względem amplitudy i częstotliwości sygnału (rys. 1a). Drugi rodzaj pobudzenia wywołany został przez sonotrodę, generującą drgania mechaniczne wysokiej częstotliwości (rys. 1b) [2]. Stanowisko badawcze przedstawiono na rys. 2.

Obiektem badań były dwie płytki wykonane z materiału ABS oraz PVC. W płytce wykonanej z ABS (rys. 3a i 4) wykonano klejenie powierzchni na trzech głębokościach (1, 2 i 3 mm) względem powierzchni badanej, dodatkowo w wewnętrznej strukturze wykonano wady materiałowe w postaci otworów i szczelin znajdujących się na różnych głębokościach. Płytkę wykonaną z ABS została wytworzona metodą druku 3D. Próbkę przedstawiona na rysunku (rys. 3b i 5) składa się z dwóch płytek



a)

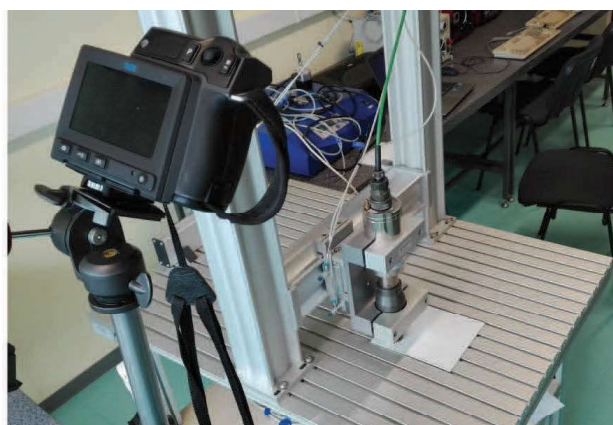


b)

Rys. 1. Metody wymuszeń termicznych: a) wymuszenie optyczne LockIn/Pulse, b) wymuszenie mechaniczne sonotrodą [2]
Fig. 1. Methods of thermal excitations: a) enforce optical Lockin/Pulse, b) mechanical extortion sonotrode

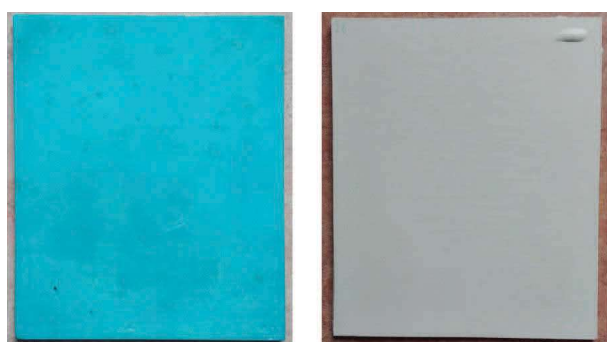


a)



b)

Rys. 2. Widok stanowiska badawczego: a) wymuszenie optyczne, b) wymuszenie mechaniczne sonotrodą
Fig. 2. View of test bench: a) optical force, b) extortion mechanical sonotrode



a)

b)

Rys. 3. Widok powierzchni pomiarowej badanych obiektów: a) płytkę wykonaną z ABS, b) próbkę wykonaną z PVC
Fig. 3. View tested objects: a) a plate made of ABS, b) the sample made of PVC

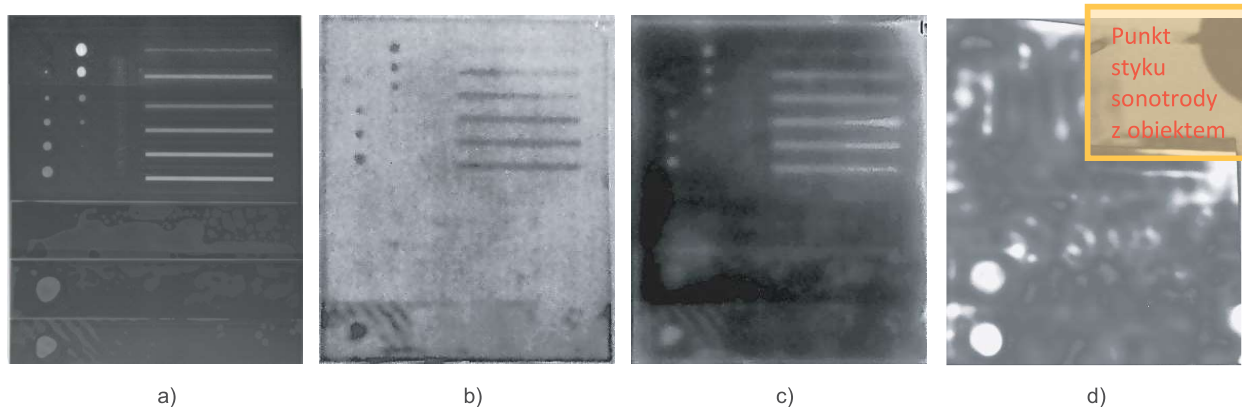
PVC o grubości 2 mm sklejonych ze sobą klejem poliuretanowym. W spoinę klejową wprowadzono pęcherzyki powietrza w celu symulacji wady połączenia.

Analiza wyników

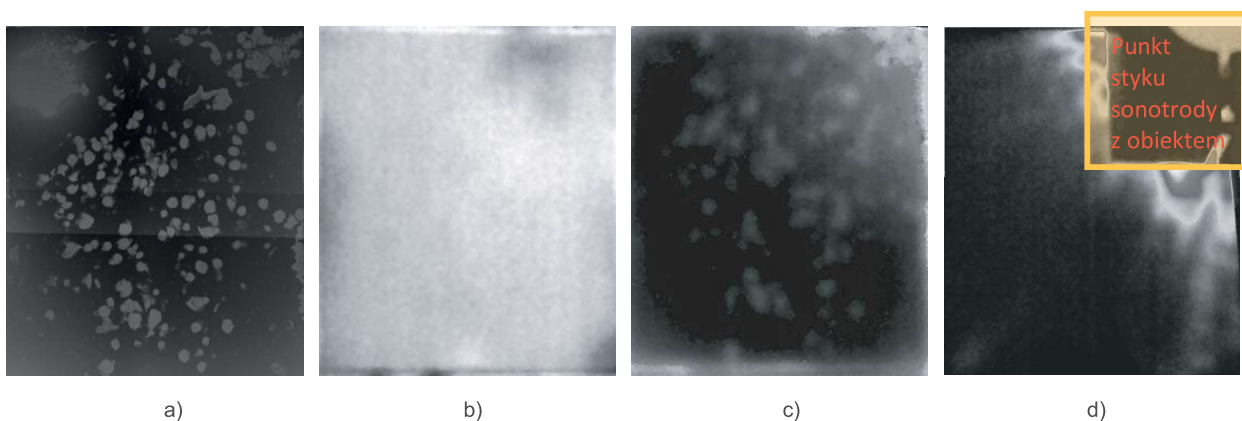
Zastosowane metody diagnostyczne pozwoliły na detekcję wad spoin klejowych oraz wad wewnątrz badanego materiału. Rysunki 4a i 5a prezentują obrazy wynikowe uzyskane metodami tomograficznymi, natomiast obrazy uzyskane za pomocą termowizji aktywnej prezentują rys. 4b, 4c, 4d oraz 5b, 5c, 5d.

Metoda wykorzystująca tomograf (będąca w niniejszej pracy metą odniesienia), pozwala na uzyskanie szczegółowego obrazu bez względu na materiał z jakiego został wykonany obiekt badany. Wadą metody jest konieczność umieszczenia próbki pomiędzy detektorem a emitorem oraz ograniczone wymiary badanego elementu.

Metody wykorzystujące termowizję aktywną pozwalają na diagnostykę spoin klejowych i detekcję wad materiałowych dużych powierzchni w sposób bezkontaktowy



Rys. 4. Obrazy uzyskane różnymi technikami pomiarowymi – płytka wykonana z ABS: a) obraz uzyskany z tomografu (referencyjny), b) metoda Pulse, c) metoda LockIn, d) wymuszenie sonotrodą
 Fig. 4. Images obtained various measurement techniques – plate made of ABS: a) obtained from the CT image (reference) b) a method Pulse c) a method LockIn, d) enforce the sonotrode



Rys. 5. Obrazy uzyskane różnymi technikami pomiarowymi – płytka wykonana z PVC: a) obraz uzyskany z tomografu (referencyjny), b) metoda Pulse, c) metoda LockIn, d) wymuszenie sonotrodą
 Fig. 5. Images obtained various measurement techniques – plate made of PVC: a) obtained from the CT image (reference) b) a method Pulse c) a method LockIn, d) enforce the sonotrode

i szybki. Jakość odwzorowania występującego defektu maleje wraz ze wzrostem głębokości jego występowania. Ważnym aspektem jest także dobór właściwej metody diagnostycznej i parametrów wymuszenia do rodzaju materiału z jakiego wykonany został badany obiekt.

W metodzie termowizyjnej najlepsze odwzorowanie geometrycznych defektów w spoinie klejowej dla próbki wykonanej z ABS i PVC umożliwiła metoda LockIn., która miała dłuższy czas oddziaływania fali cieplnej na badany obiekt. W badaniu wykorzystano wymuszenie sinusoidalne o częstotliwości 0,5 Hz z amplitudą od 0 do 100% mocy lampy i czasie oddziaływania fali ciepła 20 s [6].

Metoda Pulse pozwoliła uzyskać obraz umożliwiającą wykrywanie wad spoiny klejowej w przypadku próbki wykonanej z ABS. Metoda ułatwiła wykrywanie dużych płytko umiejscowionych defektów.

Metoda wykorzystująca sonotrodę pozwoliła uzyskać wyraźne obrazy defektów oraz niespójności spoiny klejowej dla materiału o większej twardości i mniejszej absorpcji drgań. Z uwagi na metodę wykonania próbki z ABS

za pomocą druku 3D występowało zjawisko rozdzielania poszczególnych warstw nakładanego filamentu, powodujące niespójności w objętości próbki. Występujący pomiędzy naniesionymi warstwami rezonans generujący miejscowy wzrost temperatury widoczny na termogramie (rys. 4d), można definiować jako potencjalne miejsce uszkodzenia lub delaminacji w przypadku materiału kompozytowego [7].

Wnioski

Na podstawie badań stwierdzono, że najlepsze odwzorowanie defektów wewnątrz materiałowych oraz wad spoiny klejowej uzyskuje się z badań tomograficznych. Metoda termowizji aktywnej pozwoliła na uzyskanie wyników o mniejszej jakości odwzorowania geometrycznego. W metodzie wykorzystującej termowizję aktywną za najlepsze wymuszenie należy przyjąć pobudzenie optyczne o okresowo zmiennej charakterystyce wymuszeń i długim czasie oddziaływania emitowanego ciepła. Do wad

metody termowizyjnej w diagnostyce defektów spoin klejowych należy zaliczyć ograniczenie dotyczące głębokości wykrywania defektu oraz dobór właściwego rodzaju wymuszenia do danej grupy badanych materiałów.

LITERATURA

- [1] Ekanayake S. et. al. 2017. „CT applied as a reference technique for evaluating active lock-in thermography in characterizing CFRP impact damage test samples”, 7th Conference on Industrial Computer Tomography”, Leuven, Belgium.
- [2] <http://www.visioimage.com>, dostęp 02.2017 r.
- [3] Kostowski E. 2006. „Przepływ ciepła”. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- [4] Liang T. et. al. 2016. “Low energy impact damage detection in CFRP using eddy current pulsed thermography”. *Composite Structures*, Vol. 143: 352–361.
- [5] Liu J. et. al. 2015. „Study on lock-in thermography defect detectability for carbon-fiber-reinforced polymer (CFRP) sheet with subsurface defects”. *International Journal of Thermophysics*, Vol. 36(5-6): 1259–1265.
- [6] Szczepanik M. i in. 2008. „Wykorzystanie systemów termowizyjnych do badań materiałów polimerowych”. *Modelowanie Inżynierskie T. 5 (36)*: 279–286.
- [7] Szczygieł I. 2013. „Konwekcyjny przepływ ciepła”. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- [8] Więcek B., G. De Mey. 2011. „Termowizja w podczerwieni. Podstawy i zastosowania”. Wydawnictwo PAK.

mgr inż. Karol Grochalski – Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań, e-mail: karol.p.grochalski@doctorate.put.poznan.pl

mgr inż. Katarzyna Peta – Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: katarzyna.peta@put.poznan.pl

dr inż. Marcin Wiśniewski – Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: marcin.wisniewski@put.poznan.pl