

DIAGNOSTYKA ULTRADŹWIĘKOWA ROZWARSTWIEŃ W POWŁOKACH KOMPOZYTOWYCH

Mirosław RODZEWICZ, Grzegorz CZERWIŃSKI

Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej, Politechnika Warszawska
00-665 Warszawa, ul. Nowowiejska 24, fax (+22) 628 57 48, miro@meil.pw.edu.pl

Streszczenie

Praca zawiera opis badań własnych w zakresie diagnostyki ultradźwiękowej kompozytów warstwowych, stosowanych w strukturach lotniczych. Rozwarstwienia, które mogą się pojawić w takich kompozytach są wynikiem błędów technologicznych, działania obciążeń mechanicznych (np. sił skupionych) lub obciążeń cieplnych (np. spowodowanych wyładowaniami elektrycznymi). O ile w strukturach transparentnych, a zazwyczaj są nimi kompozyty zbrojone włóknem szklanym, znalezienie i identyfikacja rozwarstwienia nie sprawia z reguły dużego problemu, to z całą ostrością występuje on w przypadku kompozytów zbrojonych włóknem węglowym lub aramidowym. W pracy zaprezentowano zbudowane przez autorów stanowisko do badań diagnostycznych metodą echa i metodą przepuszczania wraz z oryginalnym, autorskim oprogramowaniem umożliwiającym wizualizację badanych wad i obustronną komunikację z defektoskopem.

Słowa kluczowe: kompozyty, rozwarstwienia, diagnostyka ultradźwiękowa

Summary

The paper contains description of authors research work in the field of US-diagnostics of laminar composites applied in aircraft structures. The delaminations which may occurred in such structures are caused by manufacturing errors, the influence of mechanical forces (i.e. concentrated load inputs to the structures), or by heat sources (caused for example by electrical shock). As far as in optical transparent composites (normally glass fiber reinforced composites belong to this group) detection and identification of delamination is not essential problem, quite different situation we have in case of carbon or aramide fibers reinforced plastics. There are presented in the paper them authors' solutions of ultrasonic diagnostic stands, supported by original software made by the authors for visualization of the defects and 2-ways communication with the ultrasonic flaw detector.

Keywords: composites, delaminations, ultrasonic diagnostics

1. WSTĘP

Najpoważniejszym zagadnieniem techniki związanej z transportem, zwłaszcza z transportem lotniczym jest problem bezpieczeństwa eksploatacji. Waga tego problemu urasta w kontekście dążeń do ekonomizacji kosztów transportu i zwiększenia rentowności firm przewozowych. Dążenia te zrodziły potrzebę eksploatacji statków powietrznych wg stanu technicznego konstrukcji, który wyparł stary i nieekonomiczny model eksploatacji wg tzw. reursu. System reursowy można ująć w skrócie następująco: "używaj dany element określoną reursem liczbę godzin lotu a potem wyrzuć – niezależnie od stanu technicznego". System eksploatacji wg stanu technicznego polega na ciągłym monitoringu defektoskopowym i obserwacji rozwoju wad, tak aby wycofać z eksploatacji dany element lub zespół dostatecznie wcześnie jeśli chodzi o bezpieczeństwo, lecz

jednocześnie dopiero wtedy, gdy stopień zużycia zbliży się do granicy akceptowalnego poziomu rozwoju wybranego parametru uszkodzenia (np. długości pęknięcia zmęczeniowego). Mimo, że granice te są kalkulowane bardzo ostrożnie, to system eksploatacji wg stanu umożliwia znacznie bardziej ekonomiczne wykorzystanie zasobów sprzętowych, bez narażania na szwank bezpieczeństwa użytkowania statków powietrznych.

Ogromną rolę pełni tu dziedzina badań nieniszczących, a zwłaszcza defektoskopia. O ile defektoskopia struktur metalowych jest dobrze opanowana i zawiera szereg metod, które mogą być stosowane równolegle (np. metoda rentgenowska, metoda prądów wirowych, zespół metod magnetycznych, elektrycznych, ultradźwiękowych, itd.) – to defektoskopia struktur z kompozytów polimerowych wymaga wciąż poszukiwania skutecznych narzędzi. Wynika to z ich wielkiej różnorodności makro i mikro-

strukturalnej, generującej różne właściwości tego materiału, różnorodności wad powstałych bądź w procesie produkcyjnym, bądź podczas eksploatacji [1, 2].

Poza nielicznymi przypadkami – struktury kompozytowe są na ogół trudne do diagnostyki.

Opisywane w niniejszej pracy badania dotyczą defektoskopii ultradźwiękowej i ukierunkowane są na badania możliwości wykrycia i wizualizacji rozwarstwień w niektórych typach kompozytów polimerowych używanych w konstrukcji statków powietrznych.

1.1 Cel prac badawczych

Celem prac było opracowanie i przetestowanie stanowisk diagnostyki ultradźwiękowej z odpowiednim oprogramowaniem działających w dwóch wariantach:

- stacjonarnym (dostosowanym do badań zanurzeniowych w zbiorniku z wodą);
- mobilnym (z wykorzystaniem sprzężenia akustycznego głowic z badanym materiałem realizowanym za pomocą strumienia wody).

Oba warianty bazują na cyfrowym defektoskopie ultradźwiękowym Panametrics 9100. Poza konstrukcją stanowisk diagnostycznych, szczególnie nacisk położono na oprogramowanie zapewniające obustronną komunikację defektoskopu z komputerem oraz wizualizację ukrytych wad w kompozytach, zwłaszcza rozwarstwień.

2. STANOWISKO STACJONARNE

Widok stanowiska badawczego przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1 Stacjonarne stanowisko defektoskopii ultradźwiękowej

2.1 Elementy systemu

1. Defektoskop ultradźwiękowy Panametrics 9100 – urządzenie współpracuje z głowicami ultradźwiękowymi oraz z komputerem.

2. Ploter DIGI-PLOT Model WX4671 – wykorzystywany jest do nadawania ruchu głowicom ultradźwiękowym. Został on przystosowany do pomiarów ultradźwiękowych poprzez odpowiednie zamocowanie nad zbiornikiem cieczy i dorobienie przedłużonego ramienia przystosowanego do montażu głowic ultradźwiękowych. Urządzeniem steruje program przeznaczony dla komputerów klasy PC działających pod kontrolą systemu operacyjnego Windows. Komunikacja z urządzeniem odbywa się przez port LPT1 komputera.

3. Zbiornik wodny z przestrzenią pomiarową o wymiarach: 360 x 250 mm (obszar skanowania), z odstępem między głowicami 80 mm.

4. Autorski program komputerowy UltraD steruje pracą systemu. Komunikacja z defektoskopem ultradźwiękowym oraz ploterem odbywa się łączem cyfrowym.

2.2 Cechy programu UltraD

1. Możliwość przeprowadzania pomiaru bezpośredniego (pomiar amplitudy sygnału w bramce pomiarowej ustawionej na przebiegu skanu A) oraz pomiaru z wykorzystaniem funkcji korelacji wzajemnej (porównywanie przebiegów skanów A z różnych punktów badanej próbki);

2. Możliwość przeprowadzania pomiaru punktowego, liniowego i skanowania powierzchniowego;

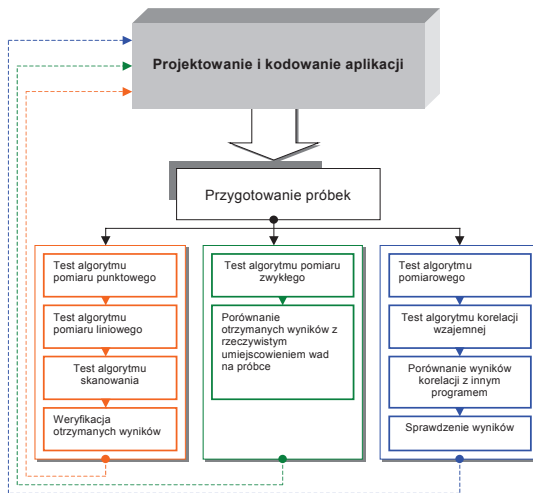
3. Możliwość wizualnego przedstawiania wyników pomiaru (mapa kolorów zwykła i z wykorzystaniem efektu rozmycia obrazu);

4. Możliwość eksportu wyników pomiaru w postaci mapy bitowej oraz pliku tekstowego ASCII możliwym do wykorzystania w innych programach do wizualizacji wyników;

5. Możliwość konfigurowania parametrów pracy programu (wymiary próbek, porty komunikacyjne, parametry ruchu głowic pomiarowych). Po skonfigurowaniu programu – głowice przemieszczają się względem próbki na punkt wskazany myszą na obrazie próbki na ekranie komputera.

2.3 Badania systemu

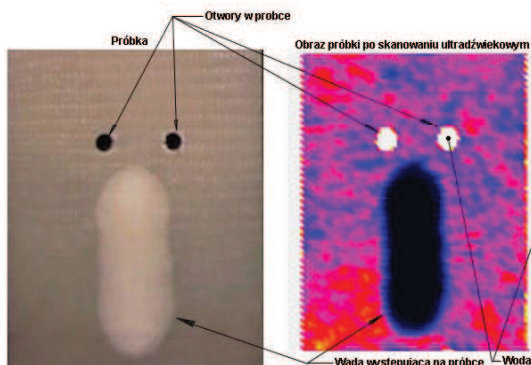
W celu zbadania poprawności wizualizowanych rezultatów defektoskopii ultradźwiękowej – wykonano specjalne próbki z kompozytów szklano-epoksydowych. Próbki te poddawano obciążeniom udarowym – mechanicznym oraz elektrycznym (symulacja uderzenia pioruna), prowadzącym do powstania rozwarstwień. Dzięki swojej transparenacji optycznej próbki umożliwiały dokładne określenie zarysu rozwarstwień i porównanie z obrazami rozwarstwień uzyskanymi na stanowisku badań ultradźwiękowych. Testowanie systemu odbywało się wg schematu blokowego zamieszczonego na Rys.2:



Rys. 2 Etapy badań systemu pomiarowego

2.4 Interpretacja otrzymanych wyników pomiarów (map położenia wad)

W wyniku pomiaru zwykle otrzymuje się „ultradźwiękowy obraz” próbki w postaci kolorowej mapy. Odpowiednie kolory na obrazie (w zależności od wybranej palety i skali) oznaczają stan badanej struktury próbki. W metodzie przepuszczania (z użyciem głowicy nadawczej i odbiorczej) jasne kolory oznaczają miejsca pozbawione wad, natomiast miejsca najciemniejsze oznaczają wady w materiale próbki. Wiąże się to ze spadkiem amplitudy sygnału ultradźwiękowego w tych miejscach. Najjaśniejsze kolory oznaczają miejsca poza obrysem próbki. Jest to spowodowane tym, że zwykle to woda posiada o wiele mniejszą w stosunku do badanej próbki impedancję akustyczną, wobec czego występuje minimalne tłumienie fali akustycznej. Przykładowe porównanie zdjęcia próbki zawierającej rozwarstwienie spowodowane impulsem cieplnym i jej „obrazu ultradźwiękowego” pokazane jest na Rys. 3.



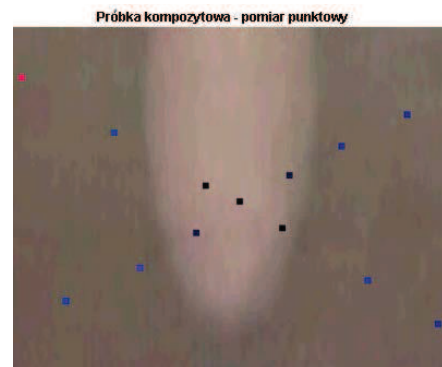
Rys. 3 Porównanie fotografii próbki z obrazem ultradźwiękowym (skan powierzchni)

2.5 Testowanie programu pod kątem wykonywanych rodzajów pomiarów

Testowi podlegały trzy algorytmy: pomiaru punktowego, pomiaru liniowego oraz skanowania

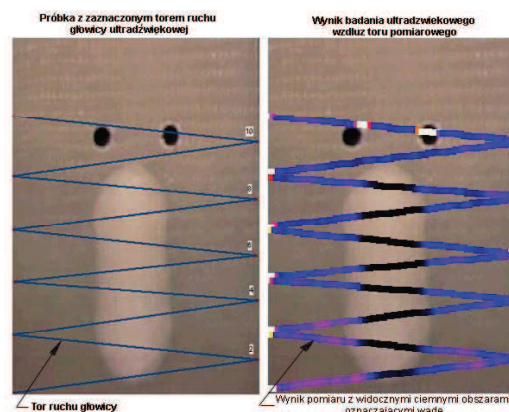
powierzchniowego. Test składał się z dwu etapów: 1. sprawdzenia poprawności kodu procedur używanych przez algorytmy oraz 2. przeprowadzenia pomiaru na próbce i porównaniu otrzymanych wyników z badaniami ultradźwiękowymi z rzeczywistym jej obrazem.

W celu ułatwienia weryfikacji – wyniki testów pomiaru liniowego i pomiaru punktowego pokazano na tle zdjęcia badanej próbki kompozytu z rozwarstwieniem (jaśniejsza plama na zdjęciu). Pomiar punktowy odbywa się poprzez „klikanie” myszą w wybranych punktach obrazu próbki na ekranie, co powoduje odpowiednie przemieszczenia głowic i odczytanie amplitudy sygnału ultradźwiękowego penetrującego próbkę.



Rys. 4 Rezultat pomiaru punktowego (kolorowe punkty)

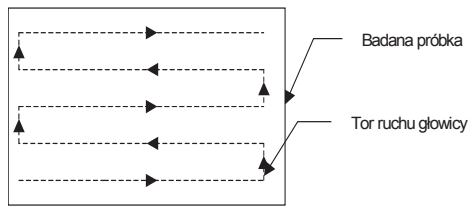
Pomiar liniowy polega na wyznaczeniu myszą trajektorii ruchu głowicy (linia łamana) na obrazie próbki na ekranie. Po tym następuje ruch głowic z zadaniem krokiem wzdłuż wyznaczonej linii i zapis do pamięci komputera amplitudy sygnału wzdłuż tej linii.



Rys. 5 Rezultat pomiaru liniowego (kolorowa linia)

Rezultat skanowania powierzchniowego przedstawiono już na Rys. 3. Pomiar polega na zadaniu parametrów ruchu skanującego głowicy (krok pionowy i krok poziomy), po czym następuje operacja skanowania i zapisu do pamięci komputera wartości sygnału z każdego kroku. Na podstawie

tych zapisów po zakończeniu skanowania powstaje obraz.



Rys. 6 Tor ruchu głowicy przy skanowaniu

3. STANOWISKO MOBILNE

Stanowisko to umożliwia zobrazowanie wady na obiekcie (np. powłoce skrzydła) metodą ręcznego skanowania powierzchni głowicą ultradźwiękową sprzężoną z przetwornikami ruchu umożliwiającymi rejestrację jej toru.

Cechy stanowiska:

1. Źródłem sygnału ultradźwiękowego jest defektoskop Panametrics 9100 współpracujący z komputerem PC wyposażonym w przetwornik analogowo-cyfrowy;
2. System umożliwia skanowanie z dostępem z jednej strony (metodą echa);
3. Sprzężenie akustyczne realizowane jest strumieniem wody dostarczanej za pomocą specjalnej przystawki nakładanej na głowicę ultradźwiękową;
4. Przepływ strumienia wody – wymuszany grawitacyjnie ze zbiorniczka opadowego;
5. Przetwornik ruchu – realizowany za pomocą mechanizmu dźwigniowego o dwóch stopniach swobody, złożonego z dwóch ramion połączonych przegubem obrotowym. Ramię główne (korba) jest osadzone obrotowo na osi zamocowanej na ministatywie. Zależnie od rozmiarów skanowanego obiektu, statyw ten można umieszczać bezpośrednio na jego powierzchni lub, w przypadku małych próbek – na stole obok próbki. Przetwornikami położenia są potencjometry precyzyjne osadzone na osiach obrotu ramion mechanizmu dźwigniowego.



Rys. 7 Widok stanowiska mobilnego

3.1 Oprogramowanie

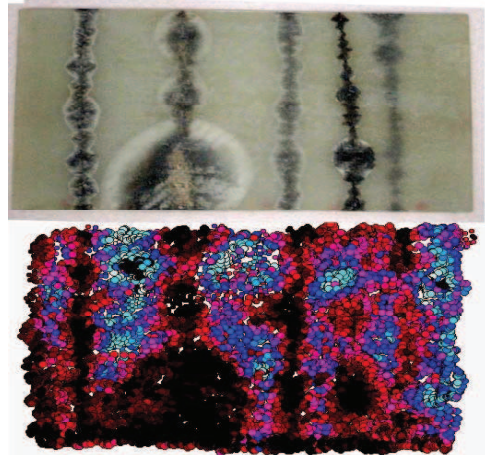
Działanie systemu oparte jest na autorskim oprogramowaniu o nazwie ScanHand. Spełnia ono następujące funkcje:

1. Przetwarzanie toru ruchu głowicy w układzie współrzędnych prostokątnych związanych z badanym przedmiotem na jego obraz (śląd) na ekranie monitora również w układzie współrzędnych prostokątnych związanych z ekranem monitora. Śląd ten znaczony jest w postaci kropek, których kolor zależy od poziomu sygnału ultradźwiękowego. Układy obu współrzędnych orientuje się względem siebie podczas kalibracji stanowiska, którą przeprowadza się po uruchomieniu programu. Wielkość kropek oraz częstotliwość próbkowania można regulować z odpowiedniego okna programu.

2. Przetwarzanie sygnału analogowego z wyjścia defektoskopu ultradźwiękowego. W przypadku Panametrics'a 9100 mogą to być wartości amplitudy sygnału ultradźwiękowego w brankach pomiarowych lub głębokość występowania wady.

3.2 Praca urządzenia

Przykład działania systemu pokazany jest na Rys. 8. Obiektem skanowania była powłoka z kompozytu szklano-epoksydowego zbrojona 6 warstwami tkaniny Interglas 92140, między którymi występowały liczne rozwarstwienia spowodowane wyładowaniami elektrycznymi.



Rys. 8 Zdjęcie oraz skan C powłoki kompozytowej z rozwarstwieńmi po symulacji

Widoczna jest dobra zgodność skanu C z fotografią rozwarstwień.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione systemy diagnostyki ultradźwiękowej kompozytów wykazały skuteczność w badaniach laboratoryjnych próbek kompozytowych. Prace rozwojowe trwają.

LITERATURA

- [1] R.L. Sierakowski, G.M. Newaz, Damage tolerance in advanced composites, Technomic Publishing CO. INC. Lancaster, Basel 1995
- [2] A. Siwiński: Ultradźwięki i ich zastosowania, WNT Warszawa 2001.