

Piotr Synaszko¹, Bogdan Zając^{2*}

¹Inżynier Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa

²Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Otwock - Świerk

Wykrywanie pęknięć w połączeniach nitowanych elementów lotniczych z wykorzystaniem technologii EC Array

Detection of cracks in connections of riveted aircraft elements using EC Array technology

ABSTRACT

The authors presented the results of tests of fragments of the aircraft structure with damage below the first layer of material. The OLYMPUS set based on the MX2 OMV and EC ARRAY head and comparative MAUS V kit were used for the research. The results, in both cases, are represented by C-type imaging. Interpretation of signals from the internal layers of the structure using traditional A-type imaging is difficult, which affects both for the duration of the implementation and the reliability of the results obtained. The use of C-type imaging makes it easier to interpret and report damage. In addition, the EC Array head, due to its large scanning area, significantly shortens the time of testing. An important element of the article is the presentation of the methodology for the selection of parameters for testing multilayer structures.

Keywords: aviation, eddy currents, EC Array

STRESZCZENIE

Autorzy zaprezentowali wynik badań fragmentów konstrukcji lotniczej z uszkodzeniami znajdującymi się poniżej pierwszej warstwy materiału. Do badań wykorzystano zestaw firmy OLYMPUS oparty na systemie OMNISCAN MX2 i głowicy EC ARRAY oraz porównawczo, zestaw MAUS V. Wyniki, w obu przypadkach przedstawiono za pomocą zobrazenia typu C. Interpretacja sygnałów pochodzących z wewnętrznych warstw konstrukcji przy zastosowaniu tradycyjnego zobrazenia typu A jest utrudniona, co wpływa zarówno na czas realizacji jak i wiarygodność otrzymanych wyników. Zastosowanie zobrazenia typu C ułatwia interpretację i raportowanie uszkodzeń. Ponadto głowica EC Array ze względu na dużą powierzchnię skanowania znacząco skraca czas realizacji badań. Istotnym elementem artykułu jest przedstawienie metodologii doboru parametrów do badań konstrukcji wielowarstwowych.

Słowa kluczowe: lotnictwo, prądy wirowe, EC Array

1. Wprowadzenie

W referacie omówiono badania poszycia samolotu dwoma aparatami. Pierwszy to system MAUS V wyposażony w skaner przesuwający sondę stykową, ołówkową po powierzchni próbki. Drugi to defektoskop OMNISCAN MX EC ARRAY wykorzystujący głowicę wieloprzetwornikową. Należy jednak zwrócić uwagę na rozmiar przetworników. W przypadku skanujących systemów ultradźwiękowych jedno lub wieloprzetwornikowych zwykle rozdzielczość zobrazenia typu C związana jest z rozdzielczością układu skanującego. Oznacza to, że jeśli głowica przemieszcza się w wierszach oddalonych od siebie o 1 mm, to elementarny punkt na skanie posiada rozmiar 1 x 1 mm i jego wartości przyporządkowany jest poziom sygnału zmierzonego w tym obszarze. W przypadku systemu EC ARRAY kształt wskazanania na ekranie ze względu na rozmiar przetworników jest bardziej symboliczny.

2. Obiekt badań

Do badań wykorzystano wycinek dolnej powierzchni skrzydła samolotu PZL-130 ORLIK TCII. Elementy podłużnicy wykonane zostały ze stopu AL 2024. Wycinek zawierał naturalne pęknięcie w dolnej warstwie (podłużnicy) (Rys. 1a i 2a) oraz z drugiej strony zębra, na tej samej podłużnicy sztuczną wadę w postaci nacięcia (Rys. 1b i 2b). Wycinek

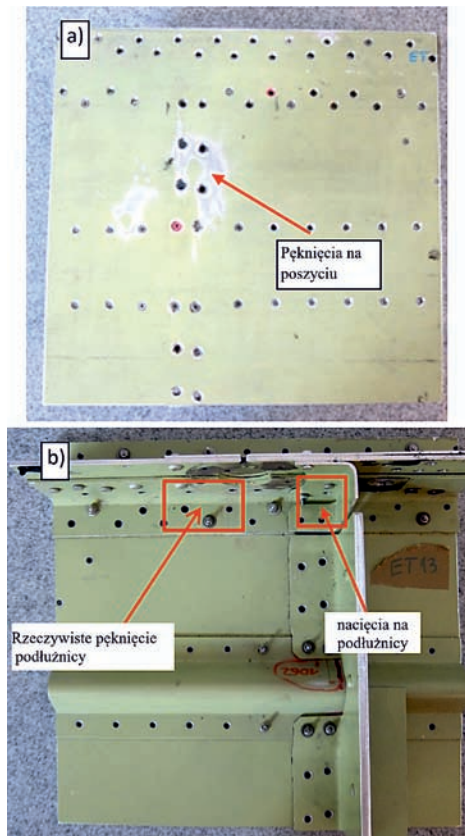
poszycia skrzydła pochodzi z samolotu poddanego pełnoskalowej próbie zmęczeniowej realizowanej w ramach opracowywania programu przejścia z eksploatacji według reursu na eksploatację według stanu technicznego.

3. Badania z wykorzystaniem systemu MAUS V

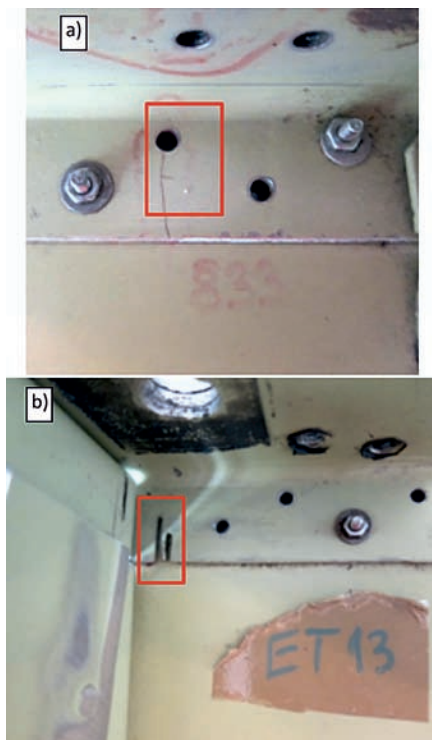
Najpierw badania wycinka poszycia przeprowadzono wykorzystując System MAUS V [1].

Do powierzchni zewnętrznej próbki (wycinka poszycia) zamocowano skaner i z rozdzielczością 1mm przeprowadzono skanowanie powierzchni sondą stykową. Wynik badań przedstawiono w trybie C. Częstotliwość, przy której wykonano badanie wynosiła 1 kHz. Na Rys. 3 przedstawiono wynik badania próbki. Paleta barw została dobrana tak, aby osiągnąć możliwie wysoki kontrast pomiędzy sygnałem od podłużnic i pęknięciami podłużnicy (ciemno czerwony). Tym niemniej najbardziej wyraźne wskazania pochodzą od pęknięć poszycia, (warstwy zewnętrznej). Jasno brązowo (zaznaczono) widoczne wskazania od wad na drugiej warstwie. Procedura przygotowania systemu do badań była stosunkowo prosta. Wymagała ona wprowadzenia geometrii w postaci punktów ograniczających obszar skanowania, oraz ustawienia parametrów pomiarowych, co odbywa się w sposób zbliżony do badania defektoskopem ręcznym ze zobrazeniem w trybie A. Czas skanowania elementu wynosi około 3 minuty. Istotnym aspektem praktycznym badania są gabaryty skanera. W przypadku badania

*Autor korespondencyjny. E-mail: b.zajac.pl@gmail.com

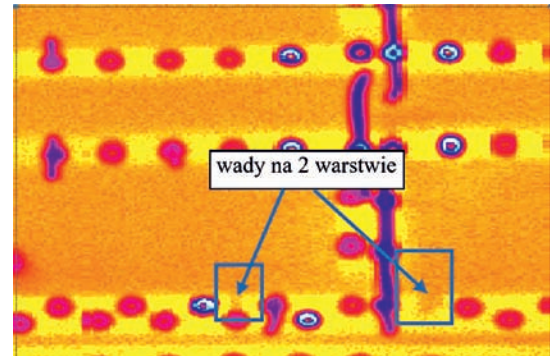


Rys. 1. Wycinek poszycia samolotu PZL-130 ORLIK TCII: a) widok od strony zewnętrznej; b) widok od strony wewnętrznej
Fig. 1. Fragment of the PZL-130 ORLIK TCII plane: a) view from the outside; b) view from the inside



Rys. 2. Poszycie od strony wewnętrznej: a) pęknięcie naturalne podłużnicy; b) nacięcia mechaniczne podłużnicy
Fig. 2. View of the plating from the inside: a) natural longitudinal fracture; b) mechanical stringer inclinations

niewielkich powierzchni samolotu czas przygotowania skanera jest stosunkowo długi. W sytuacji, gdy badana jest boczna lub dolna powierzchnia samolotu szyna, po której porusza się skaner musi zostać zamocowana za pomocą uchwytów podciśnieniowych, co wymaga dodatkowego osprzętu i przygotowania powierzchni. Z praktycznego punktu widzenia System jest bardzo użyteczny, ale w przypadku stosunkowo dużych powierzchni.



Rys. 3. Wynik badania EC Systemem MAUS V
Fig. 3. EC test result with the MAUS V System

4. Badania z wykorzystaniem EC ARRAY

W odróżnieniu od systemu MAUS V, OmniScan MX z głowicą EC ARRAY jest urządzeniem, które ze względu na gabaryty lepiej sprawdza się przy badaniu mniejszych powierzchni. Jednak zastosowana głowica EC ARRAY zawiera stosunkowo duże przetworniki, w związku z czym rozdzielczość głowicy w zakresie częstotliwości 1-25 kHz wynosi 2.1 mm.

Do przeprowadzenia badania wycinka dolnej powierzchni skrzydła metodą prądów wirowych niezbędne było określenie szeregu parametrów, w tym optymalnej częstotliwości pracy sond prądowirowych.

Do wyznaczenia najlepszej częstotliwości pracy wykorzystano ogólne wzory stosowane w badaniach metodą prądów wirowych. Posłużono się wzorem na częstotliwość graniczną f_g [2]

$$f_g = \frac{503^2}{\mu_r \cdot \sigma \cdot D^2} \quad (1)$$

gdzie: μ_r - przenikalność magnetyczna względna;
 σ - przewodność badanego materiału w % IACS;
 D - grubość badanej próbki [mm].

Częstotliwość graniczna jako wartość teoretyczna odzwierciedla częstotliwość przy której dla danego materiału występuje e-krotny spadek sygnału na głębokości D .

Częstotliwość graniczną wyliczono, podstawiając poniższe dane:

- przenikalność magnetyczna względna μ_r , dla stopów aluminium przyjęto do obliczeń 1,
- przewodność elektryczna σ , dla stopu AL 2024 wynosi około 30% IACS,

Ponieważ postawione zadanie dotyczyło badania dolnej (drugiej) warstwy podłużnicy, jako parametr D przyjęto całkowitą grubość ścianki (suma grubości obu blach + szczelina powietrzna między nimi - do obliczeń przyjęto $D = 3$ mm)

Po podstawieniu danych do wzoru (1) otrzymano

$$f_g = \frac{503^2}{1+30+3^2} = 937 \text{ Hz}$$

Ponieważ rzeczywiste oddziaływanie prądów wirowych w głąb materiału jest znacznie większe niż standardowa głębokość wnikania δ , przy analizach należy uwzględnić efektywną głębokość wnikania, którą przyjmuję się jako 3δ . Jednocześnie trzeba uwzględnić fakt, że sygnały przetworników prądowirowych są zarówno funkcją nieciągłości materiałowych, jak i nieciągłości geometrycznych. W celu zapewnienia optymalnych warunków badania trzeba wybrać częstotliwość pracy będącą wielokrotnością częstotliwości roboczej o tzw. stałą roboczą K_a . Najczęściej wartość K_a zawiera się od 1 do 5 [3].

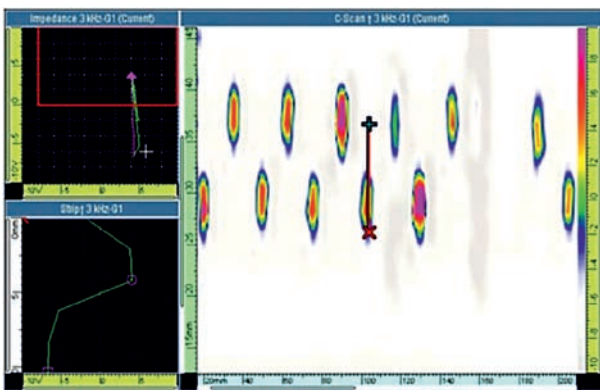
$$1 \leq \frac{f}{f_g} \leq 5 \quad (2)$$

Następnie sprawdzono, dla jakich częstotliwości pracy wskazania okazały się najlepsze (Tab. 1). W naszym wypadku zdecydowano się wybrać częstotliwość pracy $f = 3 \text{ kHz}$.

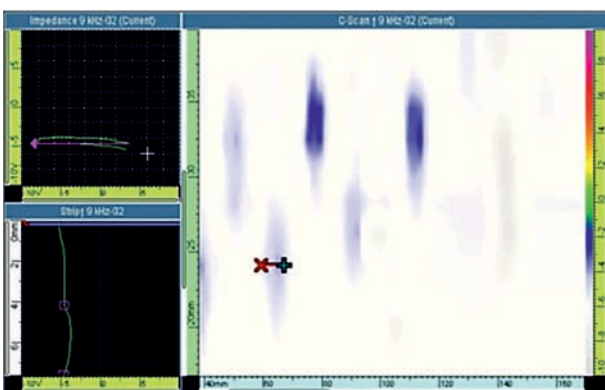
Tab. 1. Częstotliwość pracy dla różnych wartości stałych roboczych K_a

Tab. 1. Operating frequency for various values of work constants K_a

K_a	1	2	3	4	5
$f_{\text{pracy}} [\text{Hz}]$	937	1874	2811	3748	4685



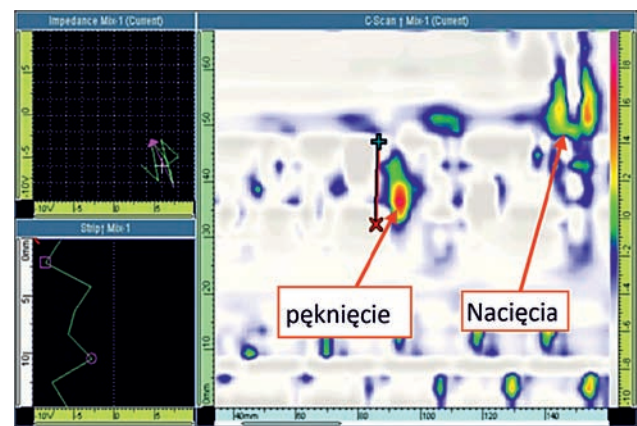
Rys. 4. Wynik pierwszego skanowania ($f = 3 \text{ kHz}$)
Fig. 4. The result of the first scan ($f = 3 \text{ kHz}$)



Rys. 5. Wynik drugiego skanowania (9 kHz)
Fig. 5. The result of the second scan (9 kHz)

Po wyliczeniu optymalnej częstotliwości pracy głowicy przystąpiono do procedury skalowania zgodnie z zaleceniami producenta.

Przygotowanie systemu do badania wymaga przeprowadzenia procedury. Pierwszym krokiem jest zebranie sygnału przy niskiej częstotliwości umożliwiającej uzyskanie wskazania od uszkodzenia w dolnej warstwie (podłużnicy). Na skanie należy wskazać obszar uszkodzenia i ustawić zgodnie z zaleceniami producenta wzmocnienie i kąt fazowy sygnału (Rys. 4). Następnie należy zebrać sygnał przy trzy razy wyższej częstotliwości z tego samego obszaru i ponownie ustawić parametry zgodnie z wytycznymi producenta (Rys. 5). Po przetworzeniu danych system jest gotowy do pracy. Pomimo stosunkowo niskiej rozdzielczości wynikającej z rozmiaru głowic zastosowane procedury przetwarzania sygnału oraz odpowiedni dobór filtrów umożliwiają uzyskanie bardzo wyraźnych wskazań dla uszkodzeń znajdujących się w drugiej warstwie konstrukcji (Rys. 6).



Rys. 6. Wynik badania po poprawnie wykonanej procedurze kalibracji
Fig. 6. The result of the test after a properly performed calibration procedure

5. Podsumowanie

Próby wykrycia pęknięć poszycia konstrukcji nitowanej przeprowadzone metodą prądowirową z zastosowaniem Systemu MAUS oraz z wykorzystaniem EC Array i aparatem OmniScan MX pokazały, że oba systemy są bardzo czułe. Jednak pomimo tego, że rozdzielczość EC Array jest nieco mniejsza, to metoda ta pozwoliła na wykrycie pęknięć w drugiej warstwie blach ze stopu aluminium. Pozwala to na pomyślne rozwijanie zastosowania tej metody w badaniach poszycia statków powietrznych.

6. Literatura/References

- [1] MAUS V Automated System, Manual, 2016
- [2] Ch. Hellier, Handbook of Nondestructive Evaluation, 2003
- [3] Cz. Dybiec, Materiały szkoleniowe, Ośrodek Doskonalenia Kadr Interprofesja, Warszawa, 2003