

Marek Chalimoniuk*, Artur Kułasza
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa

Możliwości zastosowania metody tomografii komputerowej (CT) w lotnictwie

Possible application of X-ray computed tomography (CT) in aviation

ABSTRACT

The article describes the possibilities of the application of the CT method in aviation.

The modern non-destructive diagnostic method, which is the computer tomography, enables to examine all materials applied in the widely understood aviation industry. From chromium-nickel alloys used to manufacture turbine blades, through composite materials, to runway pavements. This method enables to test all aggregates, without the necessity to dismantle them e.g. during commission tests of aircraft incidents.

The article showed the possibilities and limitations of conducting tests with the CT method in particular examples of aircraft details.

Keywords: NDT, computed tomography CT, aviation

STRESZCZENIE

W artykule omówione zostały możliwości zastosowania metody CT w lotnictwie.

Nowoczesna nieniszcząca metoda diagnostyczna, jaką jest tomografia komputerowa, pozwala na badania praktycznie wszystkich materiałów stosowanych w szeroko rozumianej branży lotniczej - od stopów chromowo - niklowych stosowanych do produkcji łopatek turbinowych, poprzez materiały kompozytowe, aż do nawierzchni lotniskowych. Metoda ta pozwala także na badania całych agregatów, bez konieczności ich demontażu np. podczas badań komisyjnych zdarzeń lotniczych.

W artykule pokazano możliwości i ograniczenia zastosowania badań metodą CT na konkretnych przykładach detali lotniczych.

Słowa kluczowe: NDT, tomografia komputerowa CT, lotnictwo

1. Wstęp

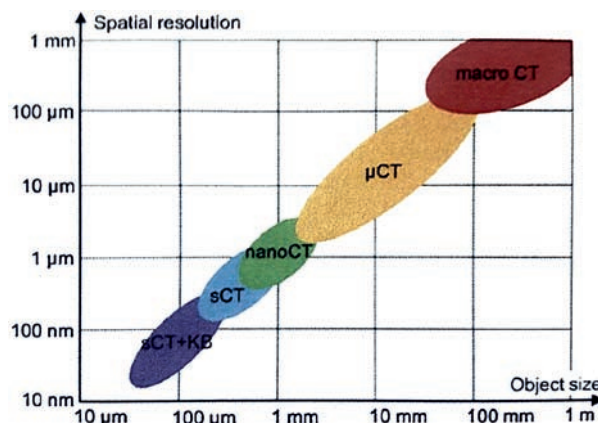
W lotnictwie znajdują zastosowanie wszystkie tradycyjne, jak i nowo rozwijane nieniszczące metody diagnostyczne, do których należy tomografia komputerowa CT.

Nowoczesna nieniszcząca metoda diagnostyczna tomografii komputerowej pozwala na badania praktycznie wszystkich materiałów stosowanych w szeroko rozumianej branży lotniczej - od stopów chromowo - niklowych stosowanych do produkcji łopatek turbinowych, poprzez materiały kompozytowe, aż do nawierzchni lotniskowych. Metoda ta pozwala także na badania całych agregatów, bez konieczności ich demontażu np. podczas badań prowadzonych przez Komisje Badania Wypadków Lotniczych Lotnictwa Państwowego.

Metoda CT w głównej mierze służy do wykrywania wtrąceń, pustek powietrznych i pęknięć wewnętrznych w materiałach. Programy komputerowe np. VGStudio Max, pozwalają nam rozszerzyć możliwości analizowania obrazów poprzez pomiary defektów, a także pomiary geometrii wewnętrznej i zewnętrznej badanych detali z bardzo dużą dokładnością [1].

Dokładność badania w metodzie CT uzależniona jest głównie od wymiarów zewnętrznych materiału oraz jego geometrii. Dla mikro detali o wymiarach $2 \div 5$ mm możemy wykonywać badania z rozdzielczością na poziomie $2 \div 3$ mikrometrów. Wraz ze zwiększaniem rozmiarów detalu zmniejsza się rozdzielczość, a za tym dokładność badania.

Zależność geometryczną można przedstawić jak na wykresie 1.



Rys. 1. Zależność rozdzielczości badania CT od rozmiaru obiektu badań [2].

Fig. 1. The dependence of the CT examination resolution on the size of the test object [2].

Tab. 1. Zalety i wady metody CT.

Tab. 1. Advantages and disadvantages of the CT method.

Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> - metoda NDT; - możliwość analizowania geometrii wewnętrznej; - możliwość badania materiałów o złożonych kształtach, grubościach; - możliwość badania wszystkich rodzajów materiałów 	<ul style="list-style-type: none"> - ograniczony wymiar możliwy do prześwietlenia zależny od mocy lampy; - metoda stacjonarna; - ograniczone możliwości powtarzalności pomiarów; - powstawanie artefaktów

W tabeli 1 przedstawiono ogólne zalety i wady metody CT w odniesieniu do większości materiałów, przy założeniu, że badany detal jesteśmy w stanie prześwietlić i otrzymać

*Autor korespondencyjny. E-mail: marek.chalimoniuk@itwl.pl

obraz o jakości zapewniającej możliwość wiarygodnej analizy.

Możliwości i ograniczenia zastosowania badań metodą CT pokazano na konkretnych przykładach detali lotniczych.

2. Zastosowanie metody CT

W Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych w Warszawie badania prowadzone są z wykorzystaniem będącego na wyposażeniu tomografu firmy GE V/tome/x m.

Podczas badań analizowano możliwości zastosowania metody CT między innymi do próbek betonów lotniczych, łopatek turbinowych wykonanych ze stopów niklo-chromowych, materiałów kompozytowych, materiałów wybuchowych oraz elementów elektronicznych.

W stosunku do nawierzchni betonowych prowadzono badania nad możliwością oceny napowietrzania betonu w porównaniu do metody standardowej - zglądy badane pod mikroskopem i przeliczenia matematyczne (metoda wg normy PN - EN 480-11)

Ocena charakterystyki porów powietrznych w badanych próbkach wykazała, że wyniki badania dotyczące całkowitej zawartości powietrza otrzymane metodą CT w stosunku do metody mikroskopowej analizy obrazu różnią się o ok 0,5%÷1%. Jednak metodą CT analizujemy pory w ich realnym, trójwymiarowym kształcie, a nie aproksymując matematycznie płaskie obrazy. Ponadto badanie CT wraz z analizą pojedynczej próbki trwa ok 3-4 godzin - metodą tradycyjną zajmuje ok. 2 dni.

W tym przypadku metoda CT okazała się bardzo przydatna i trwają prace nad możliwością zastosowania jej w praktyce laboratoryjnej. Związane to jest z koniecznością zmian dotychczasowych norm i procedur, gdyż w trakcie badań mających na celu określenie zawartości mikroporów konieczne jest wykonanie bardzo małych próbek o średnicy ok. 1 cm.

Na rys. 2 przedstawiono przygotowane zglądy betonowe, badane metodą tomografii (próbka 10x10 cm) [3].

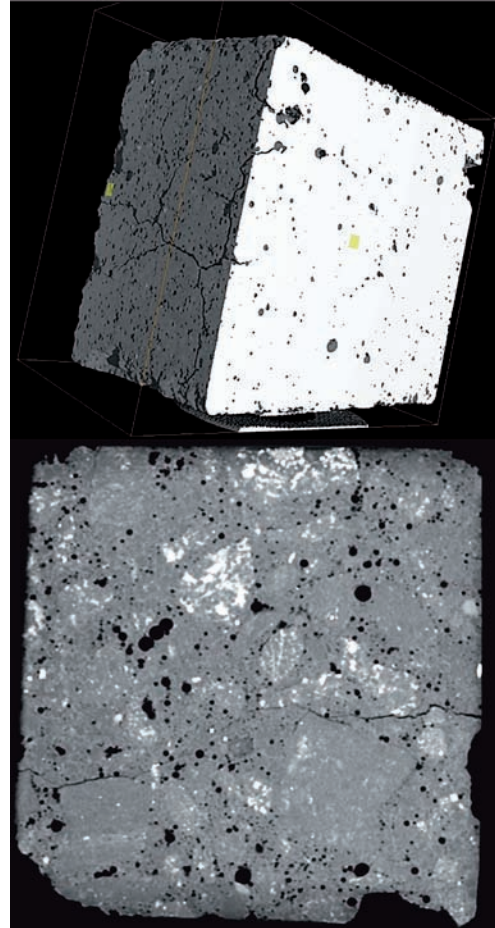


Rys. 2. Znormalizowana próbka betonu o wymiarach 10x10 cm podczas badania.

Fig. 2. A normalized concrete sample of 10x10 cm during the test.

Na rys. 3 pokazano obraz próbki betonowej z widocznymi pęknięciami, porami i pustkami powietrznymi.

W badaniach łopatek ze stopów "lotniczych" w szybki, wiarygodny i co najważniejsze nieniszczący sposób otrzymujemy informację o rzeczywistej geometrii np. chłodzonych łopatek turbin, grubości ich ścianek oraz geometrii kanałów chłodzących itp. [4].



Rys. 3. Próbką o wymiarach 5 x 5 cm badana metodą CT.

Fig. 3. A sample with dimensions of 5 x 5 cm examined by the CT method.



Rys. 4. Obraz geometrii wewnętrznych kanałów chłodzących łopatki turbinowej.

Fig. 4. Image of the geometry of the internal cooling channels of the turbine blade.

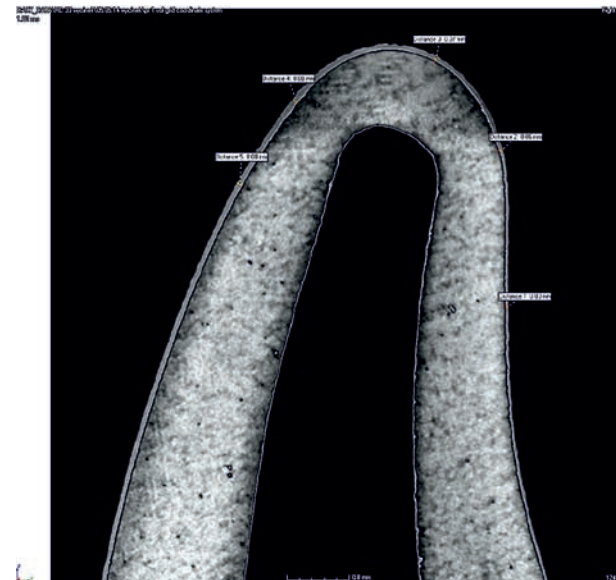
Badania tomograficzne pozwalają z dużą dokładnością zdiagnozować uszkodzenia wewnętrzne typu pęknięcia, zatkanie żużlem kanałów chłodzących, które w sposób bezpośredni skutkują ich uszkodzeniem termicznym w eksploatacji.



Rys. 5. Pęknięcia na krawędzi natarcia łopatki turbinowej uwidocznione podczas badania CT.

Fig. 5. Cracks on the leading edge of the turbine blade visible during the CT examination.

Metoda CT pozwala także na analizę grubości powłok na krawędzi natarcia, gdzie trudno jest zastosować np. metodę ultradźwiękową ze względu na skomplikowany kształt powierzchni.



Rys. 6. Widok zewnętrznej warstwy ochronnej na łopacie turbinowej

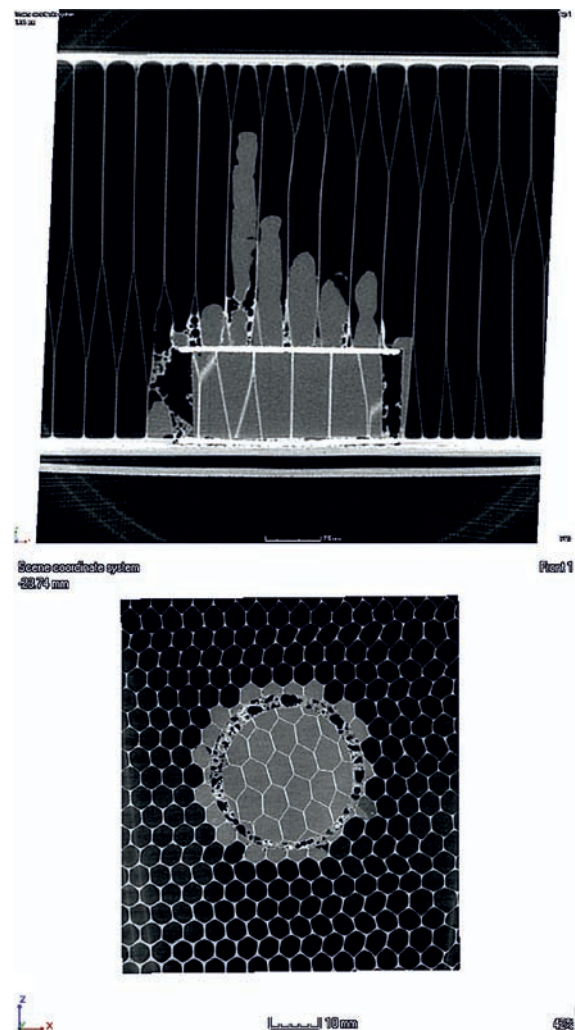
Fig. 6. View of the outer protective layer on the turbine blade.

W badaniach łopatek turbinowych głównym ograniczeniem badania jest moc lampy. Stopy chromowo-niklowe są bardzo "trudne" do prześwietlenia i dla lampy 300 kV maksymalna grubość ścianki, umożliwiającą wykonanie poprawnego badania, wynosi ok 40 ÷ 50 mm. Dotychczasowe doświadczenie pozwala stwierdzić, że do

elementów tego typu i o zbliżonych gabarytach wymagana do badań optymalna moc lampy powinna być na poziomie 450 ÷ 600 kV.

W odróżnieniu od stopów CrNi, materiały kompozytowe wymagają dużo niższych mocy do badania. Lampy o mocy rzędu 150 ÷ 180 kV są wystarczające do wykonania badań większości materiałów tego typu. W ITWL oprócz standardowych badań, mających na celu określenie pustek powietrznych, czyli jakości wykonania kompozytu, prowadzi się badania pod kątem określenia możliwości i kontroli jakości miejscowej naprawy powłok kompozytowych np. na statku powietrznym - bez konieczności demontażu jego elementów np. lotek.

Na rys. 7 pokazano widok naprawionego kompozytu metodą "wstawki".



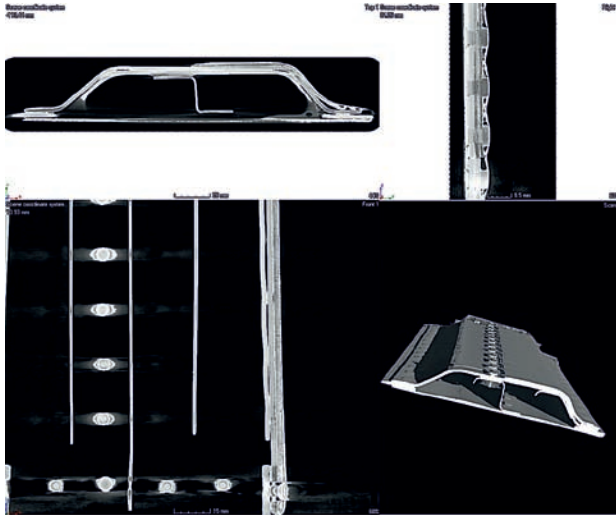
Rys. 7. Obraz naprawionego kompozytu uzyskany metodą CT.

Fig. 7. Image of the repaired composite obtained by CT method.

Prowadzone są także badania połączenia kompozytu z metalem - na elementach statków powietrznych np. w celu doraźnego zabezpieczenia nitów w poszyciu przez możliwością pęknięcia i wypadania do kanałów wlotowych statków powietrznych. Badano poprawność naniesienia i przylegania powłoki kompozytowej, w kolejnych godzinach eksploatacji. Dzięki tej nieniszczącej metodzie było możliwe

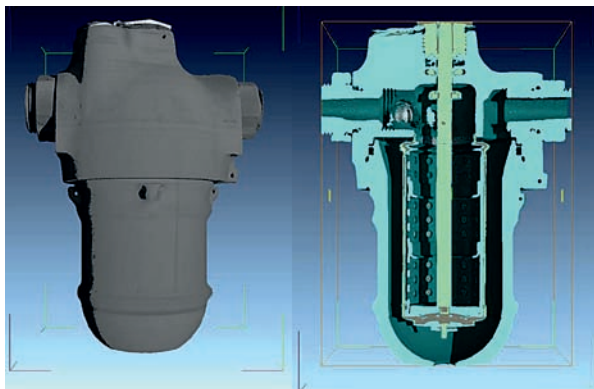
ponowne zamontowanie badanego detalu i przywrócenie statku powietrznego do eksploatacji.

Metoda CT w zastosowaniu do kompozytów daje bardzo dobre wyniki i nie wymaga dużych mocy urządzenia. Nie stwierdzono istotnych ograniczeń w stosunku do tego typu materiałów.



Rys. 8. Widok klapki aluminiowej z naniesioną powłoką kompozytową.

Fig. 8. View of an aluminum flap with an applied composite coating.



Rys. 9. Obraz filtra paliwa i jego przekrój w programie VGStudio Max.

Fig. 9. Image of the fuel filter and its cross-section in the VGStudio Max program.

Metoda tomografii komputerowej CT znalazła także szerokie zastosowanie w badaniach prowadzonych dla Komisji

Badania Wypadków Lotniczych. Badaniu często podlegają całe, uszkodzone agregaty, jeszcze przed demontażem na podzespoły. W takim przypadku możliwość "zajrzenia" do środka dostarcza informacji, w jaki sposób demontować dany zespół, co mogło ulec uszkodzeniu i być powodem niesprawności. Jest to istotne, gdyż często podczas demontażu, tracimy cenne informacje diagnostyczne i nie można przez to określić, jaka była pierwotna przyczyna niesprawności.

Na rys. 9 pokazano skan z badania filtra paliwa i możliwości jego „wirtualnego” demontażu w programie VGStudio Max.

3. Wnioski

Metoda CT, jako nowoczesna metoda NDT, znajduje zastosowanie praktycznie we wszystkich dziedzinach i do wszystkich rodzajów materiałów, zaczynając od typowych detali ze stopów lotniczych, poprzez materiały kompozytowe, elektronikę i całe agregaty, a kończąc na nawierzchniach betonowych. Wyniki uzyskane pozwalają w szybki i skuteczny sposób diagnozować materiały i całe agregaty, które następnie można przywrócić do eksploatacji.

Oprócz wielu zalet metoda posiada także ograniczenia, wynikające przede wszystkim z braku mobilności aparatu tomograficznego. Pewnym jej substytutem może tu być metoda przenośnych, cyfrowych aparatów RTG, która dostarcza niestety tylko płaski obraz.

Kolejnym ograniczeniem metody CT jest wielkość detali i powiązana z tym konieczna moc lampy. Dla detali, gdzie występuje łączna grubość ścianek powyżej kilkudziesięciu milimetrów, moc konieczna do prześwietlenia znacznie się zwiększa i wymaga stosowania tomografów "otwartych", w specjalnie przystosowanych do ochrony radiologicznej pomieszczeniach.

4. Literatura/References

- [1] E. Ratajczyk „Tomografia komputerowa CT w zastosowaniach przemysłowych” Cz. I Idea pomiarów, główne zespoły i ich funkcje. Mechanik nr 2/2011.
- [2] L.De Chiffre, S. Carmignato „Industrial applications of computed tomography” CIRP Annals- Manufacturing Technology 63/2014.
- [3] A. Kułaszka, M. Chalimoniuk, D. Kowalska „Ocena możliwości wykorzystania tomografii komputerowej (X-ray CT) do badania betonów nawierzchniowych” KKBN 2014.
- [4] J. Błachnio, J. Spychała, M. Chalimoniuk „Nieniszcząca metoda tomografii komputerowej do oceny stanu łopatek turbiny gazowej” Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej Tom 8.