

mgr inż. Kamil Kowalczyk

Ocena rozmiaru uszkodzeń metalowych struktur statków powietrznych przy wykorzystaniu czujników prądowiowych

Streszczenie

Praca dotyczy badań nad metodą wykrywania i monitorowania pęknięć zmęczeniowych metalowych struktur lotniczych przy wykorzystaniu czujników prądowiowych integrowanych na stałe z badanymi elementami. W literaturze dostępne są przykłady wykorzystania metody prądowiowej w dziedzinie monitoringu strukturalnego (ang. SHM), lecz dotyczą one przede wszystkim wielocewkowych czujników odbiciowych, których istotną wadę stanowi wysoki poziom złożoności technologii generujący znaczne koszty wdrożenia. W ramach rozprawy przeprowadzone zostały natomiast badania nad wykorzystaniem sond jednocewkowych, tzw. absolutnych, dla których nie są dostępne rozwiązania spełniające uwarunkowania konstrukcyjne i pomiarowe konieczne do zapewnienia efektywnego monitorowania uszkodzeń struktur lotniczych.

W celu opracowania podstaw metody detekcji pęknięć, dostosowanej do zamierzonego zastosowania, przeprowadzono szereg prac badawczych, w ramach których sporządzono projekty oraz technologie produkcji dla różnego typu czujników prądowiowych o odmiennej budowie i geometrii oraz wynikających z nich własności aplikacyjnych. Sporządzony został także model obliczeniowy dla podstawowych parametrów pomiarowych sond. Ponadto do obsługi czujników prądowiowych opracowano również dwa typy torów pomiarowych umożliwiających rejestrację szerokopasmowych charakterystyk impedancyjnych oraz wielokanałową i wysokoczęstotliwościową akwizycję wskazań indukcyjności. Dla obu metod pomiarowych zaimplementowano także odpowiednie techniki przetwarzania i analizy danych pomiarowych.

Celem weryfikacji efektywności opracowanej technologii czujników prądowiowych zrealizowano również szereg badań, w wyniku których wyznaczone zostały wskazania sensorów w odpowiedzi na propagację uszkodzeń monitorowanego elementu struktury, zmiany warunków środowiskowych oraz wpływ eksploatacji długookresowej. Wykrywalność propagacji pęknięć została zweryfikowana w trakcie badań zmęczeniowych próbek pozyskanych z rzeczywistych elementów konstrukcyjnych statków powietrznych różniących się materiałami oraz budową. Stabilność temperaturową czujników wyznaczono na podstawie

szerokozakresowych badań termicznych. Stabilność wskazań w trakcie eksploatacji długookresowej oszacowano natomiast w zróżnicowanych warunkach środowiskowych, w tym na pokładzie statku powietrznego.

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły możliwość efektywnego zastosowania jednocewkowych czujników prądowirowych do monitorowania uszkodzeń elementów strukturalnych statków powietrznych. Wdrożenie niniejszej technologii przyczyni się do podwyższenia poziomu bezpieczeństwa eksploatacji statków powietrznych przy jednoczesnym ograniczeniu nakładów czasowych i finansowych wynikających z badań nieniszczących stosowanych obecnie do weryfikacji stanu technicznego konstrukcji.

Słowa kluczowe: SHM, czujniki prądowirowe, monitorowanie konstrukcji metalowych, wykrywanie uszkodzeń

Damage size assessment in metal aircraft structures with the use of the eddy current sensors

Abstract

The doctoral dissertation is focused on research on a method of detection and monitoring of fatigue cracks in metal aerospace structures with the use of eddy current sensors permanently integrated with the monitored elements. Examples of using the eddy current method in the structural health monitoring (SHM) area are available in the literature. However, these are focused on multi-coil reflection sensors, the considerable disadvantage of which is a high level of technology complexity generating significant implementation costs. Research presented in the dissertation, was carried out on the use of single-coil probes, so-called absolute, for which there are no available solutions that meet neither the design and measurement conditions nor provide sufficient efficiency appropriate in the case of aerospace applications.

In order to establish the basis of the damage detection method properly adapted to the intended application, designs and production technologies were developed for several types of the eddy current sensors with various structures and geometries as well as the resulting application properties. In addition, a calculation model for the primary measurement parameters of the probes was prepared. To ensure an operation of eddy current sensors, two types of measurement systems have also been developed, enabling acquisition of wideband impedance characteristics or multi-channel and high-frequency acquisition of inductance values. For both measurement methods appropriate techniques for processing and analysis of measurement data were also developed.

The work also presents a series of tests carried out in order to verify the effectiveness of the developed eddy current sensor technology. As the result, the sensors indications were determined in response to the propagation of fatigue crack in monitored elements, changes in environmental conditions and the impact of long-term operation. The efficiency of crack propagation monitoring was verified during fatigue tests of specimens obtained from actual aircraft structures differed in terms of materials and construction. The temperature stability of the sensors was determined according to wide-range thermal tests. The stability of sensors indications under long-term operation was also assessed, including influence of various environmental conditions in variability range proper for aircraft on-board application.

The results of the carried-out research confirmed possibility of effective use of the single-coil eddy current sensors in the field of structural health monitoring. The implementation of this technology will contribute to an increase in the safety level of aircraft operation, whilst reducing the time and financial efforts arising from the currently used non-destructive testing.

Key words: Structural Health Monitoring, eddy current sensors, metal structures monitoring, damage detection