

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Badania eksperymentalne i numeryczne drgań łopatki turbiny z tłumieniem wewnętrznym wykonanej w technologii przyrostowej

Andrzej Leski¹, Michał Szmidt¹, Grzegorz Moneta¹, Sławomir Cieślak¹, Michał Fedasz¹, Wiesław Krzymień¹

¹Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Lotnictwa

email: Andrzej.Leski@ilot.lukasiewicz.gov.pl, Michal.Szmidt@ilot.lukasiewicz.gov.pl, Grzegorz.Moneta@ilot.lukasiewicz.gov.pl, Sławomir.Cieslak@ilot.lukasiewicz.gov.pl, Michał.Fedasz@ilot.lukasiewicz.gov.pl, Wiesław.Krzymien.@ilot.lukasiewicz.gov.pl

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono koncepcję zwiększenia tłumienia drgań łopatki silnika turbinowego poprzez zastosowanie mechanizmów tłumiących zaimplementowanych wewnątrz struktury elementu. Łopatkę wytworzono w technologii przyrostowej pozwalającej na utworzenie wewnątrz struktury komór z nieprzetopionym proszkiem. Dodatkowo w komorach, do stałej struktury zamocowane są pręciki oraz czopy o różnej geometrii, mające różną częstotliwości drgań własnych. Ich zadaniem jest przejście energii drgań i przekazanie jej do proszku, gdzie jest efektywnie wytracana. Łopatkę poddano badaniom eksperymentalnym na wzbudniku drgań. Ich celem było wyznaczenie częstotliwości drgań własnych oraz określenie współczynnika tłumienia badanej części. Wyniki porównano z łopatką referencyjną wykonaną w tej samej technologii z litego materiału. Równolegle przeprowadzono obliczenia pozwalające na wyznaczenie postaci drgań własnych oraz oszacowanie efektywności mechanizmów tłumiących dla poszczególnych częstotliwości rezonansowych. Dotychczasowe badania wykazały skuteczność zastosowanych rozwiązań i dlatego w kolejnych etapach prac planowana jest optymalizacja struktur tłumiących łopatki oraz modelu obliczeniowego.

SŁOWA KLUCZOWE: drgania, tłumienie, wibrometr, technologie addytywne, łopaska

1. Wprowadzenie

Drgania struktur maszyn wirujących są nierozłącznym problemem ich eksploatacji. Wymusza to poszukiwania sposobów ich redukcji zarówno poprzez zmniejszenie skutków występujących drgań jak i ograniczania ich już na etapie projektowania części.

Specyficznym typem maszyn wirnikowych są silniki turbinowe. Praca takich urządzeń w pobliżu częstotliwości rezonansowych, częste ich przekraczanie przy rozruchach lub wyhamowaniu, stwarza warunki sprzyjające powstawaniu pęknięć zmęczeniowych.

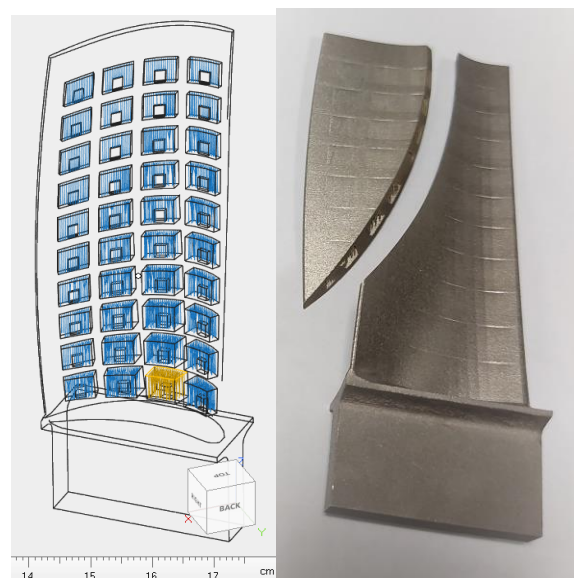
Szczególnie narażonymi na zmęczenie elementami są łopatki turbin. Rozwój pęknięcia łopatki prowadzi do jej destrukcji i powoduje zwykle awarię, a samo wyłączenie urządzenia z eksploatacji jest źródłem ogromnych kosztów. Dlatego ciągle poszukuje się metod pozwalających na ograniczenie awarii maszyn już na etapie projektowania łopatek turbiny.

Jednym z możliwych kierunków zmniejszenia drgań łopatek jest zwiększenie ich tłumienia. Używane dotychczas metody bazują na modyfikacjach konstrukcji polegających na zwiększeniu tłumienia mocowania łopatek oraz zastosowaniu specjalnych elementów tłumiących (w tym przypadku tłumików ciernych). Propozycją niekonwencjonalnego podejścia jest zwiększenie tłumienia drgań w samej strukturze łopatki. Wymaga to zastosowania mechanizmów pochłaniania energii wewnątrz struktury. Cel jest możliwy do osiągnięcia przy zastosowaniu metod produkcji łopatek bazujących na technologii przyrostowej (druku 3D). Wymaga to jednak specyficznego podejścia do

projektowania, wytwarzania, wielu badań i weryfikacji produktu aż do osiągnięcia oczekiwanych właściwościach drganiowych.

2. Projekt łopatki z wewnętrznym tłumieniem drgań

W pracy zaprezentowano łopatkę odwzorowującą kształt oryginalnego elementu. W odróżnieniu od niego nie posiada ona pełnej struktury z litego materiału – rys. 1.



Rys. 1. Struktura wewnętrzna oraz wytworzony prototyp łopatki ze strukturami tłumiącymi

Wewnątrz występują komory, które wypełniane są luźnym materiałem tłumiącym (proszkiem). Ponadto w komorach, do stałej struktury zamocowane są pręciki oraz czopy o różnej geometrii, mające różną częstotliwości drgań własnych. Ich zadaniem jest transfer energii drgań do proszku, gdzie jest bardziej efektywnie wytracana.

Łopatkę ze stopu CoCr wytworzono w technologii przyrostowej (Selective Laser Melting – SLM) na urządzeniu SISMA MYSINT100. Równolegle, jako obiekt referencyjny, w tej samej technologii wykonano łopatkę z litego materiału o identycznej geometrii zewnętrznej.

3. Badania eksperymentalne łopatek

Celem badań eksperymentalnych było wyznaczenie częstotliwości podstawowych postaci drgań własnych oraz pomiar tłumienia drgań obu łopatek.

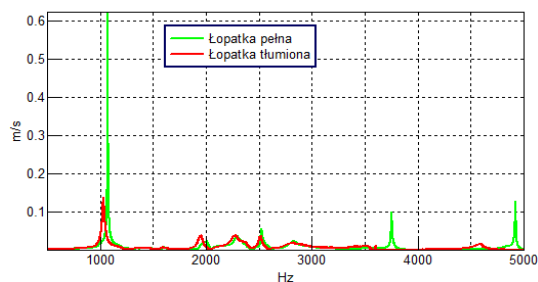
Podczas testów łopatką była zamocowana w specjalnym uchwycie i zamontowana na stoliku elektrodynamicznego wzbudnika drgań. Wzbudzano drgania o przebiegu sinusoidalnym z rosnącą częstotliwością w zakresie od 0,5 do 5 kHz. Odpowiedź mierzono bezstykowo za pomocą wibrometru laserowego Polytec PSV-500 3D – rys. 2.



Rys. 2. Stanowisko badawcze

Do akwizycji danych oraz sterowania wzbudnikiem podczas pomiaru tłumienia drgań wykorzystano system bazujący na rejestratorze LMS SCADAS wraz z oprogramowaniem LMS Test.Lab. System rejestrował dane zarówno z głowicy wibrometru laserowego jak i czujnika referencyjnego umieszczonego na stole wibracyjnym.

Rysunek 3. przedstawia uzyskaną charakterystykę amplitudy w funkcji częstotliwości drgań dla obu łopatek.



Rys. 3. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa łopatki tłumionej oraz pełnej

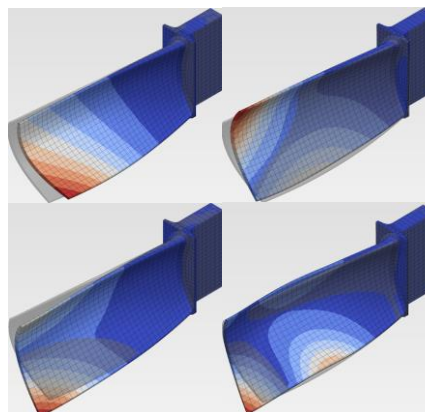
Z uzyskanej charakterystyki wyznaczono częstotliwości poszczególnych postaci drgań zamocowanej łopatki. Tłumienie drgań, obliczono przy wykorzystaniu metody

pół-mocy. Otrzymane wyniki, w zależności od badanej postaci drgań wykazały nawet kilkukrotny wzrost tłumienia, co odpowiada efektowi zastosowania tłumików ciernych.

4. Obliczenia numeryczne

Z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych wykonano analizę modalną w celu odzwierciedlenia eksperymentu metodami numerycznymi. Uzyskano dostateczną na tym etapie badań zgodność wyników obliczeń z eksperymentem.

Na rysunku 4 przedstawiono postacie drgań uzyskane z obliczeń numerycznych.



Rys. 4. Rysunki postaci drgań uzyskane z obliczeń (warstwice przemieszczeń modalnych)

Na podstawie uzyskanych z obliczeń postaci drgań możliwe jest oszacowanie skuteczności tłumienia w poszczególnych obszarach struktury łopatki. Pozwoli to w przyszłości na dalszą optymalizację konstrukcji.

5. Podsumowanie

Wstępne badania łopatki wykazały wysoką skuteczność zastosowanych mechanizmów tłumienia drgań (porównywalną z zastosowaniem tłumika ciernego).

Oczekuje się, że obliczenia numeryczne pozwolą na lepsze zrozumienie i bardziej efektywne wykorzystanie zastosowanych mechanizmów tłumienia.

Prototyp łopatki wymaga także optymalizacji wytrzymałościowej oraz uwzględnienia wpływu siły odśrodkowej na efektywność tłumienia drgań w zastosowanych strukturach. Pożądane będzie także przeprowadzenie badań eksperymentalnych na rzeczywistym silniku.

Literatura

- [1] Onome, S.-E. i in., *Determining unfused powder threshold for optimal inherent damping with additive manufacturing*, Additive Manufacturing 38 (2021) 101739.
- [2] Moneta G., *Optymalizacja tłumienia drgań łopatek turbiny*, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, 2019.
- [3] Szmida M., *Aktywne tłumienie drgań prostokątnego panelu kompozytowego za pomocą naklejonych elementów piezoelektrycznych*, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, 2014.
- [4] Cieślak S., *Ocena wiarygodności badań rezonansowych*, rozprawa doktorska, Instytut Lotnictwa, 2018.
- [5] Szwedowicz, J., *30-Year Anniversary of Friction Damper Technology in Turbine Blades*, Global Gas Turbine News, ASME Mechanical Engineering Magazine, Vol. 50, No. 1, February 2010.