

Numeryczno-doświadczalna analiza połączenia zamkowego z uwzględnieniem parametryzacji modelu

Numerical and experimental analysis of compressor's jet engine blade joint including the model parameterization

ADAM KOZAKIEWICZ
OLGA GRZEJSZCZAK
TOMASZ ŁĄCKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.7.73>

Przedstawiono analizę wytrzymałościową trzech wariantów zamka trapezowego, których końcowa geometria powstała z wykorzystaniem modułu optymalizacji systemu ANSYS. Wprowadzono parametryzację geometrii stopki i wieńca tarczy, wykonano analizę porównawczą wytypowanych geometrii pod względem wytrzymałościowym. Zaprezentowano wyniki prób zastępczych modeli odwzorowujących połączenie zamkowe łopatki z wieńcem tarczy, do badań wykorzystano system cyfrowej korelacji obrazu.

SŁOWA KLUCZOWE: parametryzacja, optymalizacja, analiza wytrzymałościowa, zamek trapezowy, silnik turbinowy

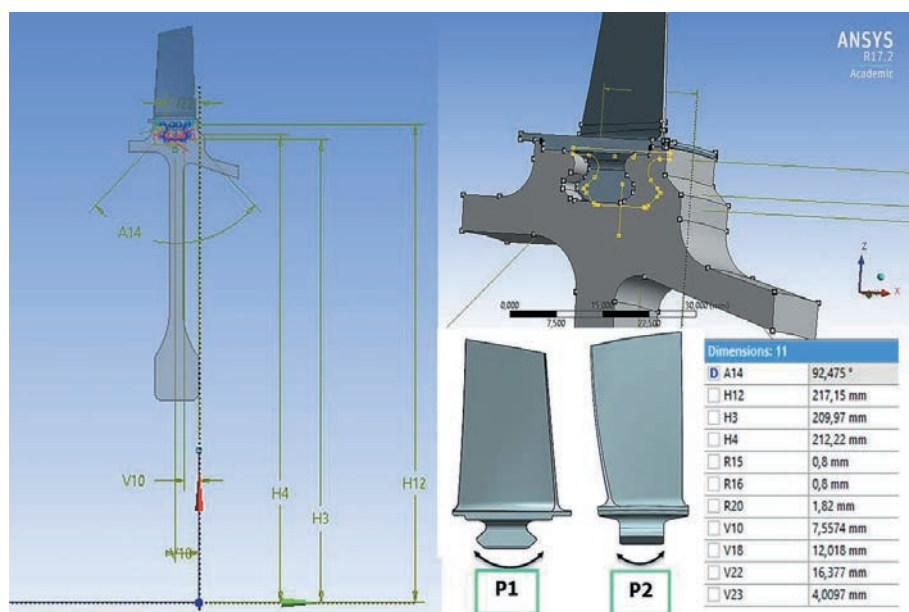
Presented is the strength analysis of three variants of the compressor's jet engine blade joint whose final geometry was created using the ANSYS optimization module. Parameterization of the blade foot and rim geometry has been introduced and a comparative analysis of the selected geometry in terms of strength has been performed. In addition, results from the experimental analysis of the substitute models of blade joint with using the digital image correlation system were presented.

KEYWORDS: stress analysis, parameterization, dovetail joint, optimization, jet engine

Parametryzacja, czyli wprowadzenie do modelu geometrycznego zmiennych, pozwala efektywnie prześledzić wpływ wybranych parametrów na pracę i zachowanie danej konstrukcji. Poza tym przyspiesza obliczenia modelu i umożliwia wprowadzanie zmian na każdym etapie projektowania. W połączeniu z procesem optymalizacji umożliwia opracowanie wielu wariantów konstrukcji (o różnych wymiarach geometrycznych i cechach) oraz wybór najlepsze-

go rozwiązania w zależności od kryterium optymalizacyjnego. Obliczenia mogą być wykonywane automatycznie, w stosunkowo krótkim czasie, co sprawia, że proces projektowo-konstrukcyjny jest znacznie wydajniejszy.

Przedmiotem pracy jest analiza porównawcza trzech wariantów obliczeniowych, określonych na podstawie odwzorowanej i sparametryzowanej geometrii zamka trapezowego wirnika sprężarki silnika turbinowego z wykorzystaniem narzędzi optymalizacyjnych systemu ANSYS. Na pierwszym etapie wykonano numeryczne analizy wytrzymałościowe metodą elementów skończonych, aby otrzymać rozkłady naprężeń i przemieszczeń przy obciążeniu siłą odśrodkową. Na kolejnym etapie układ połączenia łopatka-tarcza poddano próbie wytrzymałościowej na rozciąganie. Wykorzystano system cyfrowej korelacji obrazu Dantec Q400, pozwalający na pomiar odkształceń i zobrazenie deformacji rzeczywistej powierzchni.



Rys. 1. Geometria modelu wyjściowego

* Dr hab. inż. Adam Kozakiewicz (adam.kozakiewicz@wat.edu.pl), mgr inż. Olga Grzejszczak (olga.grzejszczak@wat.edu.pl), mgr inż. Tomasz Łącki (tomasz.lacki@wat.edu.pl) – Wydział Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej

Analiza numeryczna

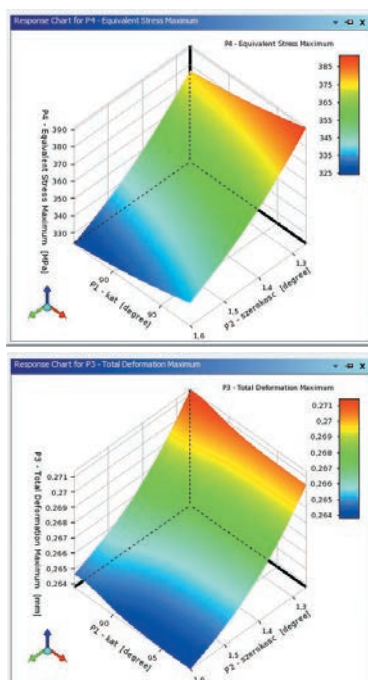
Oprogramowanie ANSYS umożliwia definiowanie zarówno zmiennych, jak i więzów geometrycznych na etapie tworzenia geometrii. Skutecznym narzędziem w systemie ANSYS DesignXplorer, pozwalającym na analizę zmienności interesującego parametru w odniesieniu do parametrów wejściowych, jest funkcja *Response Surface*. Określając zakres zmienności wybranych parametrów, można w ramach tej funkcji pozwolić, żeby program losowo wybrał kilka kombinacji tych parametrów, lub samemu wprowadzić wartości. Tak otrzymuje się kilka lub kilkadziesiąt wariantów modelu z odpowiadającymi mu wartościami maksymalnych naprężeń, odkształceń itp. Uzyskane dane można poddać dalszej analizie z zastosowaniem narzędzia *Response Surface Optimization*. Wykorzystuje ono wybraną metodę optymalizacji i poszukuje oraz wybiera wartości, które najlepiej spełniają założone kryteria.

Obiektem badań jest zamek trapezowy obwodowy, który jest najczęściej stosowany jako rodzaj połączenia łopaty z tarczą w wirnikach sprężarek osiowych. Wyściowa geometria stopki została odwzorowana z wykorzystaniem metod inżynierii odwrotnej. Model CAD stworzono w programie Siemens NX. Do celów parametryzacji geometrię stopki i części wieńcowej tarczy wykonano bezpośrednio w środowisku ANSYS (rys. 1).

Spośród kilkunastu parametrów geometrycznych do dalszej analizy wybrano:

- parametr P1 – grubość stopki definiowaną przez kąt A14 (rys. 1, lewa strona),
- parametr P2 – szerokość stopki (rys. 1, prawa strona).

Przeanalizowano wpływ tych parametrów na naprężenia i przemieszczenia w zamku przy obciążeniu siłą bezwładności, wynikającą z założonej prędkości obrotowej. Przeanalizowano 30 wariantów. Parametr P1 zmieniał się w granicach $86 \div 98^\circ$, natomiast parametr P2 – w przedziale $1,26 \div 1,6$. Wyniki przedstawiono na rys. 2. Na kolejnym etapie analizy na podstawie optymalizacji wybrano dwa



Rys. 2. Wpływ parametrów P1 i P2 na rozkład naprężeń zredukowanych i odkształceń przy prędkości obrotowej $\omega = 927$ rad/s

TABLICA I. Warianty geometryczne połączenia

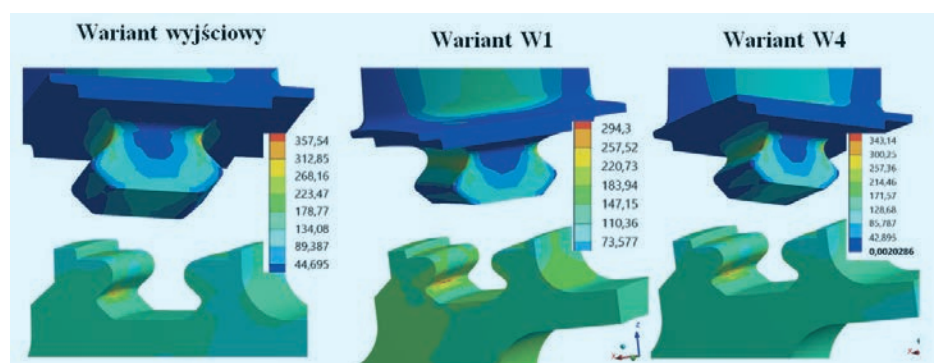
Parametr	Kryterium MIN			Kryterium MAX		
	W1	W2	W3	W4	W5	W6
P1, °	86	95,3	98	98	86,60	93,74
P2, °	1,60	1,59	1,60	1,26	1,26	1,26
Odształcenia, mm	0,27	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27
Naprężenia, MPa	323,99	334,60	337,15	391,20	377,27	383,69

warianty geometryczne badanej stopki (tabl. I). Pierwszy spełniał kryterium minimalnych naprężeń i odkształceń (MIN), drugi – kryterium maksymalnych naprężeń i odkształceń (MAX).

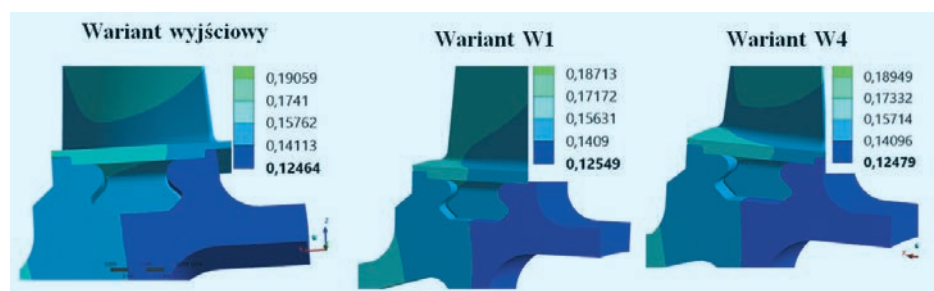
Dalsze analizy numeryczne i analizę doświadczalną przeprowadzono dla wariantów geometrycznych oznaczonych w tabl. I jako W1 i W4. Dla porównania przeanalizowano także geometrię wyjściową. Wyniki analizy wytrzymałościowej, obejmującej numeryczne wyznaczenie rozkładu naprężeń zredukowanych i odkształceń, przedstawiono na rys. 3 i 4.

Analiza doświadczalna

Analiza doświadczalna obejmowała statyczną próbę rozciągania próbek zamka trapezowego i pomiar odkształceń przy zadanym obciążeniu, zmieniającym się od 0,5 do 10 kN. Do wyznaczenia pól odkształceń i deformacji powierzchni badanego obiektu wykorzystano system cyfrowej korelacji obrazu. Zasada działania tego systemu polega na oświetleniu oraz analizie intensywności światła odbitego od powierzchni obiektu w stanie niezdeformowanym (początkowym) i zdeformowanym (rys. 5) [1].



Rys. 3. Rozkład naprężeń zredukowanych, MPa



Rys. 4. Rozkład odkształceń, mm

