

Prof. dr hab. inż. Edward Chlebus, Politechnika Wroclawska

Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Hufenbach, Technische Universität Dresden

Dr inż. Piotr Górski, Politechnika Wroclawska

Dr inż. Kamil Krot, Politechnika Wroclawska

Mgr inż. Andrzej Czulak, Technische Universität Dresden

Proces projektowo – konstrukcyjny budowy wirujących dysków

W artykule przedstawiono proces projektowo-konstrukcyjny dysków wirujących z dużymi prędkościami. Do analiz wykorzystano, opisane w literaturze, modele obliczeniowe tarczy o równej wytrzymałości oraz tarczy z otworem, o stałej grubości. Kolejny etap obejmował wykonanie modeli geometrycznych dysków. Zaprezentowano kilka wariantowych rozwiązań geometrii dysków. Na podstawie wykonanych analiz podjęto decyzję o budowie dwóch dysków: z kanałami radialnymi prostymi i zakrzywionymi.

1. Wprowadzenie

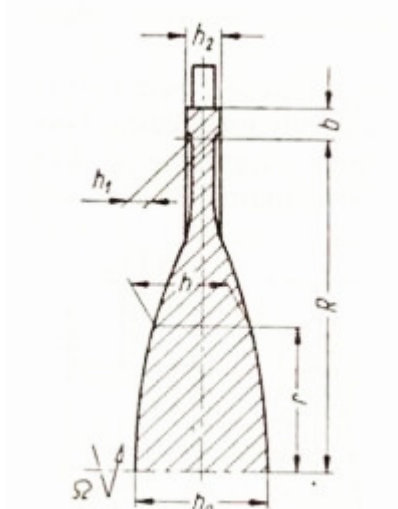
Elementy maszyn, wirujące z dużymi prędkościami, wykorzystywane są w wielu dziedzinach przemysłu, przede wszystkim w lotnictwie, przemyśle motoryzacyjnym i energetyce. Projektowanie takich elementów jest procesem bardzo złożonym. Obecnie prace inżynierskie wspomagane są poprzez zaawansowane systemy komputerowe, które ułatwiają inżynierowi podejmowanie decyzji na etapie procesu projektowo-konstrukcyjnego. Systemy CAx znajdują zastosowanie w budowaniu modeli geometrycznych, na podstawie których w kolejnych etapach, mogą być wykonywane analizy numeryczne np. obliczenia za pomocą metody elementów skończonych [3]. Zastosowanie tych systemów umożliwia eliminowanie pojawiających się błędów, już na etapie procesu projektowania, a co za tym idzie pozwala na uniknięcie budowy kosztownych prototypów [4].

2. Warianty konstrukcji dysków

Kluczowym elementem opracowania modeli geometrycznych dysków był wybór wariantu konstrukcji, która następnie miałaby być sprawdzona pod kątem zapewnienia wymagań wytrzymałościowych. Do ustalenia kształtu dysków oraz ich wymiarów wykorzystano dwa modele obliczeniowe [1], [2]:

- tarczy wirującej o równej wytrzymałości oraz
- tarczy z otworem o stałej grubości.

Rysunek 1 przedstawia przykładową tarczę o równej wytrzymałości



Rys. 1. Tarcza o równej wytrzymałości [1]

Poniższa zależność opisuje grubość „z” dysku wirującego o równej wytrzymałości [1]. Obliczenia pozwolą na wyznaczenie kształtu obrysu dysku, przy którym naprężenia promieniowe i obwodowe będą sobie równe i stałe w każdym punkcie dysku.

$$z = z_0 e^{\frac{\gamma \omega^2 r^2}{g 2\sigma}} \quad (1)$$

gdzie:

z- grubość dysku

z_0 - grubość dysku przy promieniu $r = 0$,

g – stała grawitacji,

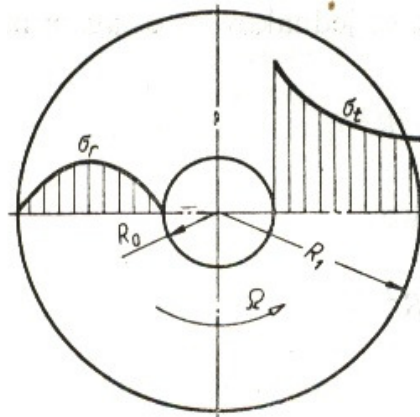
γ – gęstość,

ω – prędkość kątowna,

r – promień dysku,

σ – naprężenia (założenie że naprężenia promieniowe i obwodowe są równe)

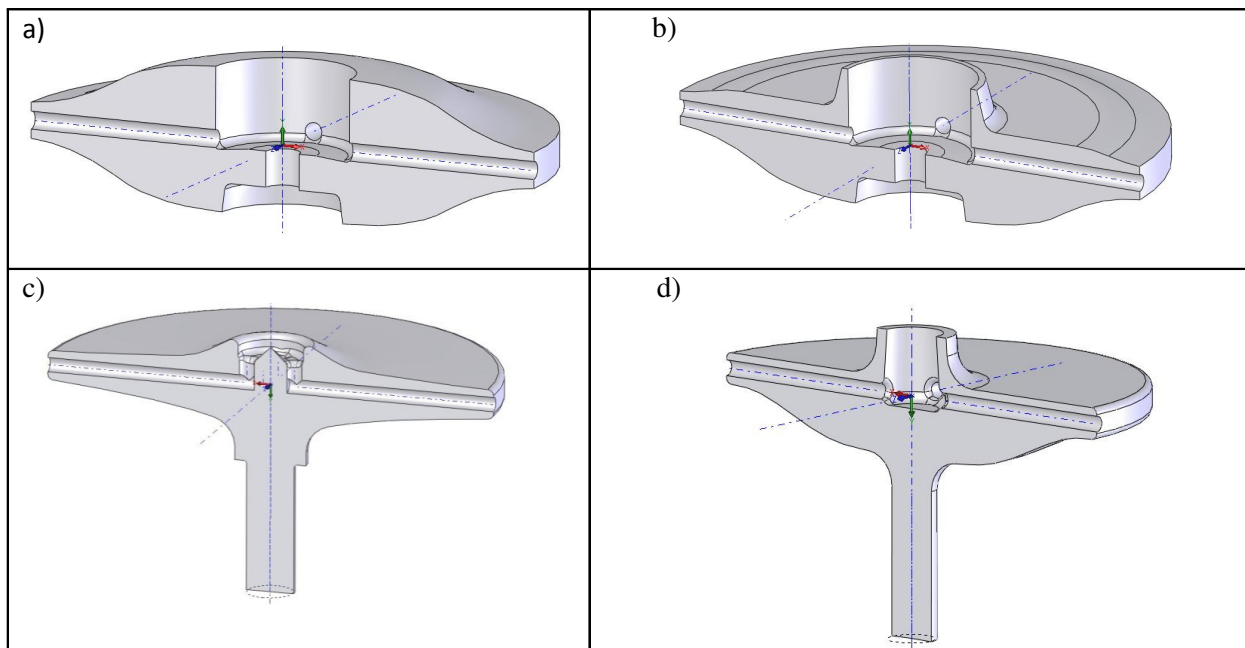
Przedstawiony wzór umożliwia obliczenie grubości dysku w różnych odległościach od osi obrotu. Model ten nie uwzględnia jednak otworu wewnątrz, który jest koniecznym elementem projektowanych dysków. Z uwagi na to wzięto pod uwagę inny model dla tarczy z otworem o stałej grubości. Rysunek 2 przedstawia rozkład naprężeń obwodowych i stycznych w tarczy o równej grubości z otworem.

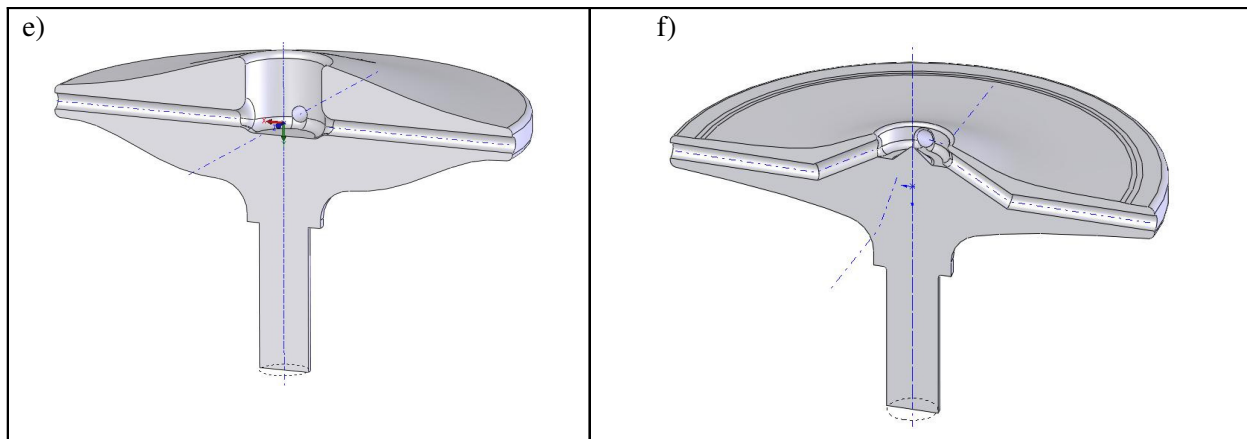


Rys. 2. Rozkład naprężeń promieniowych σ_r i naprężeń obwodowych σ_t w dysku o stałej grubości z otworem

Największe naprężenia obwodowe σ_t , w przypadku tarczy z otworem o stałej grubości występują przy krawędzi otworu. Naprężenia promieniowe σ_r maksimum osiągają w połowie odległości ($R_1 - R_0$). Mając na uwadze powyższe zagadnienia przystąpiono do prac projektowo – konstrukcyjnych dotyczących opracowania narzędzia do rozdrabniania materiałów – wirującego dysku z otworem centralnym i czterema radialnymi kanałami wewnątrz.

Specyfika wykorzystania dysku nałożyła na projektanta pewne ograniczenia, które związane były z wykonaniem wewnątrz kanałów. Ograniczenia wynikają po pierwsze z wytrzymałości dysku ze względu na kształt kanałów, po drugie z samego procesu technologicznego wykonania takich kanałów wewnątrz dysku. Na podstawie analiz teoretycznych zaproponowano kilka wariantów geometrii dysku z wydrążonymi wewnątrz kanałami. Na rys. 3 przedstawiono wybrane sześć rozwiązań konstrukcyjnych dysku. Wersje „a”, oraz „b” były wersjami wstępnymi, które na wstępie odrzucono, gdyż konieczne było zaprojektowanie elementu za pomocą którego możliwe będzie bezpośrednie mocowanie na wrzecionie. Wersje „c”, „d”, „e” i „f” zostały zaprojektowane z uwzględnieniem tego elementu mocującego – cylindryczny nagwintowany fragment geometrii wkręcany w oś wrzeciona.

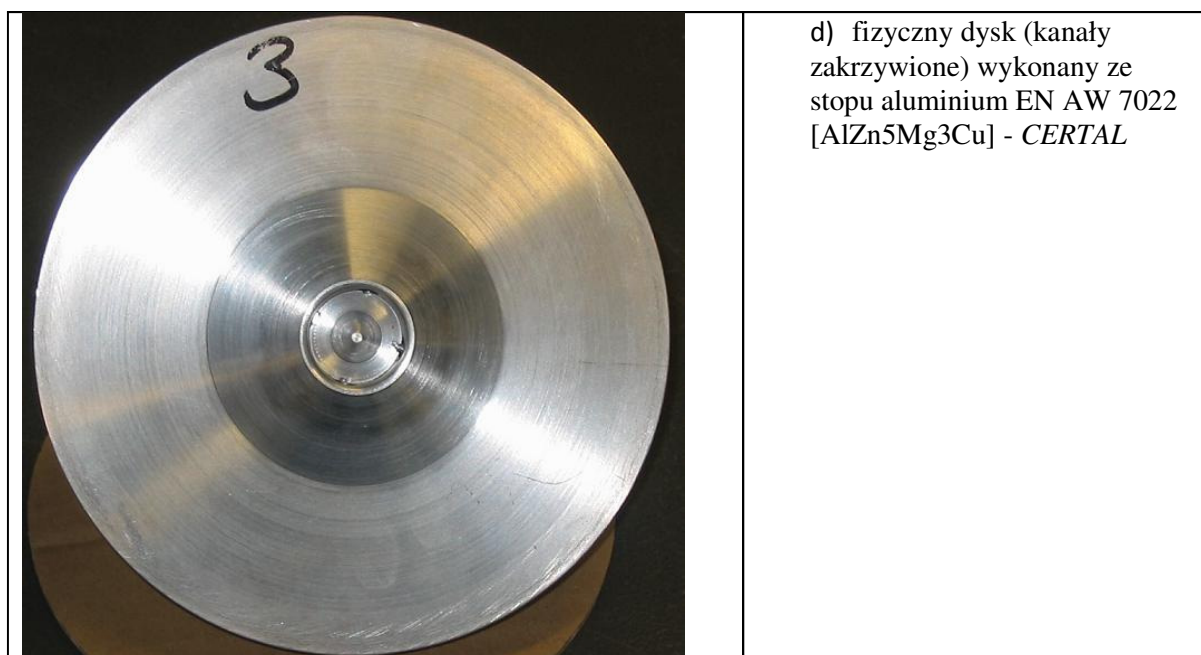




Rys. 3. Propozycje rozwiązań geometrii dysku.

Mając na uwadze powyższe zależności wynikające z wytrzymałości wyznaczono studyjny kształt dysku oraz założono w jaki sposób usytuowane będą kanały wewnątrz dysków. Wstępne analizy wytrzymałościowe przeprowadzone dla dysków „c”, „d”, „e” i „f” z rys. 3 spowodowały odrzucenie dysku „d” z uwagi na nierównomierny rozkład objętości materiału i rozkład naprężeń daleki od stałego w całej objętości dysku. Rozwiązanie „e” odrzucono z uwagi na zbyt dużą objętość dysku – duża masa wirująca. Zdecydowano się na budowę modeli dysków o kształcie zbliżonym do dysków „c” oraz „f” z rys. 3. Dyski te już w pierwszych analizach charakteryzowały się równomiernym rozkładem naprężeń w całej wirującej masie, przewidywano jednak zakłócenia takiego stanu po wprowadzeniu kanałów radialnych - rys. 4.

	<p>a) konstrukcyjny model dysku z kanałami radialnymi prostymi</p>
	<p>b) konstrukcyjny model dysku z kanałami radialnymi zakrzywionymi</p>
	<p>c) fizyczny dysk (kanały proste) wykonany ze stopu aluminium EN AW 7022 [AlZn5Mg3Cu] - CERTAL</p>



Rys. 4 Dwa warianty geometrii dysków – modele konstrukcyjne oraz fizyczne dyski wykonane ze stopu aluminium.

Projektując geometrię dysków wzięto pod uwagę kształt umożliwiający uzyskanie stałego rozkładu naprężeń wywołanych siłą odśrodkową w ruchu obrotowym w całym przekroju dysku. Ogólny zarys przekroju dysku uwzględnia minimalizację naprężeń stycznych oraz obwodowych wywołanych wirującą masą dysku.

Pierwszą wersję geometrii dysku przyjęto jak na rys. 4 „a”, charakteryzuje się ona centralnym otworem osiowym oraz czterema prostymi kanałami radialnymi, rozłożonymi symetrycznie po obwodzie dysku.

Druga wersja geometrii (rys. 4 „b”) ma bardziej zwartą konstrukcję w części centralnej oraz zakrzywione kanały radialne. Z technologicznego punktu widzenia jest trudniejsza do wykonania z uwagi na konieczność wykonania długich otworów „spotykających się” wewnątrz objętości dysku. Mimo to przyjęto jednak ten wariant, mając na uwadze lepsze własności wytrzymałościowe takiej konstrukcji. Założono, że konstrukcja bardziej zwarta w części centralnej będzie mogła pracować z wyższymi obrotami. Dyski w dolnej części mają nagwintowany odcinek cylindryczny, umożliwiający wkręcenie bezpośrednio w elektrowrzeciono maszyny. Tak przygotowane modele konstrukcyjne zostały następnie przeliczone z wykorzystaniem metody elementów skończonych, gdzie jako wymuszenie przyjęto prędkość obrotową.

Przedstawione dwa rozwiązania dysków z rys. 4 poddano szerszej analizie numerycznej, oraz badaniom niszcącym, których opis został zawarty w osobnym artykule.

3. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wstępny proces projektowo - konstrukcyjny budowy – wirujących dysków z dużymi prędkościami. Zaprezentowano kolejne etapy w procesie wyboru konstrukcji, która jak najlepiej będzie spełniała postawione założenia. W wyniku przedstawionego studium (wykorzystano modele analityczne, wykonano propozycje rozwiązań geometrii dysków) oraz wykonanych analizach numerycznych zawartych w osobnym artykule podjęto decyzję o wykonaniu dwóch dysków z materiału ze stopu aluminium EN AW 7022 [AlZn5Mg3Cu] - CERTAL (z kanałami prostymi oraz zakrzywionymi).

Literatura

- [1] Jakubowicz A., Orłoś Z.: *Wytrzymałość materiałów* t-1; t-2 Wydawnictwa Naukowo – Techniczne Warszawa 2009
- [2] Lipka J.: *Wytrzymałość maszyn wirnikowych* Wydawnictwa Naukowo – Techniczne Warszawa 1967
- [3] Zienkiewicz_O. C., Taylor_R. L., Zhu J. Z.: „The finite element method : its basis and fundamentals”, Amsterdam [etc.] : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006
- [4] Chlebus E.: „Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji”, WNT Warszawa, 2000.

Proces projektowo – konstrukcyjny budowy wirujących dysków

W artykule przedstawiono proces projektowo-konstrukcyjny dysków wirujących z dużymi prędkościami. Do analiz wykorzystano, opisane w literaturze, modele obliczeniowe tarczy o równej wytrzymałości oraz tarczy z otworem, o stałej grubości. Kolejny etap obejmował wykonanie modeli geometrycznych dysków. Zaprezentowano kilka wariantowych rozwiązań geometrii dysków. Na podstawie wykonanych analiz podjęto decyzję o budowie dwóch dysków: z kanałami radialnymi prostymi i zakrzywionymi.

The design and construction process of rotating discs

The article presents the design and construction process of high speed rotating discs. For the analysis the authors used, described in literature, computational models of a uniform-strength disc and a disc of a constant thickness with a hole. Then geometrical models of discs have been designed. The authors showed a few different versions of disc geometry. Basing on carried out analysis the authors decided to build two kinds of discs: the disc with straight internal holes and the disc with bent internal holes.