

Polimery w nowym wcieleniu

Polymers in a new incarnation

Streszczenie

W artykule przedstawiono studium produktów przemysłowych – sprężyn pierścieniowych, które dzięki nowym rozwiązaniom materiałowym pozwalają poszerzyć obecnie stosowane charakterystyki podobnych elementów konstrukcyjnych wykonywanych z wysokojakościowych stali [1-4]. Właściwości materiałów polimerowych, w połączeniu z odpowiednio dobraną postacią konstrukcyjną oraz wymiarami, stwarzają szerokie pole dla zastosowań w układach zarówno statycznych jak i dynamicznych, dzięki możliwościom spełnienia różnych kryteriów użytkowych, obejmujących sztywność, deformację, tłumienie drgań, uderzeń, hałasu. Oferują jednocześnie właściwe polimerom zalety odporności na korozję, technologiczności, ale również gęstość masową w porównaniu do stali.

Abstract

The article presents a study of industrial products - ring springs, which, thanks to new material solutions, make it possible to expand the currently used characteristics of similar structural elements made of high-quality steels [1-4]. The properties of polymeric materials, combined with appropriately selected structural form and dimensions, create a wide field for applications in both static and dynamic systems, thanks to their ability to meet various performance criteria, including stiffness, deformation, damping of vibrations, impacts, noise. At the same time, they offer the inherent advantages of polymers in corrosion resistance, technologicity, but also mass density compared to steel.

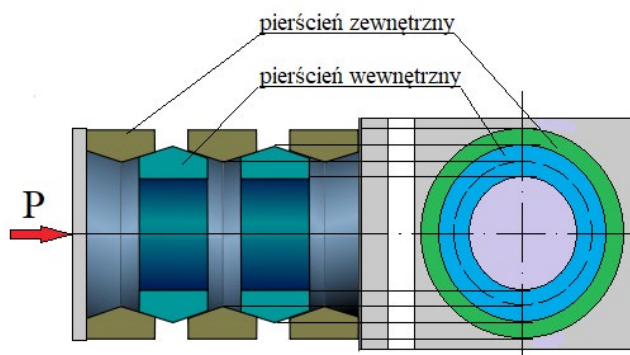
G. Wróbel

✉ gabriel.wrobel@polsl.pl

Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej,
Wydział Mechaniczny Technologiczny,
Politechnika Śląska

1. Budowa i własności sprężyn pierścieniowych

Sprężyny pierścieniowe, których nazwa wynika z cech geometrycznych podstawowych członów (Rys.1), znajdują zastosowania, głównie w budowie maszyn.

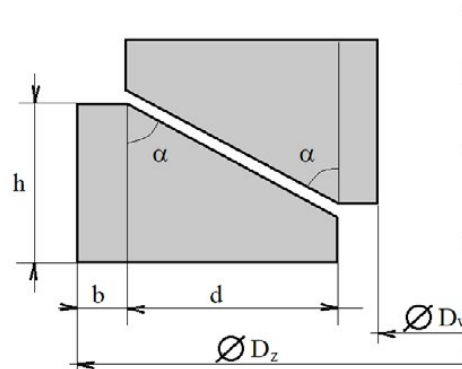


Rys.1. Model sprężyny pierścieniowej
Fig. 1. Ring spring model

Charakterystyczne cechy i jednocześnie zalety sprężyn pierścieniowych, to:

- prosta konstrukcja,
- technologiczność,

- obciążenia wewnętrzne rozłożone w całej objętości pierścieni;
- uszkodzenia, lokalne niejednorodności bądź różnice własności sprężystych poszczególnych pierścieni nie powodują katastrofalnych awarii, a w warunkach mniej wymagających nie dyskwalifikują funkcjonalnie całego elementu;
- szerokie pole charakterystyk wynikające z możliwości modyfikacji wymiarów – średnic, wysokości i kątów stożka, liczby ogniw pierścieni (Rys.2).



Rys.2. Charakterystyczne wymiary konstrukcyjne pierścieni
Fig. 2. Characteristic design dimensions of the rings

Pierścienie mogą być odlewane lub obrabiane mechanicznie – toczone, szlifowane. Ważną charakterystyką, z punktu widzenia cech użytkowych, jest współczynnik tarcia współpracujących powierzchni stożkowych. Podstawowe charakterystyki techniczne sprężyn pierścieniowych to:

- sztywność,
- nośność,
- histereza przebiegu odkształcenia w zależności od obciążenia.

Możliwości modyfikacji tych charakterystyk wynikają z doboru:

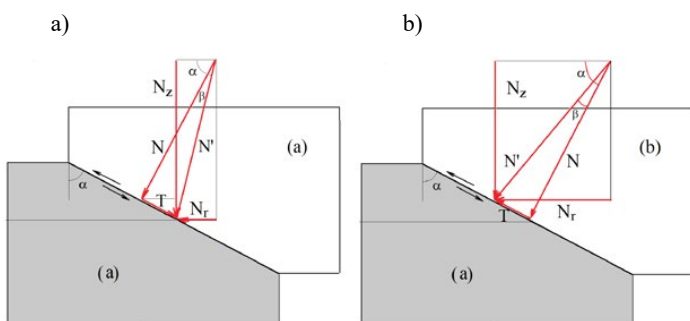
- materiału – wytrzymałość, odkształcalność, współczynnik tarcia, zakres roboczych temperatur;
- wymiarów i liczby ogniw – wytrzymałość, nośność, sztywność;
- współczynnika tarcia – zdolność rozpraszania energii w przypadku amortyzacji uderzeń, tłumienie drgań.

2. Modele obciążeń

Z budowy sprężyn pierścieniowych wynika, że mogą one przenosić wyłącznie obciążenia ściskające. Wprowadzenie obciążeń wstępnych, drogą regulacji wstępnego odkształcenia w obudowie sprężyny bądź poprzez wstępny nacisk występujący w układzie roboczym, pochodzący przykładowo od ciężaru obiektu posadowionego na sprężynach, pozwala na zachowanie ciągłości obciążenia w warunkach jego zmian.

Rys. 3 ukazuje schemat obciążeń pierścienia dla przypadku wzrostu (a) i spadku (b) siły ściskającej sprężynę.

Dobierając projektowo wymienione charakterystyki techniczne, należy mieć na uwadze kryteria, które zależą od przewidywanych warunków pracy oraz celowości zastosowania sprężyn. Sprężyny mogą, przykładowo, pełnić funkcję elementów łączących, kompensujących różnice wymiarowe, dylatacje cieplne. W takich przypadkach należy mieć na uwadze ich sztywność, wymiary, wytrzymałość.

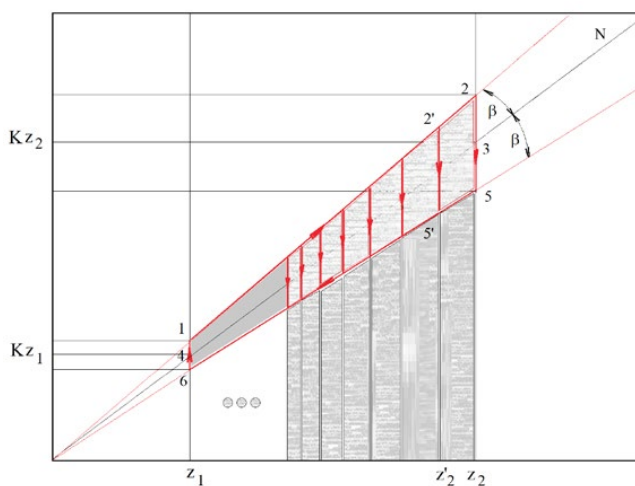


Rys. 3. Obwodowo rozłożone siły działające na zewnętrzny pierścień podczas wzrostu (a) i spadku (b) siły ściskającej sprężynę.
Fig. 3. Circumferentially distributed forces acting on the outer ring during the increase (a) and decrease (b) of the spring compressive force.

Własności dynamiczne wynikają z charakterystyk tłumienia drgania układu, zdolności wyciszania efektów uderzeń, tarcia,

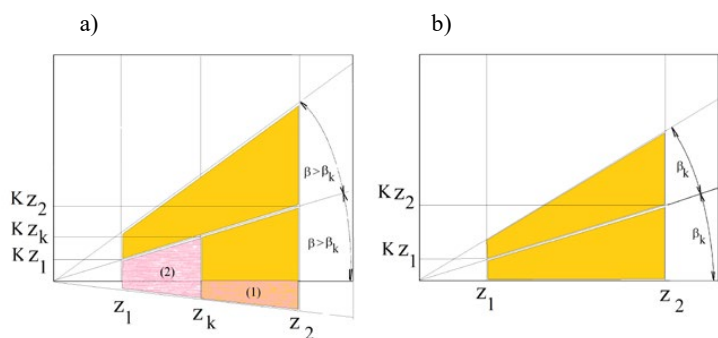
amortyzacji gwałtownych obciążeń występujących w warunkach zderzenia czy upadku [5]. Możliwość spełnienia stosownych kryteriów w szerokim zakresie stanowi o wartości sprężyn polimerowych. Ograniczony zakres wymiarowo-wytrzymałościowy, czy temperatury pracy pozostawia obszar możliwych do spełnienia kryteriów, będący uzupełnieniem dostępnym elementom metalowym. Przy tym, w przypadkach możliwości zastosowań alternatywnych rozwiązań materiałowych, kryterium ekonomiczne zdecydowanie przemawia za wyborem elementów z tworzywa polimerowego.

Modelowe przebiegi zależności siły ściskającej o odkształcenia sprężyny mogą przyjmować różny jakościowo charakter. Na Rys. 4 pokazany jest wykres przebiegu pętli odkształcenia od punktu 4, poprzez punkty zwrotne (4, 1, 2, 5, 6) dla przypadku gasnących drgań swobodnych. Zakreślone pole obrazuje histerezę procesu i jest miarą rozproszonej energii. Oznacza to spadek energii elementu amortyzowanego i drugi cykl przebiega po pętli (1, 2', 5', 6).



Rys. 4. Pętla odkształcenia sprężyny z obszarem energii rozproszonej.
Fig. 4. Spring deformation loop with dissipated energy area

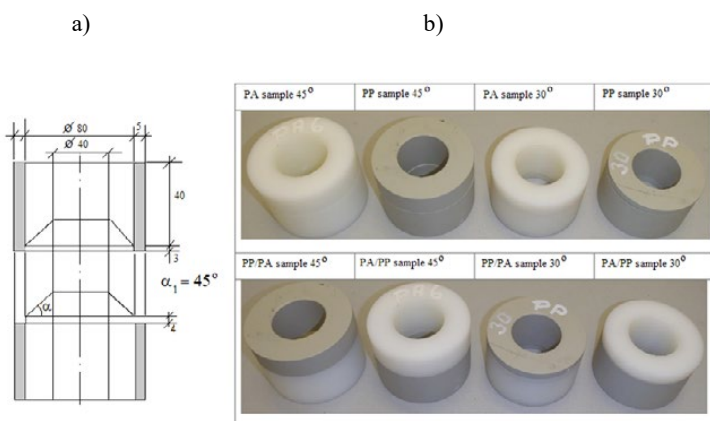
Kolejne cykle prowadzą do dalszego rozproszenia energii. Dobór cech konstrukcyjnych pozwala na kształtowanie tego przebiegu poprzez zmianę nachylenia (sztywności), zakreślonego pola (energii rozproszonej), czy dopuszczalnego odkształcenia. Rozpraszana energia powoduje spadek amplitudy drgań, którego miarą jest logarytmiczny dekrement tłumienia [6]. Można sobie wyobrazić warunki, w których wykres przyjmie skrajne postaci, odpowiadające rozproszeniu całej energii uderzenia (Rys. 5a), co może dokonać się bez całkowitego powrotu do stanu początkowego (Rys. 5b). Przykłady te ilustrują możliwości zastosowania sprężyn jako elementów rozpraszających energię – tłumiących. Przeciwnie skierowane starania zmierzają do zacieśnienia pętli histerezy dla osiągnięcia pełnego powrotu lub wykonywania ruchu drgającego.



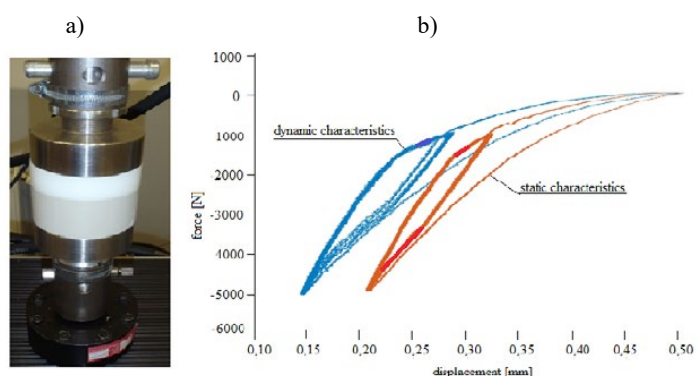
Rys. 5. Przypadek krytyczny, bez pełnego powrotu do stanu początkowego (a) i superkrytyczny, bez ruchu powrotnego (b).
 Fig. 5. Critical case, no full recovery (a) and supercritical, no recovery (b)

3. Wyniki badań doświadczalnych

Przykłady wyników eksperymentów prowadzonych na jednym ogniwie sprężystych elementów, wykonanych z poliamidu (PA6) i polipropylenu (PP) w różnych kombinacjach (Rys. 6) ukazują charakterystyki pokazane na Rys. 7.



Rys. 6. Próbkki ogniw sprężyny z PA i PP.
 Fig. 6. Spring link samples made of PA and PP



Rys. 7. Fragment stanowiska badawczego (a) i charakterystyki drgań gasnących badanych próbek (b)
 Fig. 7. Part of the test stand (a) and the characteristics of the extinguishing vibrations of the tested samples (b)

Ze względu na możliwy do zrealizowania proces obciążenia nie ma on charakteru drgań swobodnych - w eksperymentach zastosowano wymuszenie siłą o harmonicznym przebiegu. Cienkie linie odpowiadają pierwszemu cyklowi „docierania” powierzchni kontaktu. Wykresy obrazują przykładową pętlę histerezy ogniwa (PA6/

PP/45°), będącą miarą zdolności rozpraszania energii, która zależy od cech geometrycznych i materiałowych ogniw. Umożliwiają one ocenę wspomnianych zdolności tłumienia drgań swobodnych. Różne obrazy przebiegów są wynikiem zastosowania odmiennych procedur numerycznych, odpowiadających analizie procesu interpretowanego jako statyczny bądź dynamiczny.

Wnioski

Przedstawione innowacyjne rozwiązanie materiałowe, klasycznej postaci sprężyn pierścieniowych, wprowadza nową jakość w ofertę tej grupy elementów konstrukcyjnych. Własności konstrukcyjne materiałów polimerowych pozwalają uzyskać charakterystyki elementów sprężyn, prowadzące do różnorodnej jakościowo klasy produktów, umożliwiających pełnienie zróżnicowanych funkcji użytkowych w układach statycznych i dynamicznych. Dobór parametrów geometrycznych, w połączeniu z dostępnością zróżnicowanych tworzyw, pozwoli na uzyskanie szerokiej gamy produktów odpowiadających na potrzeby konstrukcyjne. Wartość opisanych rozwiązań wynika z ich komplementarności w stosunku do elementów metalowych, przy jednocześnie konkurencyjnej technologii i znacznie mniejszych kosztach. Wymogi rynku ukształtują pominięte na wstępnym etapie badań szczegóły rozwiązań konstrukcyjnych, jak typy obudów, zamocowań, ewentualnego doboru środków smarnych czy chłodzących.

Literatura

1. G. Wróbel: *Characteristics of Polymer Ring Springs*, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2022, 114, 1, p. 13-23.
2. M. Radeś, *Editor-in-Chief: S. Brown: Shock isolation systems. Encyclopedia of Vibration*, 2001.
3. Yuhong Ling, Shan Wu, Jingxin Gu and Hongtao Lai: *A Novel Ring Spring Vibration Isolator for Metro Superstructure*. *Appl. Sci.* 2021, 11, 8422, <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/18/8422/html>.
4. Grimm: *RINGFEDER friction ring springs. Technical description.* (in Polish). https://grim.pl/main_libs/files/assets/1/sprezyny_pierścieniowe_cierne/sprezyny-pierścieniowe-cierne.pdf.
5. Sitarz M., Gamon W.: *Rail buffers – requirements, design, testing.* (in Polish). *Technika* 9/2012, 29-35.
6. T. Majewski: *Drgania układów mechanicznych.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2020.

Podziękowanie

Dziękuję dr inż. Tomaszowi Machoczkowi, Katedra Mechaniki Komputerowej Wydział MT Politechniki Śl., za pomoc w wykonaniu badań doświadczalnych.