

Ocena poziomu rozpraszania energii w urządzeniach z elastomerami

Jerzy Osiński², Adam Jungowski¹, Piotr Żach²

¹Zakład Mechaniki, Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska

²Zakład Techniki Wytwarzania, Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska
email: jos@simr.pw.edu.pl, junod@simr.pw.edu.pl, pzach@simr.pw.edu.pl

STRESZCZENIE: Celem referatu jest przedstawienie metody oceny poziomu rozpraszania energii w urządzeniach z elastomerowymi elementami pracujących w różnych temperaturach, w szczególności w temperaturach poniżej zera stopni Celsjusza. Elastomery są materiałami o szczególnych właściwościach: bardzo dużych, odwracalnych odkształceniach i silnej wrażliwości na zmiany temperatury pracy, bardzo dużym współczynnikiem rozszerzalności cieplnej. Właściwości elastomeru ustalono na podstawie wyników badań doświadczalnych, polegających na próbie ściskania materiału w różnych temperaturach. Do opisu właściwości elastomerów są stosowane modele z teorii materiałów hiperelastycznych – w szczególności przyjęto model wielomianowy zredukowany. Symulację działania tłumika wykonano stosując metodę jawną - DYNAMIC EXPLICIT COUPLED-TEMPERATURE-DISPLACEMENT systemu ABAQUS. Wyniki uzyskane z obliczeń porównano z badaniami doświadczalnymi – zbadano tłumik drgań typu shimmy produkcji firmy LORD, przeznaczony do podwozia małego samolotu. Opracowana metoda umożliwiła zaproponowanie zmian w konstrukcji tłumika, w celu uzyskania tłumika o mniejszej wrażliwości na zmiany temperatury pracy.

SŁOWA KLUCZOWE: elastomer, temperatura, symulacja, EXPLICIT, Metoda Elementów Skończonych

1. Wstęp

Elastomery są materiałami o szczególnych właściwościach: bardzo dużych, odwracalnych odkształceniach i silnej wrażliwości na zmiany temperatury pracy, bardzo dużym współczynnikiem rozszerzalności cieplnej. W temperaturach poniżej zera stopni Celsjusza sztywność i poziom rozpraszania energii znacznie wzrastają, co wpływa na sposób działania układu z elementami elastomerowymi. Celem referatu jest przedstawienie metody oceny poziomu rozpraszania energii w różnych temperaturach pracy.

2. Właściwości elastomerów

Zgodnie z wnioskami z wcześniej wspomnianego UPB, przedstawionymi w [1] przyjęto, że elastomer najlepiej jest opisać modelem wielomianowym zredukowanym. Funkcjonał sprężystości jest w tym przypadku zapisany równaniem (1):

$$W = \sum_{i=1}^6 C_{i0} (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3)^i + \sum_{i=1}^6 \frac{1}{D_i} (J_{el} - 1)^{2i} \quad (1)$$

gdzie: λ_i to rozciągnięcia właściwe, które są miarą odkształceń stosowanych w teorii materiałów hiperelastycznych, zdefiniowane, jako stosunek całej długości odcinka pomiarowego po odkształceniu do długości początkowej (2):

$$\lambda = \frac{l + \Delta l}{l} \quad (2)$$

a w przypadku małych wartości są one związane z tradycyjną miarą odkształceń zależnością (3):

$$\lambda_i = 1 + \varepsilon_i \quad (3)$$

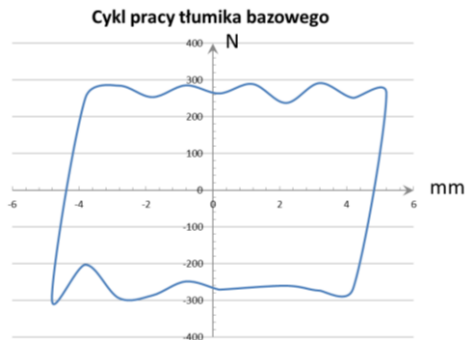
Dla potrzeb pracy przebadano materiał EPUNIT – elastomer opracowany na wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej w zespole pod kierownictwem profesor A. Boczkowskiej – badania wykonano przez ściskanie próbek materiału o różnym składzie w warunkach zmienianej temperatury. Właściwości termomechaniczne

elastomerów uzgodniono na podstawie uśrednionych wartości podawane w literaturze [2] np.: stal – $12 \cdot 10^{-6}$, aluminium – $22 \cdot 10^{-6}$, elastomer – $600 \cdot 10^{-6}$. Widoczne jest, więc, że współczynnik rozszerzalności cieplnej elastomeru jest około pięćdziesiąt razy większy niż stali i około dwadzieścia siedem razy większy od aluminium. Wykazane różnice są przyczyną zmiany rozkładu i wielkości nacisków kontaktowych, a co za tym idzie zmian poziomu rozpraszania energii wskutek zmiany temperatury pracy. Problemy te są istotne w elastomerowo – ciernych tłumikach drgań samowzbudnych typu shimmy stosowanych w podwoziach małych samolotów w polskich warunkach klimatycznych istotny jest zakres temperatur do wartości minimalnej -30 stopni Celsjusza. W dalszej części pracy przedstawiono ocenę działania tłumika drgań typu Shimmy produkcji firmy LORD, stosowanego w samolotach Cessna. Tłumiki tego rodzaju wg informacji producenta charakteryzują się, w odróżnieniu od hydraulicznych, niższym poziomem rozpraszania energii w temperaturach ujemnych niż w dodatnich.

3. Symulacja rozpraszania energii w tłumiku z elementem elastomerowym

Symulację działania tłumika wykonano stosując metodę jawną - DYNAMIC EXPLICIT COUPLED-TEMPERATURE-DISPLACEMENT systemu ABAQUS. W obliczeniach przyjęto wszystkie konieczne w tym przypadku zależności nieliniowe – naprężenia wg Kirchhoffa (odniesione do aktualnych wymiarów elementu podczas odkształcania), stosowano teorię skończonych odkształceń. Analizę przeprowadzono, jako sprzężone zadanie kontaktu termomechanicznego – co wymagało odpowiedniego doboru siatki, uzgodnienia węzłów na obu powierzchniach kontaktu. Tłumienie wewnętrzne w materiale elastomerowym opisano, jako tłumienie Rayleigha przyjmując tylko składnik proporcjonalny do macierzy bezwładności. Jest to zgodne w wymaganiami szybkiej metody EXPLICIT (fast EXPLICIT), w której stosuje się diagonalną macierz bezwładności (tworzoną metodą mas skupionych) i diagonalną macierz tłumienia tworzoną, jako składnik proporcjonalny do macierzy bezwładności. Szczegółowy opis stosowanego algorytmu jest podany w pracy [3], problemem jest długi czas obliczeń

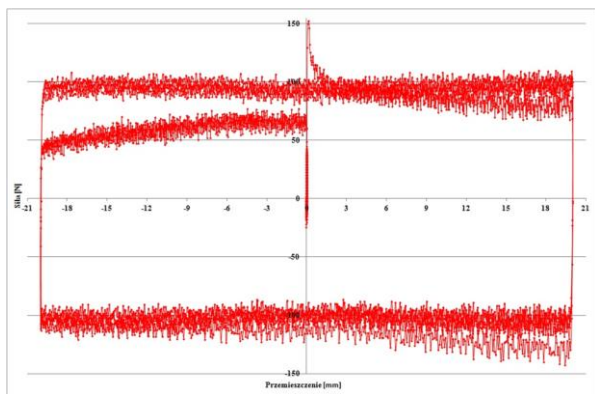
– w EXPLICIT jest przyjmowany stały, bardzo mały krok czasowy, zgodnie z warunkiem sformułowanym przez Couranta, Friedrichsa i Lewy'ego. Przykładowy cykl pracy, będący zależnością siły w funkcji przemieszczenia, uzyskany z obliczeń przedstawiono na rys. 1. Pole ograniczone krzywymi jest miarą rozpraszania energii.



Rys. 1. Cykl pracy tłumika bazowego przy częstotliwości 10Hz, z skokiem 5 mm w temperaturze 25 stopni uzyskany z symulacji systemem ABAQUS.

4. Badania doświadczalne rozpraszania energii w tłumiku z elementem elastomerowym

Wyniki uzyskane z obliczeń porównano z badaniami doświadczalnymi – zbadano tłumik drgań typu shimmy produkcji firmy LORD, przeznaczony do podwozia małego samolotu. Na rys. 2 przedstawiono cykl pracy tłumika wyznaczony doświadczalnie. Więcej wyników doświadczalnych można znaleźć w poprzednich publikacjach autorów – [4, 5].



Rys 2. Wykres jednoosiowego ściskania tłumika Lord w funkcji przemieszczenie-siła dla częstotliwości 0,1 Hz, skok 20 mm w temperaturze +25 stopni Celsjusza.

5. Podsumowanie

Wyniki badań pozwalają lepiej poznać właściwości i działanie obiektów elastomerowo - ciernych podczas pracy w warunkach ujemnych temperatur, ważne znaczenie ma opisanie znacznego wzrostu sztywności i tłumienia w temperaturach poniżej zera oraz zmiany rozkładu nacisków pomiędzy elementami tłumika (wynikające z rozszerzalności cieplnej materiałów) – ma to ważne znaczenie dla ich eksploatacji w polskich warunkach klimatycznych. Opracowana metoda umożliwiła zaproponowanie zmian w konstrukcji tłumika. Zaproponowane rozwiązanie pozwala na wykonanie tłumika o mniejszej wrażliwości konstrukcji na zmiany

temperatury otoczenia. Korzystając z wyników wykonanych badań doświadczalnych i analiz obliczeniowych można przedstawić wnioski szczegółowe:

1. tłumiki elastomerowo – cierne mają specyficzne właściwości – poziom rozpraszania energii obniża się wraz ze spadkiem temperatury (różnice w poziomie dyssypacji rosną wraz ze wzrostem częstości),
2. energia rozpraszana w jednym cyklu drgań nieznacznie rośnie wraz ze wzrostem częstości i skoku (długości) cyklu, energia rozpraszana w jednostce czasu rośnie szybko ze wzrostem częstości,
3. materiały elastomerowe wykazują znaczny wzrost sztywności i poziomu tłumienia wraz ze spadkiem temperatury,
4. stwierdzono, że w temperaturach dodatnich +200°C i więcej w elastomerach zachodzi bardzo małe rozpraszanie energii, co potwierdza dotychczas stosowany sposób traktowania takich materiałów, jako materiał wyłącznie sprężysty (bez właściwości dyssypacji energii),
5. do opisu hiperelastycznych właściwości elastomerów najlepszy jest model wielomianowy zredukowany,
6. dominujące znaczenie ma rozpraszanie energii przez tarcie pomiędzy przemieszczającymi się względem siebie elementami,
7. tłumienie wewnętrzne w materiale elastomerowym ma duże znaczenie w ujemnych temperaturach,
8. rozpraszanie energii nazywane tradycyjnie tarcie konstrukcyjnym (rozpraszanie energii przez mikropoślizgi w połączeniach nieruchomych) ma minimalne znaczenie w tłumiku elastomerowo – ciernym,
9. w połączeniu elastomer-aluminium występuje duża nierównomierność rozkładu nacisków,
10. współczynnik tarcia w parze elastomer-aluminium rośnie wraz z prędkością względną, z wyjątkiem małej strefy bardzo niskich prędkości, maksymalna wartość współczynnika w zakresie pracy tłumika wynosi 0,256,
11. przebadany materiał EPUNIT może być przydatny do zastosowania w tłumikach elastomerowych, pracujących w różnych temperaturach – może być zamiennikiem drogich materiałów zagranicznych.

Literatura

- [1] Boczkowska A., Babski K., Osiński J., Żach P. – „Modelowanie charakterystyki przy ściskaniu oraz właściwości użytkowe materiałów poliuretanowych stosowanych w budowie maszyn” POLIMERY 7/8 tom LIII, 2008, s. 544-550.
- [2] Ashby Michael F., Jones David R.H., *Materiały Inżynierskie*, Tom 2: Kształtowanie struktury i właściwości, dobór materiałów, WNT Warszawa 1996.
- [3] Timmel M., Kolling, S., Osterrieder P., Du Bois P., *A finite element model for impact simulation with laminated glass*, International Journal of Impact Engineering 34 (2007) 1465–1478.
- [4] Osiński J., Jungowski A., *Energy dissipation of an elastomeric friction damper in sub-zero temperatures*, PROBLEMY EKSPLOATACJI MAINTENANCE PROBLEMS 3/2014 p. 83-90
- [5] Osiński J., Jungowski A., *Rozpraszanie energii w tłumiku drgań z elementem elastomerowym*, XXVII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, Zakopane 22-26 września 2015, referaty na płycie CD, streszczenie w Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej seria Mechanika, z. 106, Nr 356/2015, s. 74.