

Tadeusz OPASIAK<sup>1</sup>

## WSPÓŁCZYNNIK TŁUMIENIA WISKOTYCZNEGO SPRZĘGIEŁ PODATNYCH OPONOWYCH

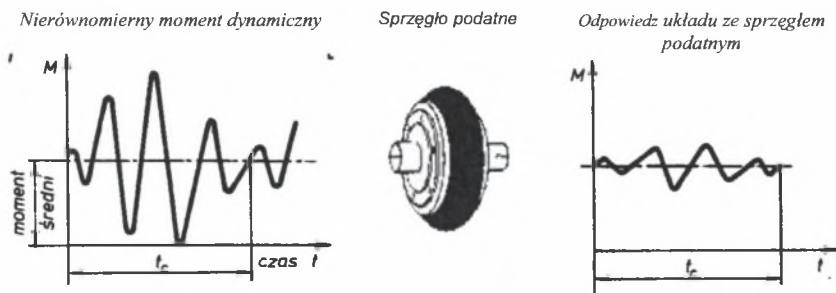
**Streszczenie.** Artykuł przedstawia wyniki doświadczalnych badań współczynników tłumienia wiskotycznego sprzęgieł podatnych oponowym typu ASO. Badania przeprowadzono na specjalnym stanowisku laboratoryjnym do wyznaczania statycznych i dynamicznych charakterystyk sprzęgieł podatnych.

## COEFFICIENT OF VISCOELASTIC DAMPING OF TIRE FLEXIBLE COUPLINGS

**Summary.** In this paper there are presented results of research coefficient of viscoelastic damping of tire flexible coupling type ASO. Testing was done on test stand for determination of dynamic characteristics of flexible coupling.

### 1. WPROWADZENIE

W maszynach roboczych ze względu na modułową i znormalizowaną budowę, poszczególne wolnostojące zespoły łączy się za pomocą sprzęgieł mechanicznych. Sprzęgła podatne, które należą do tej grupy, odgrywają ważną rolę ze względu na możliwość wpłynięcia na charakter pracy takiego połączenia w czasie eksploatacji maszyny roboczej. Zwłaszcza element podatny tego sprzęgła wpływa na stabilizację przenoszonego momentu obrotowego przez układ napędowy (rys.1).

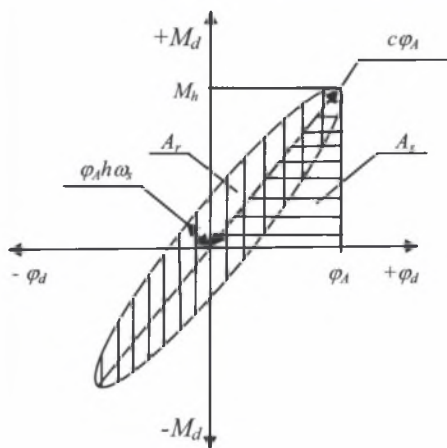


Rys. 1. Praca sprzęgła podatnego obciążonego nierównomiernym momentem obrotowym  
Fig. 1. Operation of flexible coupling in system loaded by uneven torque

<sup>1</sup> Wydział Transportu, Katedra Transportu Przemysłowego, Politechnika Śląska, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

W elemencie podatnym sprzęgła kumulują się nadwyżki dynamiczne szczególnie niebezpieczne w obszarze rezonansu. Zastosowanie sprzęgła podatnego powinno przy przechodzeniu przez obszar rezonansu złagodzić nadwyżki momentu dynamicznego do wartości bezpiecznych. Aby ta minimalizacja obciążeń dynamicznych była możliwa, sprzęgło powinno być poprawnie dobrane, wykazywać odpowiedni współczynnik tłumienia „ $h$ ” i współczynnik sztywności „ $c$ ”. Wymagane parametry eksploatacyjne sprzęgła, takie jak: współczynniki tłumienia i sztywności, można określić na podstawie analizy dynamicznej układu napędowego. Natomiast identyfikację parametrów potrzebnego sprzęgła można uzyskać wyłącznie na podstawie doświadczalnych badań laboratoryjnych [1], dzięki którym można ująć ilościowo wartość rozproszonej energii w następstwie tłumienia wewnętrznego w łączniku podatnym sprzęgła. Podstawowym zadaniem jest wyznaczenie pętli histerezy badanego sprzęgła. Tłumienie wewnętrzne determinują cechy reologiczne materiału i konstrukcja łącznika podatnego, które łącznie wpływają na ww. parametry eksploatacyjne sprzęgła, tj. współczynnik tłumienia i współczynnik sztywności [5].

## 2. WSPÓŁCZYNNIK TŁUMIENIA SPRZĘGŁA PODATNEGO OPONOWEGO



Rys. 2. Przykład histerezy w sprzęgłach podatnych oponowych typu ASO  
Fig. 2. Example of hysteresis in tire flexible coupling type ASO

Układ napędowy ze sprzęgłem podatnym ma cechy tłumiące, które określone są przez względny współczynnik tłumienia układu  $\psi$  (1, 7).

$$\psi = \frac{H}{\omega_o} = \frac{2\pi h \omega_s}{c} = \frac{A_r}{A_s} \quad (1)$$

gdzie:  $H$ -współczynnik tłumienia wiskotycznego układu; 1/s,  
 $h$ -współczynnik tłumienia wiskotycznego sprzęgła; Nms,  
 $\omega_o$ -częstość drgań własnych układu; 1/s,  
 $\omega_s$ -częstość drgań własnych tłumionych; 1/s,  
 $c$ -współczynnik sztywności sprzęgła; Nm/rad,  
 $A_r$ -energia rozproszenia łącznika sprzęgła podatnego,  
 $A_s$ -energia sprężysta sprzęgła.

Przy modelowaniu układów napędowych po stronie napędowej, jak i napędzanej, występuje zredukowany masowy moment bezwładności zredukowany na wał sprzęgła [2,3].

Wówczas tłumienie całego układu reprezentowane jest przez współczynnik tłumienia wiskotycznego sprzęgła podatnego „ $h$ ”. W praktyce przy rozpatrywaniu drgań wymuszonych tłumionych określa się własności tłumiące sprzęgieł podatnych za pomocą współczynnika rozproszenia  $\psi$  (nazywany również względnym współczynnikiem tłumienia). Względny współczynnik tłumienia  $\psi$  sprzęgła podatnego jest proporcjonalny do współczynnika tłumienia wiskotycznego  $h$  i częstości drgań wymuszających  $\omega_s$ , natomiast odwrotnie proporcjonalny do sztywności sprzęgła  $c$ . Współczynnik tłumienia sprzęgła  $\psi$  ujmuje ilościowo wartość rozproszonej energii przez łącznik podatny sprzęgła w procesie drgań skrętnych wymuszonych. Wszystkie straty energetyczne w sprzęgle podatnym, wywołane tarciem wewnętrznym (w elastomerze i przekładkach), ujęte są przez ten współczynnik. Jest on wyznaczany na podstawie pętli histerezy okresu drgań układu i przedstawia stosunek energii rozproszonej podczas jednego okresu drgań  $A_r$  do maksymalnej energii potencjalnej w łączniku podatnym sprzęgła  $A_s$  (rys.2). Pole pod krzywą określa odwracalny proces drgań układu (bez rozproszenia energii)  $A_s$ . Przy założeniu tłumienia wiskotycznego, graficznym obrazem histerezy jest elipsa, która przedstawia związek między momentem skręcającym  $M_{sp}$  a kątem skręcenia członów sprzęgła  $\varphi$ . Pętlę histerezy w postaci elipsy otrzymuje się przy założeniu, że opona sprzęgła zachowuje się jak ciało lepko-sprężyste wg modelu Kelvina-Voigta. Pole powierzchni ograniczone elipsą wynosi:

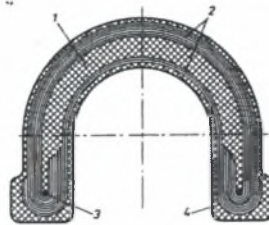
$$A_r = \pi h \omega_s \varphi_A^2 \quad (2)$$

i przedstawia energię rozproszoną podczas jednego okresu. Natomiast pole sprężystego odkształcenia łącznika podatnego sprzęgła określa zależność:

$$A_s = \frac{1}{2} c \varphi_A^2 \quad (3)$$

### 3. WSPÓŁCZYNNIK LEPKOŚCI POZORNEJ

Łącznik sprzęgła podatnego (rys.3.) zbudowany jest z polimeru (1) wzmocnionego przekładkami (2) [2]. Można w nim wyróżnić: 1-wypełniacz z gumy, 2-kord, 3-uzbrojenie z drutu, 4- warstwę ochronną.



Rys. 3. Przekrój poprzeczny opony sprzęgła podatnego oponowego  
Fig. 3. Cross-section of tire of flexible coupling

W czasie pracy łącznika podatnego w sprzęgle oponowym pod wpływem momentu skręcającego następuje jego ścinanie, obejmujące całą objętość elementu podatnego. Obciążenie dynamiczne wywołujące ścinanie łącznika zostaje przyłożone nagle, co powoduje początkowo szybkie, a następnie wolniejsze odkształcenie łącznika, w wyniku działania wewnętrznego oporu (tarcia lepkiego). W elementach podatnych sprzęgieł proces odkształcenia łącznika zależy od takich czynników zewnętrznych, jak: szybkość odkształcania i czas działania odkształcenia. Łącznik sprzęgła podatnego jest w zasadzie polimerem i jako taki może być scharakteryzowany za pomocą współczynnika lepkości. Dla

polimerów, które zachowują się jak ciała nieliniowe, przyjęto określać lepkość jako pozomą. Wartość lepkości pozornej zmienia się w zależności od zmian obciążenia polimeru w czasie i wyznacza się ją eksperymentalnie w zależności od szybkości ścinania badanego elementu [6]. Natomiast współczynnik tłumienia wiskotycznego  $h$  sprzęgła podatnego oponowego, uwarunkowany jest przez objętość elementu podatnego i współczynnik lepkości pozornej polimeru, z którego wykonany jest łącznik:

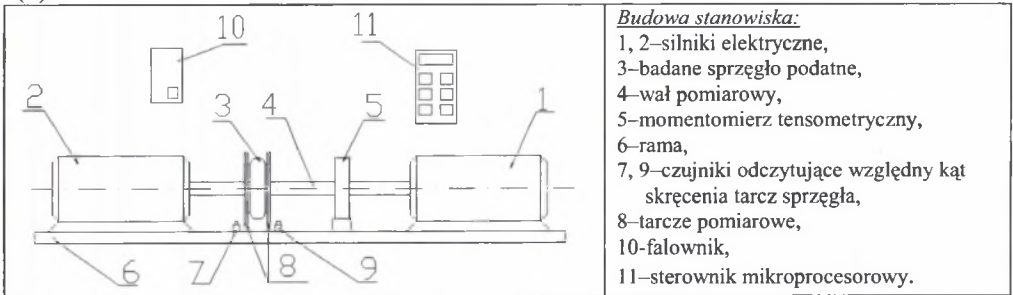
$$h = \eta Q \quad [Nm \cdot s] = \left[ \frac{N \cdot s}{m^2} \cdot m^3 \right] \quad (4)$$

gdzie:  $Q$  – objętość elementu podatnego sprzęgła;  $m^3$ ,  
 $\eta$  – współczynnik lepkości pozornej łącznika w sprzęgle podatnym (polimer);  $Ns/m^2$ .

Współczynnik lepkości pozornej  $\eta$  jest więc podstawową wielkością, którą należałoby wyznaczać w celu określenia wiskotycznego współczynnika tłumienia  $h$ , który charakteryzowałby własności tłumiące np. całego typoszeregu sprzęgieł podatnych oponowych.

#### 4. STANOWISKO DO LABORATORYJNYCH BADAŃ WSPÓŁCZYNNIKÓW TŁUMIENIA WISKOTYCZNEGO SPRZĘGIEŁ PODATNYCH OPONOWYCH

Rys. 4 przedstawia ogólny widok specjalnego stanowiska wraz z badanym sprzęgłem podatnym oponowym (3). Podstawowymi zespołami wchodzącymi w skład stanowiska są: silniki (1) (2), momentomierz tensometryczny (4), przetwornik częstotliwości (10), sterownik mikroprocesorowy (11). Między silnikami (1), (2) umieszczone jest badane sprzęgło podatne (3).



Rys. 4. Stanowisko do wyznaczania charakterystyk dynamicznych sprzęgieł podatnych  
 Fig. 4. Test stand for determination of dynamic characteristics of flexible coupling

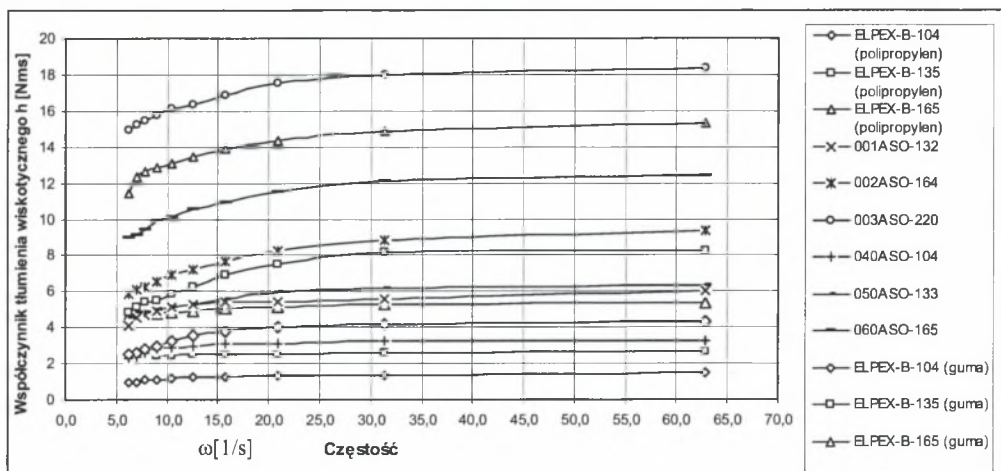
Metodologia badań elementu lepko-sprężystego sprzęgła sprowadza się do wymuszonego ścinania elementu podatnego (opony) między dwoma współpracującymi tarczami (8) przy zmiennym w czasie momencie skręcającym. Zmienny moment skręcający  $\Delta M_h$  powoduje odkształcenie w postaci kąta względnego skręcenia członów sprzęgła  $\Delta\phi$ , zadaną równocześnie względną prędkością tego wymuszenia. W doświadczeniu nie mierzymy bezpośrednio naprężeń i odkształceń, ale zmienny moment oporu i względne przemieszczenia w postaci kąta skręcenia tarcz sprzęgła  $\phi$  [4]. Na podstawie zadanych wartości  $\Delta M_h$  i  $\Delta\phi$  wyznaczono współczynnik tłumienia wiskotycznego wg zależności:

$$h = \frac{\Delta M_h}{\Delta\phi} \quad [Nm \cdot s] \quad (5)$$

gdzie:  $\Delta\phi$  – amplituda prędkości względnej kąta skręcenia;  $rad/s$ ,  
 $\Delta M_h$  –względny moment oporu;  $Nm$ .

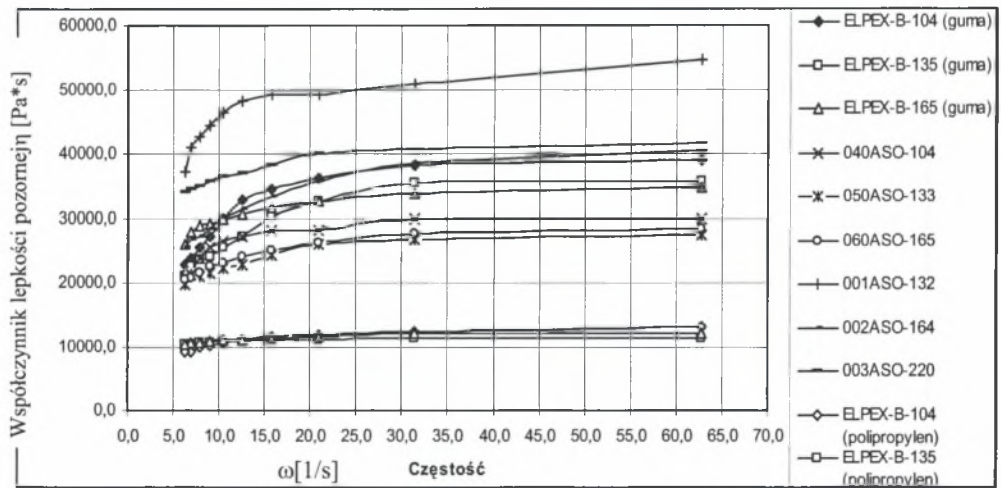
## 5. WYNIKI DOŚWIADCZALNYCH BADAŃ WSPÓLCZYNNIKA TŁUMIENIA WISKOTYCZNEGO SPRZĘGIEŁ PODATNYCH OPONOWYCH

Badaniu zostały poddane cztery łączniki oponowe sprzęgieł podatnych oponowych różnych producentów. Przebadano trzy wielkości z początku typoszeregu tych producentów. Przeprowadzone badania pozwoliły wyznaczyć współczynniki tłumienia wiskotycznego tych sprzęgieł i na ich podstawie wyznaczyć lepkość pozorną badanych łączników podatnych. Przedstawione wykresy prezentują przebieg współczynnika tłumienia wiskotycznego (rys.5) i lepkości pozornej odniesionej do objętości elementu podatnego (rys.6). Sprzęgła obciążano momentem skręcającym do wartości znamionowych określonych w katalogach producentów.



Rys. 5. Wpływ częstotliwości drgań na wartość współczynnika tłumienia wiskotycznego

Fig. 5. The influence of period of vibration on viscoelastic coefficient value



Rys. 6. Wpływ częstotliwości drgań na wartość współczynnika lepkości pozornej łącznika sprzęgła

Fig. 6. The influence of period of vibration on value of viscosity coefficient of the coupling

## 6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania umożliwiły identyfikację współczynników tłumienia wiskotycznego „ $h$ ” sprzęgieł podatnych oponowych. Z przeprowadzonych badań wynika, że współczynnik tłumienia wiskotycznego sprzęgła nie jest stały, lecz ulega zmianie. Zmianę tego współczynnika głównie wywołuje zmiana częstotliwości wymuszającej, jak i wielkość sprzęgła. Wraz ze zwiększającą się częstotliwością momentu wymuszającego następuje wzrost współczynnika tłumienia wiskotycznego. Również wielkość sprzęgła wpływa na wzrost współczynnika tłumienia wiskotycznego, średnio trzykrotnie dla następnej wielkości z typoszeregu. Natomiast wyznaczony współczynnik lepkości pozornej, który można identyfikować ze stałą elementu podatnego sprzęgła, dla gumy zawiera się w przedziale od 41000 do 20000 Pa\*s, natomiast dla polipropylenu od 12000 do 9500 Pa\*s. Uzyskane wyniki lepkości pozornej mogą posłużyć do określenia współczynników tłumienia wiskotycznego dla sprzęgieł podatnych oponowych z dalszej części typoszeregu, których badanie w warunkach laboratoryjnych jest utrudnione.

## Literatura

1. Markusik S.: Charakterystyki sprzęgieł podatnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej; seria: Transport, z.34, Gliwice 1998.
2. Markusik S.: Sprzęgła mechaniczne. WNT, Warszawa 1979.
3. Markusik S., Opasiak T.: Charakterystyki sprzęgieł podatnych oponowych w napędach dużej mocy, XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Trwałość elementów i węzłów konstrukcyjnych maszyn górniczych TEMAG 2003, Gliwice-Ustroń 2003.
4. Opasiak T.: Metody wyznaczania charakterystyk statycznych i dynamicznych sprzęgieł podatnych, Maszyny Dźwigowo-Transportowe nr 2, 2000.
5. Praca zbiorowa.: PKM, tom 2 i 3, WNT, Warszawa 1995.
6. Żochowska D.: Polimery konstrukcyjne, WNT, Warszawa 1995.
7. Opasiak T.: Badania charakterystyk statycznych i dynamicznych sprzęgieł nierozłącznych podatnych oponowych, Praca doktorska (niepublikowana), Katowice, 2004.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Sylwester Markusik