

Maciej KWAŚNY\*, Jacek SPAŁEK\*

## WSPOMAGANIE OCENY PRZEBIEGU PROCESÓW TRIBOLOGICZNYCH POPRZEZ POMIAR I ANALIZĘ DRGAŃ GENEROWANYCH W TEŚCIE ZATARCIOWYM

### SUPPORTING THE EVALUATION OF TRIBOLOGICAL PROCESSES BY MEASURING AND ANALYZING VIBRATIONS GENERATED IN SEIZURE TESTS

#### Słowa kluczowe:

tribometria, test zatarciowy, badanie drgań

#### Key words:

tribological tests, seizure test, vibration

#### Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono syntetycznie uzyskane w ostatnich latach w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej wyniki badań w zakresie identyfikacji procesów tarcia i zużycia na poziomie badań elementarnych przeprowadzanych na tribometrze Amslera. Na tym tri-

---

\* Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Mechanizacji Górnictwa, ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, tel./fax.: (32) 237 15 84, e-mail: maciej.kwasny@polsl.pl, e-mail: jacek.spalek@polsl.pl

bometrze realizowane są badania skojarzenia dwóch próbek walcowych toczących się po sobie z określonym poślizgiem. Skojarzenie takie jest modelem kinematycznym współpracy kół przekładni z ewolwentowym zarysem zębów. Uzyskane w badaniach doświadczalnych wyniki (ujęte w tablicy oraz na zamieszczonych w pracy rysunkach) wskazują, że w czasie kolejnych, następujących po sobie odcinków testu zatarciowego wraz ze wzrostem stopnia obciążenia rośnie wartość skuteczna amplitudy drgań rejestrowanych na głowicy tribometru. Wzrosty te najsilniej występują w charakterystycznym paśmie o częstotliwości środkowej wynoszącej około 440 Hz. Uogólnienie tych interesujących wyników wymaga dalszych badań, prowadzonych przez autorów.

## WPROWADZENIE

Badania eksperymentalne procesów tribologicznych [L. 4, 8, 9, 10] można rozpatrywać w dwu aspektach, a mianowicie:

- jako tzw. badania elementarne realizowane na tribometrach o skojarzeniach próbek stanowiących model kinematyczny, materiałowy i dynamiczny danego rzeczywistego węzła konstrukcyjnego,
- badania rzeczywistych węzłów tribologicznych (zazębień, łożyskowań itp).

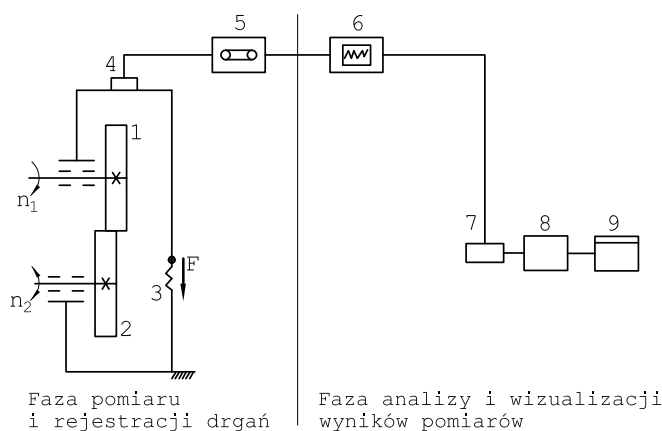
Wymienione badania mogą być przeprowadzane dla uzyskania wyników charakteryzujących bezpośrednio tarcie (np. siła lub moment tarcia) względnie zużycie (np. ubytek liniowy lub masy) albo z wykorzystaniem diagnostycznych metod pośredniej oceny, m.in. poprzez pomiar i analizę stanu wibroakustycznego [L. 2, 3]. W przypadku badań elementarnych stosowane są zazwyczaj wskaźniki oceny bezpośredniej oporów tarcia i wartości zużycia, natomiast wykorzystanie systemów diagnostycznych charakteryzujących przebieg procesu tribologicznego służy zwykle do pogłębienia interpretacji wyników bezpośrednich bądź w badaniach o charakterze užitarnym.

W sytuacji badań przekładni zębatych [L. 1, 5, 6] jako rzeczywistego obiektu stanowiącego integralny element układu napędowego bezpośrednia ocena procesów tribologicznych w przekładni jest bardzo utrudniona. Stąd w tym przypadku szeroko stosowane są metody diagnostyki termicznej bądź wibroakustycznej [L. 7].

## BADANIA DRGAŃ SKOJARZENIA PRÓBEK WALCOWYCH NA TRIBOMETRZE AMSLERA

W przypadku przekładni zębatych o ewolwentowym zarysie zębów modelem elementarnym jest para próbek walcowych o ekwiwalentnych promieniach zastępczych wynikających z geometrii współpracujących kół zębatych w warunkach tarcia tocznego z poślizgiem.

Badania drgań przeprowadzono podczas testu zużyciowo-zatarciowego, realizowanego na tribometrze typu „Amsler” z zastosowaniem próbek walcowych o wymiarach: średnica zewnętrzna próbki  $D = 40$  mm i szerokość efektywna próbki  $B = 4$  mm (**Rys. 1**).



**Rys. 1. Schemat układu do pomiaru i analizy drgań: 1 – próbka tribometru Amslera, 2 – przeciwpróbka, 3 – sprężynowy układ zadawania obciążenia  $F$ , 4 – czujnik drgań, 5 – magnetofon pomiarowy, 6 – wąskopasmowy analizator, 7 – karta analogowo-cyfrowa, 8 – komputer pomiarowy, 9 – drukarka,  $n_1$ ,  $n_2$  – prędkości obrotowe: próbki i przeciwpróbki**

**Fig. 1.** System for measurement and vibration analysis: 1, 2 – sample, 3 – spring system of load  $F$ , 4 – sensor of vibrations, 5 – tape recorder, 6 – narrow-band analyzer, 7 – analog-digital card, 8 – measuring computer, 9 – printer,  $n_1$ ,  $n_2$  – rotational speed of samples

Próbki i przeciwpróbki walcowe wykonane były ze stali 45H, hartowanej powierzchniowo do twardości warstwy wierzchniej  $58 \div 60$  HRC. Próbki smarowane były kroplowo olejem przekładniowym TRANSOL VG220. Test prowadzono, przyjmując stopniowo wzrastające obciążenie w granicach od 200 N do 400 N o kroku 20 N i czasie trwania obciążenia na danym poziomie równym 360 sekund. Nominalna prędkość obrotowa

próbki wynosiła  $400 \text{ min}^{-1}$ , co odpowiada prędkości poślizgu próbek o wartości około  $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (przy ich ruchu przeciwbieżnym). W czasie próby rejestrowano moment tarcia oraz temperaturę powierzchni próbki bezpośrednio po zakończeniu cyklu obciążenia. Mierzono też w czasie testu prędkość obrotową, istotną wielkość z punktu widzenia analizy widmowej zarejestrowanego sygnału drgań. Rejestrację i analizę drgań przeprowadzono za pomocą układu pomiarowego, co schematycznie przedstawiono na **Rysunku 1**.

Jak wynika z **Rys. 1** głównymi elementami układu pomiarowego są:

- piezoelektryczny czujnik drgań,
- czterokanałowy magnetofon pomiarowy firmy Brüel-Kjaer typu 7005,
- wielopasmowy analizator drgań firmy Brüel-Kjaer typu 2515 wykorzystujący szybką transformację Fouriera FTT o zakresie analizy do 20 kHz.

## WYNIKI BADAŃ

Z wykorzystaniem przedstawionego układu, za pomocą czujnika zamocowanego na obudowie („głowicy”) próbki, dokonywano pomiaru i rejestracji sygnałów przyspieszeń drgań na taśmie magnetycznej i następnie poddano analizie w dziedzinie czasu i częstotliwości (analizie widmowej, wąskopasmowej i tercjowej).

Na podstawie analizy zarejestrowanych przebiegów można stwierdzić, że postępujący proces zacierania powoduje „przesunięcie” energii drgań z pasma o częstotliwościach niższych w zakres wyższych pasm częstotliwości, co oznacza wzrost pobudzania drgań przez podlegające niszczeniu zatarciowemu powierzchnie próbek.

W **Tabeli 1** przedstawiono wyniki w postaci wartości skutecznej przyspieszenia drgań  $U_{\text{RMS}}$  (root mean square) danego odcinka rejestracji  $\Theta$  oraz wartości przyspieszeń w danych charakterystycznych pasmach częstotliwości przy pomiarach podczas próby zatarciowej dla obciążenia próbek  $F = 250 \text{ N}$  (uwaga: w badaniach wstępnych stwierdzono, że dla przyjętych parametrów oraz cech materiałowych i geometrycznych próbek obciążenie  $F = 250 \text{ N}$  jest minimalnym obciążeniem zacierającym).

Z **Tab. 1** wynika, że z czasem testu zatarciowego następuje wyraźny przyrost wartości skutecznej drgań dla następujących po sobie odcinków pomiarowych  $\Theta$ , w zakresie których stwierdza się wystąpienie skupień energii drgań wokół charakterystycznych częstotliwości w pasmach 64 Hz, 444 Hz, 884 Hz. Stwierdza się też, że po kolejnych cyklach obciąż-

żeń następuje przesunięcie pasma początkowego 334 Hz do pasma 308 Hz. Należy także zaznaczyć, że dla próbek bez zniszczeń zatarciowych powierzchni skupienia drgań wystąpiły zasadniczo tylko w obszarze do 200 Hz, powyżej tej częstotliwości przebiegi charakteryzowały się niską energią drgań.

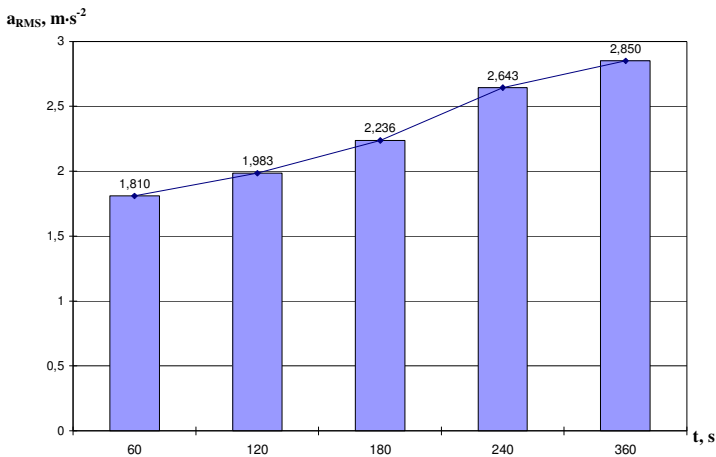
**Tabela 1. Wyniki pomiarów i analizy drgań**

Table 1. The results of measurements and vibration analysis

Pomiar	Odcinek pomiaru t, s	Wartość skuteczna przyspieszenia drgań na odcinku pomiarowym $\Theta$ $a_{RMS}, m \cdot s^{-2}$	Przyspieszenia w charakterystycznych pasmach częstotliwości	
			pasma, Hz	a, $m \cdot s^{-2}$
1	0÷60	1,810	64	0,276
			334	0,398
			444	0,924
			844	0,173
2	60÷120	1,983	64	0,338
			332	0,414
			444	0,931
			884	0,251
3	120÷180	2,236	64	0,395
			320	0,545
			444	0,914
			884	0,300
4	180÷240	2,643	64	0,795
			308	0,761
			444	0,927
			884	0,320
5	240÷360	2,850	64	0,847
			308	0,951
			444	0,945
			884	0,325

Zaprezentowane w **Tabeli 1** wyniki zilustrowano graficznie na **Rysunku 2**.

Z **Tabeli 1** oraz **Rys. 2** wynika, że w badanym przypadku wraz z postępującym procesem zacierania w czasie kolejnych, następujących po sobie odcinków testu wzrasta wartość skuteczna drgań, zwłaszcza w paśmie częstotliwości środkowej równej 444 Hz.



**Rys. 2.** Wartości skuteczne przyspieszenia w funkcji czasu testu zatarciowego

Fig. 2. RMS value of acceleration as a function of time of seizure test

## PODSUMOWANIE

Wspomaganie eksperymentalnych badań procesów tarcia i zużycia za pomocą metod diagnostycznych a zwłaszcza metody pomiaru i analizy sygnałów drganiowych może wzbogacić i ułatwić identyfikację poszczególnych form zużycia tarciovego. Przeprowadzone wycinkowe badania w tym zakresie wskazują, że bardzo istotnym jest wybór rodzaju analizy (analiza wąskopasmowa czy tercjowa), odcinka pomiarowego, a także estymat zarejestrowanego sygnału. W zaprezentowanym opracowaniu pokazano, że wartość skuteczna przyspieszenia drgań oraz analiza widmowa mogą wskazywać na istniejący związek pomiędzy poziomem drgań a fazą rozwoju procesu zatarciowego.

Przedstawione przykładowe, ciekawe fakty doświadczalne wymagają jednak dalszych pogłębionych badań w celu możliwości ich szerszego wykorzystania w identyfikacji procesów tribologicznych.

## LITERATURA

1. Bartelmus W.: Diagnostyka maszyn górniczych. Górnictwo odkrywkowe. Wyd. Śląsk, Katowice 1998.
2. Cempel C., Tomaszewski F.: Diagnostyka maszyn. Zasady ogólne, przykłady zastosowań. Wydawnictwo MCNEMT, Radom 1992.
3. Cholewa W., Moczulski W.: Diagnostyka techniczna maszyn – pomiary i analiza sygnałów. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1993.

4. Czichos H., Habich K.-H.: Tribologie Handbuch – Reibung und Verschleiss. Vieweg Verlag, Braunschweig – Wiesbaden 1992.
5. Dąbrowski Z., Radkowski S., Wilk A.: Dynamika przekładni zębatych. Wyd. ITeE, Radom 2000.
6. Spalek J.: Problemy inżynierii smarowania maszyn w górnictwie. Monografia 57. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
7. Spalek J., Kwaśny M., Spalek S.: Stan termiczny i drgania przekładni zębatej przenośnika taśmowego jako funkcja smarowania. Tribologia, nr 5/2010 (233), s. 285-294.
8. Szczerek M.: Metodologiczne problemy systematyzacji eksperymentalnych badań tribologicznych. Wyd. ITeE, Radom 1998.
9. Szczerek M., Wiśniewski M. (red.): Tribologia i tribotechnika. Wyd. ITeE, Radom 2000.
10. Zwierzycki W. (red.): Wybrane zagadnienia zużywania się materiałów w ślizgowych węzłach tarcia. Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa – Poznań 1990.

**Recenzent:**  
**Stanisław PYTKO**

## Summary

**The paper presents synthetically obtained research in recent years at the Mining Mechanisation Institute of Silesian University of Technology on the identification of processes of friction and wear on the level of elementary tests conducted on an Amsler tribometer. Two samples of cylindrical rolling behind a particular slip were investigated. The combination of this cooperation is a model of a kinematic wheel with involute gear tooth outline. The experimental results (listed in the table and placed in the work of figures) show that, during the subsequent and consecutive sections, seizure test with increasing load are recorded with increasing rms amplitude for the head of tribometer. These increases are the most characteristic band with a centre frequency of approximately 440 Hz. Interesting generalisation of these results requires further study, conducted by the authors.**