

Analiza wpływu kąta pracy kulkowych łożysk tocznych na poziom generowanych przez nie drgań

Impact analysis of the contact angle of ball bearing on the vibration level

STANISŁAW ADAMCZAK
PAWEŁ ZMARZŁY*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.454

Prezentowano procedurę wyznaczania kąta pracy kulkowych łożysk tocznych. Zmierzono poziom drgań generowanych przez serię łożysk. Następnie określono, jak wartość kąta pracy łożyska tocznego typu 6304 wpływa na poziom drgań. Wyniki badań wykazały, że analizowane łożyska toczne o większym kącie pracy generowały wyższy poziom drgań.

SŁOWA KLUCZOWE: kulkowe łożyska toczne, kąt pracy łożyska, drgania

The article presents the determination procedures of the contact angle of ball bearings. The vibration level generated by rolling bearings was measured. Next the assessment of the impact of contact angle of 6304 bearing at the vibration level was carried out. Research result indicated that examined rolling bearings with greater contact angle have generated higher values of vibration level

KEYWORDS: ball rolling bearings, contact angle, vibration

Jednym z podstawowych parametrów konstrukcyjnych kulkowych łożysk tocznych jest nominalny kąt działania α , zwany również kątem pracy łożyska. Wartość kąta pracy określa m.in. predyspozycje łożysk tocznych do przeniesienia określonego typu obciążenia. Ze względu na to łożyska toczne można podzielić na promieniowe (poprzeczne) o kącie pracy $0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ oraz osiowe (wzdłużne) o kącie pracy $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ [1]. W większości przypadków producenci łożysk tocznych nie podają dokładnych wartości kąta pracy łożyska. Dodatkowo ze względu na jakość wykonania analizowanych łożysk tocznych rzeczywista wartość kąta pracy łożyska może się różnić od wartości nominalnej. W związku z tym wyznaczenie tego parametru jest bardzo istotne.

Pomiar poziomu drgań obok pomiaru momentu oporowego [2] stanowi podstawowy zabieg diagnostyczny służący do oceny dokładności wykonania nowych łożysk tocznych. Pozwala on również ocenić stopień zużycia pracujących węzłów łożyskowych [3]. Poziom drgań generowanych przez łożyska toczne zależy od wielu czynników, m.in. od dokładności wykonania elementów łożyska, niewyważenia kośzyka, zanieczyszczeń lub luzów występujących w łożyskach [4, 5]. Wiele jest prac badawczych poświęconych analizie wpływu luzu na wartość drgań generowanych przez łożyska, a tym samym ich żywotność [5, 6]. Natomiast ograniczona jest liczba prac na temat wyznaczania i analizy wpływu kąta pracy na parametry eksploatacyjne łożysk tocznych. Ponieważ łożyska toczne danego typu mogą mieć różne wartości nominalnego kąta

pracy, autorzy postanowili przeanalizować, jak te wartości wpływają na poziom drgań generowany przez serię poprzecznych łożysk tocznych typu 6304.

Kąt pracy łożysk tocznych i jego wyznaczanie

Kąt pracy α łożysk tocznych zawarty jest między prostą łączącą punkty styku elementu tocznego z bieżniami a płaszczyzną prostopadłą do osi łożyska. Można go wyznaczyć eksperymentalnie lub obliczyć w oparciu o zależności geometryczne. Jeden ze sposobów wyznaczania kąta pracy kulkowego łożyska tocznego został zaproponowany przez NSK w [7]. Posłużono się tu zależnościami geometrycznymi przedstawiającymi styk kulki z bieżniami łożyska tocznego. Po odpowiednich przekształceniach kąt pracy kulkowego łożyska tocznego można obliczyć z zależności:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{r_e + r_i - D_w - \frac{\Delta r}{2}}{r_e + r_i - D_w} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{\frac{\Delta a}{2}}{r_e + r_i - D_w} \right) \quad (1)$$

gdzie: r_e – promień bieżni zewnętrznej; r_i – promień bieżni wewnętrznej; D_w – średnica kulki; Δr – luz promieniowy łożyska; Δa – luz osiowy łożyska [7].

Dzięki analizie zależności (1) można stwierdzić, że wartość kąta pracy łożyska tocznego zależy od luzu promieniowego Δr , lub osiowego Δa promieni bieżni zewnętrznej r_e i wewnętrznej r_i oraz średnicy kulek D_w . Dlatego na podstawie pomiaru luzu występującego w łożysku, a następnie oceny geometrii czynnych powierzchni tocznych oraz elementu tocznego łożyska można w łatwy sposób wyznaczyć kąt jego pracy.

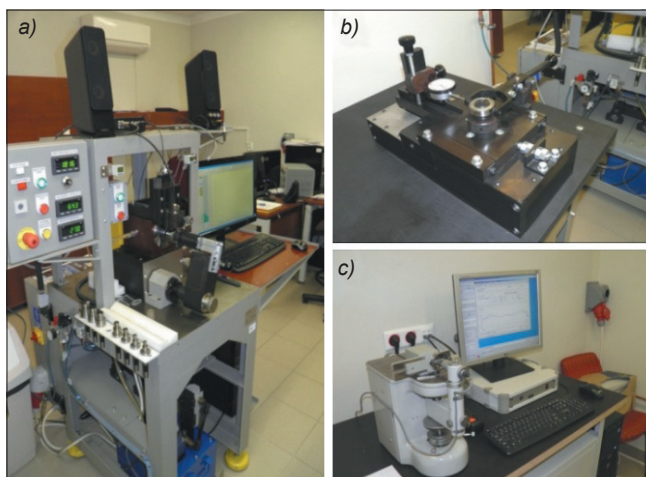
Badania eksperymentalne

Do realizacji badań użyto 50 nowych kulkowych łożysk tocznych typu 6304. Są to łożyska promieniowe, jednorzędowe o konstrukcji otwartej, stosowane powszechnie w przemyśle maszynowym. Badania przeprowadzono w Laboratorium Badań Łożysk Tocznych na Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach, na autorskich systemach badawczych (rys. 1).

Pierwszym etapem badań był pomiar drgań generowanych przez łożyska toczne z wykorzystaniem stanowiska badawczego Anderometr STPPD (rys. 1a), skonstruowanego przez pracowników Politechniki Świętokrzyskiej. Analizy drgań dokonano w niskim, średnim, wysokim oraz pełnym paśmie częstotliwości. Wartości generowanych drgań zostały wyrażone jednostką anderson, która jest powszechnie stosowana przez branżę łożyskową.

* Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak dr h.c. (adamczak@tu.kielce.pl), dr inż. Paweł Zmarzły (pzmarzly@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska

Po pomiarze drgań przystąpiono do pomiaru luzu promieniowego Δr każdego łożyska za pomocą przyrządu przedstawionego na rys. 1b. Aby ocenić parametry geometrii bieżni oraz elementów tocznych, łożyska rozmontowano. Zmierzono promienie bieżni zewnętrznej r_e oraz wewnętrznej r_i za pomocą autorskiego stanowiska badawczego SDPP (rys. 1c). Kolejnym etapem badań był pomiar średnicy kulek D_w . Na podstawie uzyskanych wyników dla każdego analizowanego łożyska tocznego wyznaczono kąt działania α w oparciu o zależność (1).



Rys. 1. Systemy pomiarowe użyte do badań: a) Anderometr STPPD – stanowisko do pomiaru drgań, b) przyrząd do pomiaru luzu promieniowego, c) stanowisko do pomiaru chropowatości, odchyłki profilu oraz promienia bieżni

Analiza wyników

Wstępna analiza uzyskanych wyników wykazała, że badane łożyska miały kąty pracy o dużej zmienności. Dla ułatwienia łożyska zostały podzielone na cztery grupy selekcyjne. Podziału dokonano w zależności od wartości kąta α . Następnie dla każdej grupy zmierzono wartości średnie poziomu drgań dla niskiego (LB), średniego (MB) oraz wysokiego (HB) zakresu częstotliwości. Dodatkowo przedstawiono wyniki drgań uzyskane w pełnym zakresie częstotliwości (RMS). Wyniki zestawiono w tablicy oraz na wykresie (rys. 2).

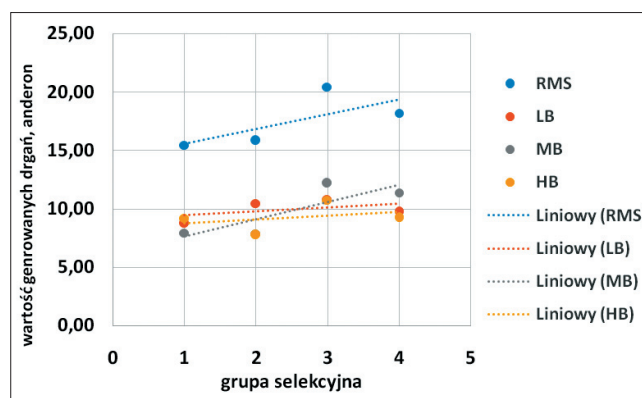
TABLICA. Średnie wartości drgań generowanych przez łożyska obliczone dla poszczególnych grup selekcyjnych

Grupa	Zakres kąta pracy α , deg	Poziom generowanych drgań, anderson			
		RMS	LB	MB	HB
1	<9,150;11,083>	15,42	8,733	7,910	9,176
2	<11,300;12,852>	15,83	10,462	7,833	7,747
3	<12,976;14,010>	20,41	10,805	12,178	10,746
4	<14,177;16,786>	18,16	9,698	11,354	9,233

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wartość kąta pracy α badanych łożysk tocznych typu 6304 wpływa na poziom generowanych drgań we wszystkich analizowanych częstotliwościach. Rozpatrując linie trendu zaznaczone na rys. 2, można zauważyć, że wzrost wartości kąta α powoduje wzrost poziomu drgań generowanych przez serię badanych łożysk. Największy wpływ odnotowano dla średniego zakresu częstotliwości MB,

natomiast najmniejszy – dla niskiego zakresu częstotliwości LB. Należy dodać, że poziom generowanych drgań w zakresie częstotliwości HB zależy m.in. od falistości powierzchni bieżni łożysk tocznych.

W tablicy widać, że najmniejsze wartości drgań (we wszystkich analizowanych zakresach) wykazywały łożyska z pierwszej grupy, o zakresach kąta pracy $\alpha < 9,150^\circ; 11,083^\circ$. Były to łożyska o najmniejszym kącie pracy spośród badanych. Można więc stwierdzić, że łożyska znajdujące się w tej grupie były najlepszej jakości. Natomiast największe wartości generowanych drgań odnotowano w trzeciej grupie selekcyjnej, w której znajdowały się łożyska o kącie pracy w zakresach $\alpha < 12,976^\circ; 14,083^\circ$. Ciekawe wyniki badań uzyskano dla czwartej grupy, ponieważ wartości generowanych drgań zmalały w porównaniu z trzecią grupą selekcyjną. Mogło to być związane z dużymi wartościami luzu promieniowego uzyskanymi dla łożysk z tej grupy.



Rys. 2. Poziom generowanych drgań (dla każdej grupy selekcyjnej) w zależności od kąta pracy α

Podsumowanie

Głównym celem artykułu było przedstawienie procedury wyznaczania kąta pracy kulkowych łożysk tocznych oraz zbadanie relacji między nim a jednym z najważniejszych parametrów eksploatacyjnych łożysk tocznych, jakim jest poziom drgań. Wyniki badań wykazały, że wartość kąta pracy ma wpływ na poziom generowanych drgań. Spośród 50 analizowanych łożysk tocznych najmniejsze wartości poziomu drgań wykazały łożyska o najmniejszych wartościach kąta α . Wpływ ten jest szczególnie widoczny w przypadku analizy drgań w średnim zakresie częstotliwości. Obliczenia wykazały, że przy zachowaniu podobnych wartości promienia bieżni zewnętrznej i wewnętrznej na wartość kąta pracy α łożyska tocznego promieniowego typu 6304 najsilniej wpływa luz promieniowy Δr .

LITERATURA

1. Krzeminski-Freda H. „Łożyska toczne”. Warszawa: PWN, 1989.
2. Gorycki Ł., Domagalski R., Zmarły P. „Pomiary momentów oporowych łożysk tocznych w aspekcie dokładności kształtowo-wymiarowej elementów współpracujących”. *Mechanik*. Nr 3 (2015): s. 187–193.
3. Wojnar G., Łazarz B., Stanik Z. „Diagnostics of rolling bearing by vibration analysis”. *Diagnostyka*. Vol. 39 (2006): s. 7–11.
4. Tomaszewski J. „Wibroakustyczna diagnostyka stanu technicznego łożysk tocznych”. *Maszyny Górnicze*. Nr 2 (2006): s. 3–8.
5. Kaczor J. „Wpływ luzu w łożyskach kulkowych na nieprawidłową pracę wału trzypodporowego”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*. Nr 83 (2014): s. 117–126.
6. Kostek R. „Symulacja drgań promieniowego łożyska tocznego”. *Modelowanie Inżynierskie*. T. 14, nr 45 (2012): s. 82–88.
7. Motion & Control, NSK, *Technical Report*, CAT. No. E728g, 2013 (materiały firmowe).