

Stanisław ADAMCZAK*, **Ryszard DOMAGALSKI***,
Ewa SENDER**

METODY BADAŃ ŁOŻYSK TOCZNYCH W ASPEKTCIE WSPÓŁCZESNYCH WYMAGAŃ WYROBÓW O WYŻSZYCH PARAMETRACH EKSPLOATACYJNYCH

INVESTIGATION METHODS FOR ROLLING BEARINGS IN TERMS OF CURRENT REQUIREMENTS FOR HIGH PERFORMANCE PRODUCTS

Słowa kluczowe:

łożyska toczne, badania łożysk, aplikacje łożysk

Key words:

rolling bearing, bearing test, bearing application

* Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, 25-314 Kielce, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, e-mail: adamczak@tu.kielce.pl, e-mail: rdomagalski@tu.kielce.pl.

** Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Centrum Laserowych Technologii Metali, 25-314 Kielce, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, e-mail: esender@tu.kielce.pl.

Streszczenie

Rozwój konstrukcji urządzeń mechanicznych wymusza intensywny postęp w produkcji łożysk tocznych. Kryteria, jakie muszą spełniać łożyska narzucają konieczność oferowania produktów dedykowanych dla konkretnych aplikacji. Wymaga to wypracowywania konsensusu pomiędzy poprawą istotnych a pogorszeniem nieistotnych dla tej aplikacji parametrów. Do oceny takich łożysk niezbędne jest użycie niestandardowych, nowoczesnych metod i urządzeń badawczych. W pracy omówiono znaczenie łożysk w eksploatacji urządzeń mechanicznych oraz wpływ ich wybranych parametrów na efektywność pracy w określonych aplikacjach. Przedstawiono cele, metody i urządzenia badawcze oraz określono potrzeby opracowania prostych i szybkich metod, usprawniających ocenę poprawności kojarzenia łożysk z aplikacjami.

Łożyska toczne są jednym z najistotniejszych elementów maszyn i urządzeń, determinujących poprawność realizacji zadań, do których zostały zaprojektowane, zarówno w aspekcie czysto funkcjonalnym, jak i wielu istotnych parametrów użytkowych, takich jak trwałość, niezawodność, wpływ na środowisko czy bezpieczeństwo i komfort użytkowania. Ta szczególna rola łożysk w produkcji i rozwoju urządzeń mechanicznych wymusza na ich producentach systematyczne zwiększanie wymagań jakościowych i opracowywanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych. Skuteczność konkurencji na trudnym rynku globalnym wymaga oferty urządzeń realizujących coraz wyższe osiągi. Stosowanym w nich podzespołom stawiane są wymagania, niejednokrotnie znacznie przekraczające możliwości nawet bardzo wysokich standardów. Wymusza to coraz częściej potrzebę wykonywania wersji konstrukcyjnych dedykowanych dla konkretnych zastosowań.

Typowym przykładem tej tendencji są produkty AGD [L. 3, 6, 7]. Odkurzacze, dysponując coraz większą mocą, przy równocześnie malejącej masie, wyposaża się w silniki wysokoobrotowe. Montowane w nich łożyska osiągają prędkości rzędu $50\,000\text{ min}^{-1}$, co niemal dwukrotnie przekracza prędkości graniczne dla najczęściej stosowanych w tej aplikacji łożysk 608 lub 6000. Wysoki poziom zaspokojenia potrzeb odbiorców w tym zakresie osiągnięto poprzez zmiany konstrukcji wewnętrznej zmniejszające opory toczenia, nie bez strat w odporności na obciążenia

oraz przy znaczącym podniesieniu poprzeczki w zakresie dokładności wykonania na całkiem niestandardowy poziom. Podobnie, choć przy nieco innych proporcjach zmian, rozwiązywano problemy z silnikami do pralek, łożyskami do bębnow (w tym przypadku łożyska dostosowywano do wymagań implementując zmiany odwrotne) itp.

Znacznie bardziej zaawansowane dostosowywanie konstrukcji do węzłów łożyskowych obserwujemy w przemyśle samochodowym [L. 4], gdzie producenci łożysk przejmują na siebie wykonawstwo kompletnych podzespołów, niejednokrotnie z elektroniką sterującą. Podobnie realizuje się zmiany w kolejnictwie, przemyśle lotniczym, jak również w sektorze produkcji środków produkcji.

Łożysko w wersji standardowej ma określone ograniczenia w zakresie swoich podstawowych parametrów użytkowych, jakimi są nośność, graniczna prędkość obrotowa czy żywotność [L. 1, 2, 7]. Chcąc przekroczyć któryś z nich, trzeba na ogół pogodzić się z ograniczeniem pozostałych. O ile znane są jakościowe zależności pomiędzy tymi parametrami, to już ilościowe ich określenie wymaga potwierdzenia dość kosztownymi badaniami. Mnogość czynników, które mogą wpłynąć na wyniki tych badań i poważnie zdeformować obraz rzeczywistości, wymaga pedantycznego wręcz przygotowania łożysk i oprzyrządowania do testów, precyzyjnego prowadzenia procesu badawczego, monitorowania wielu jego parametrów i dużego doświadczenia w interpretacji uzyskanych wyników. Używane do tych celów wyposażenie badawcze składa się na ogół z kilku urządzeń, na których prowadzi się testy. Znalezienie pewnych, ilościowych korelacji pomiędzy warunkami pracy łożysk a ich kondycją wymaga przebadania licznej, reprezentatywnej próbki i statystycznej obróbki wyników. Takie badania są bardzo czasochłonne, kosztowne i choć w pewnych sytuacjach absolutnie niezbędne, to na potrzeby znakomitej liczby użytkowników niewystarczające.

Badania łożysk powszechnie prowadzone przez znaczących producentów łożysk, wykonywane są na specjalnych stanowiskach w oparciu o przyjęte wewnętrzne procedury i stanowią głęboką tajemnicę firm. Celem ich jest głównie ocena stabilności jakości produkcji, benchmarking oraz testowanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych. Część z tych badań realizowana jest pod potrzeby dużych odbiorców, z którymi prowadzone są wspólne prace nad rozwiązaniem konkretnych problemów aplikacyjnych. Badania łożysk prowadzą również niektórzy użytkownicy, głównie firmy o zasięgu globalnym lub regionalnym, wielcy producenci sprzętu

lotniczego, uzbrojenia, transportu, sprzętu AGD i urządzeń technologicznych, jak również globalni wykonawcy podzespołów dla tych firm. Są to głównie badania aplikacyjne, realizowane na kompletnych wyrobach lub podzespołach, których celem jest przeważnie ocena trwałości i jakości pracy wielu zespołów i elementów, w tym również łożysk. Rzadziej jednak samych łożysk. Badania te mogą mieć charakter dopuszczeniowy w przypadku uruchamiania nowej produkcji względnie po dokonaniu zmian lub testujący stabilność jakości czy procesów technologicznych. Poza trudnościami o charakterze technicznym konflikt interesów stron biznesu utrudnia czasem optymalizację rozwiązań. W takich sytuacjach pomocna w optymalizacji rozwiązania byłaby niezależna placówka badawcza. Problem w tym, że poza branżą łożyskową brakuje dobrze wyposażonych laboratoriów badawczych, które mogłyby podjąć się oceny przydatności konkretnej wersji wykonania łożyska dla określonej aplikacji.

Szeroka gama niezbędnych badań wymaga bardzo zróżnicowanego wyposażenia i odpowiednio przygotowanej kadry, a w konsekwencji bardzo dużych nakładów. Na systematyczne ich prowadzenie mogą sobie pozwolić wyłącznie wielcy producenci łożysk. Pomimo to znaczna liczba propozycji przygotowywanych dla konkretnych węzłów wymaga dalszej optymalizacji, po przeprowadzeniu testów aplikacyjnych realizowanych według procedur użytkownika (np. testy homologacyjne). Aby osiągnąć oczekiwany rezultat, trzeba niejednokrotnie optymalizować konstrukcję całego węzła. Wymaga to poza analizą techniczną optymalizacji kosztów wdrożenia. Duże koszty badań powodują, że w praktyce, optymalizowane są rozwiązania dotyczące produkcji wielkoseryjnych lub bardzo drogich wyrobów. W pozostałych przypadkach optymalizacja ma dość ograniczony charakter. Biorąc przy tym pod uwagę stosunkowo płytką wiedzę na temat łożysk wśród inżynierów spoza branży, niezawodność wyrobów osiągnana jest przez przewymiarowanie węzłów łożyskowych lub ma charakter losowy. Poprawę w tym zakresie można osiągnąć głównie przez wprowadzenie metod i urządzeń, pozwalających tanio i szybko ocenić granice możliwości łożyska i wybrać z gotowej oferty lub zamówić u producenta wyrób najlepiej odpowiadający konkretnemu rozwiązaniu.

Rozwój konstrukcji urządzeń i towarzyszące mu zmiany w wymaganiach stawianych węzłom łożyskowym, jak również wynikająca z tego faktu konieczność zwiększenia efektywności prowadzonych prac rozwojowych, zwiększyła w branży łożyskowej nacisk na rozwijanie tych kierunków, które pozwalają zminimalizować niekorzystne elementy wystę-

pujące we współpracy na linii dostawca–odbiorca, obniżyć koszty poprzez koncentrację nakładów i zmniejszyć możliwość konfliktu odpowiedzialności w przypadkach awarii. Ten ostatni element ma bardzo istotne znaczenie dla urządzeń o szczególnych wymaganiach w zakresie bezpieczeństwa (np. transport). Stąd jednym z najintensywniej rozwijających się kierunków w dużych koncernach branży łożyskowej jest produkcja całych zespołów łożyskowych. Typowymi przykładami są tu łożyskowania kół samochodowych, wrzecienniki, rolki napinaczy itp. Badania takich zespołów prowadzone są na specjalnie do tego celu skonstruowanych stanowiskach u producenta, a po uzyskaniu pozytywnych rezultatów poddawane są testom aplikacyjnym u użytkownika. Ta sfera zastosowań łożysk z punktu widzenia optymalizacji węzłów ma się dobrze i jeśli wymaga korekt, to z ich realizacją zainteresowani świetnie radzą sobie sami.

Pozostaje jednak olbrzymi obszar zastosowań łożysk klasycznych, które najprawdopodobniej w stosunkowo odległym horyzoncie czasowym rewolucyjnych zmian się nie doczekają. Nie zmienia to faktu, że łożyskom tym coraz częściej stawia się specjalne wymagania, co wymusza konieczność testowania ich w niestandardowy sposób. Często bowiem osiągnięcie bardzo wysokiej wartości istotnego dla aplikacji parametru musi odbyć się kosztem innego, nieistotnego dla warunków eksploatacji łożyska w konkretnym wyrobie. Równocześnie masowe użycie tych łożysk w pełni uzasadnia potrzebę badań optymalizacyjnych, których celem jest poprawa efektywności ich pracy, a w konsekwencji niższe koszty eksploatacji, komfort użytkowania urządzeń czy zmniejszenie negatywnego oddziaływania na środowisko.

Biorąc pod uwagę, że optymalizacji doboru łożysk do węzłów brakuje głównie w aplikacjach, dla których koszty badań tradycyjnych stanowią zbyt duży udział finansowy, opracowania wymagają metodyki i urządzenia, które pozwolą określić ograniczenia łożyska w zakresie istotnych dla danego węzła parametrów technicznych w krótkim czasie i przy możliwie niewielkich nakładach. Opracowanie takich rozwiązań, poza możliwością powstania na ich bazie eksperckich firm wspomagających mniejszych producentów w rozwiązywaniu problemów z łożyskowaniem, może również stanowić interesującą propozycję dla dużych laboratoriów badawczych. Pozwoli bowiem na wstępny wybór najlepiej rokujących rozwiązań spośród alternatywnych wariantów. Może to znakomicie obniżyć koszty prowadzenia dużych programów badawczych.

Zespół pracowników Politechniki Świętokrzyskiej podjął prace nad przygotowaniem nowych metod i urządzeń do badania łożysk, które mają umożliwić szybką i w miarę wszechstronną ocenę realnych możliwości konkretnej ich wersji w zakresie podstawowych parametrów użytkowych (takich jak przenoszone obciążenie, prędkość obrotowa czy dopuszczalna temperatura pracy), w aspekcie możliwości zastosowania w aplikacji o określonych warunkach eksploatacji. Podejmując prace, przyjęto założenie, że opracowywane metody i urządzenia przeznaczone będą do oceny łożysk, od których wymaga się długotrwałej, bezawaryjnej pracy w urządzeniach mechanicznych, przy równoczesnym zapewnieniu możliwie wysokiego komfortu ich użytkowania, obsługi i niskich kosztów eksploatacji. Wymagania takie stawiane są zdecydowanej większości aplikacji, szczególnie w urządzeniach powszechnego użytku, a podstawowym warunkiem ich spełnienia jest zapewnienie łożyskom dobrych warunków smarowania.

Skutecznym sposobem na ocenę poprawności pracy łożyska podczas testu, wydaje się być zatem śledzenie zachowania się filmu elastohydrodynamicznego. Uchwycenie momentu jego przerwania pozwoli wyznaczać granice, po przekroczeniu których warunki pracy łożyska dramatycznie się pogarszają, grożąc szybkim obniżeniem jego możliwości eksploatacyjnych. Badanie w zmieniających się warunkach pracy łożyska podczas testu umożliwi opracowanie dla niego swoistej mapy możliwości. Analiza tej mapy pozwoli ustalić obszar bezpiecznej pracy łożysk, a w połączeniu z oceną ich zachowania opartą na informacjach z monitoringu istotnych parametrów eksploatacyjnych (takich jak drgania, głośność czy moment oporowy) oraz z pomiarów parametrów jakości wykonania (takich jak okrągłość, falistość czy chropowatość powierzchni), umożliwi uściślenie korelacji pomiędzy tymi parametrami a własnościami eksploatacyjnymi łożysk. Prace realizowane są w ramach projektu obejmującego zaprojektowanie i wykonanie urządzeń, opracowanie metodyk badawczych i przeprowadzenie badań weryfikacyjnych.

Badaniami łożysk zajmuje się kilka ośrodków akademickich w kraju. Prace przez nie prowadzone pomagają rozwiązać wiele skomplikowanych problemów technicznych w trudnych aplikacjach łożysk [L. 8, 9]. Projekt realizowany przez Politechnikę Świętokrzyską ma nieco inny charakter. Jego realizacja ma przygotować bazę do szybkiej reakcji na pytania użytkowników.

WNIOSKI

1. Rozwój branży łożyskowej w kierunku zwiększania w programach produkcji udziału łożysk dedykowanych konkretnym węzłom łożyskowym rozszerza potrzeby w zakresie metod i urządzeń badawczych. Dotyczy to zarówno łożysk specjalnych, projektowanych jako gotowe podzespoły układów mechanicznych, jak również klasycznych konstrukcji łożysk.
2. Duże koszty badań oraz duże zaangażowanie zaplecza technicznego producentów łożysk w rozwój nowych konstrukcji i zabezpieczenie potrzeb odbiorców masowych pozostawiają znaczącą niszę użytkowników łożysk gorzej obsługiwaną w zakresie wsparcia technicznego w obszarze optymalizacji doboru łożysk.
3. Istnieje potrzeba rozwijania metod i urządzeń badawczych, pozwalających na szybkie i tanie testowanie łożysk pod kątem optymalizacji ich doboru do konkretnych węzłów łożyskowych, pracujących w określonych warunkach środowiskowych.
4. Zasadne wydaje się powołanie specjalistycznego, odpowiednio wyposażonego laboratorium badawczego, które mogłoby prowadzić testy i badania łożysk. Stanowić by ono mogło bazę dla niezależnych specjalistów w dziedzinie techniki łożyskowania, wspierającą małych i średnich producentów urządzeń mechanicznych w zakresie optymalizacji łożyskowań.

LITERATURA

1. Krzemiński-Freda H.: Łożyska toczne, PWN, Warszawa 1985.
2. Furmanek S., Kraszewski Z.: Niezawodność łożysk tocznych, Wydawnictwo Przemysłowe WEMA, Warszawa 1989.
3. Motion & Control No 10 April 2001, „Low-Torque Bearing for Fan Motors and Vacuum Cleaner Motors”, NSK Technical Journal.
4. Motion & Control No 11 October 2001, „Development of the Half-Toroidal CVT”, NSK Technical Journal.
5. Technical Report, wyd. NSK.
6. Styp-Rekowski M.: Opory ruchu w łożyskach tocznych, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn 2002, Vol. 37, nr 1, s. 7–20.
7. Raczyński A.: Prognozowanie trwałości łożysk tocznych przy zmiennym obciążeniu i prędkości, Tribologia 2004, R. 35, nr 4, s. 107–116.

8. Kaczor J., Raczyński A.: Wpływ kształtu powierzchni roboczych łożysk kulkowych zwykłych na trwałość łożyskowania wału trzypodporowego. Mech. Autom. 2009, Vol. 3, nr 1, s. 54–57.
9. Korbiel T.: Analiza rzędów w diagnostyce niestacjonarnych procesów wibroakustycznych. Diagnostyka nr 3(43)2007.

Recenzent:
Stanisław PYTKO

Summary

As a result of the development in machine design, progress investigation in rolling bearing production is necessary. The criteria for bearings dictate the production of bearings for specific applications. This requires a consensus between the improvement of significant bearing parameters and the deterioration of insignificant parameters for a specific application. In order to assess such bearings, it is essential that modern and special investigation methods and equipment should be used. This paper focuses on the importance of bearings in the performance of the machines and the influence of some bearing parameters in specific applications. In the paper, objective methods and investigation equipment have been presented as well as the needs for simple and quick methods to improve the assessment of selecting suitable bearings for specific applications.