

Streszczenie

Niniejsza rozprawa doktorska obejmuje zagadnienia związane z poprodukcyjnym testowaniem łożysk stożkowych. Celem tego testowania jest klasyfikacja nowych łożysk na grupy dobre i wadliwe. Testowanie łożysk jest obecnie prowadzone w oparciu o wytyczne zawarte w normach i patentach, których źródła sięgają lat 40-tych ubiegłego wieku.

Głównym celem rozprawy było: opracowanie metodyki poprodukcyjnego testowania stożkowych łożysk tocznych, która pozwala na uzyskanie sygnałów diagnostycznych o znanym wpływie warunków prowadzenia testów i jest mało podatna na zakłócenia. Ponadto celem pracy było opracowanie nowych i/lub adaptacja istniejących technik analizy i parametryzacji sygnałów wibroakustycznych, z zastosowaniem metod cyfrowego przetwarzania sygnałów, pozwalających polepszyć trafność klasyfikacji poprodukcyjnej i zwiększyć skuteczność detekcji wad produkcyjnych stożkowych łożysk tocznych.

Rozprawa zawiera przegląd metod i technik stosowanych w diagnostyce eksploatacyjnej łożysk tocznych. Przegląd metod i technik diagnozowania łożysk pozwolił wskazać metody, które mogą być potencjalnie zastosowane do poprodukcyjnego testowania łożysk.

W pracy przedstawiono aktualne, nieobligatoryjne wytyczne do testowania łożysk zawarte w normach. Porównano je z zasadami testowania zawartymi w patencie na Urządzenia do Testowania Łożysk z 1949 r. Efekty testowania stożkowych łożysk tocznych zgodnie z tymi zaleceniami poddano częściowo porównaniu i weryfikacji w ramach badań wstępnych.

Zakres przeprowadzonych prac wstępnych obejmował wykonanie badań i opracowanie zaleceń dotyczących: przygotowania łożysk do testów, smarowania łożysk, obciążenia testowego, zmian temperatury łożyska podczas testu, prędkości obrotowej wrzeciona, stabilizacji warunków testowania, czasu uśredniania, mierzonych wielkości i miar oraz sposobu interpretacji wyników prowadzących do klasyfikacji nowych łożysk stożkowych.

Wyniki badań wstępnych były podstawą do zaproponowania rozszerzonej metodyki testowania łożysk stożkowych, która została zaimplementowana w badaniach głównych prowadzonych na zestawie łożysk stożkowych pozyskanego od producenta – Fabryki Łożysk Tocznych w Kraśniku. W zestawie tym znalazły się łożyska sklasyfikowane przez producenta jako dobre, łożyska negatywnie sklasyfikowane ze względu na przekroczony poziom drgań oraz łożyska negatywnie sklasyfikowane ze względu na zbyt głośną pracę.

Zaprezentowano oryginalną, dedykowaną do testowania łożysk metodę pomiaru uderzeń w pasmach rezonansowych struktury łożysko-oprawa-stanowisko. Ponadto zaproponowano użycie ukierunkowanej diagnostycznie metody zobrazowania wyników na płaszczyźnie $a_{RMS} - f_{RICE}$ (wartość skuteczna przyspieszeń drgań – częstotliwość Rice'a), która pozwala jednocześnie na klasyfikację i wskazywanie dominującego rodzaju wad testowanych łożysk.

Rozprawę kończy porównanie wyników reklasyfikacji łożysk uzyskanych w Laboratorium Diagnostyki Systemów i klasyfikacji producenta będące podstawą do sformułowania wniosków.

Abstract

This Ph.D. thesis covers the issue of post-production testing of tapered roller bearings. The purpose of post-production testing is to classify new bearings into good and defective groups. Bearings' testing is nowadays carried out based on guidelines contained in standards and patents dating back to the 1940s.

The main objective of the work was: to develop a methodology for post-production testing of tapered roller bearings, which enables diagnostic signals to be obtained with a known influence of the test conditions and for the testing not to be susceptible to interference. In addition, the aim of the work was to develop new and / or adapt existing techniques for the analysis and parameterisation of vibroacoustic signals, using digital signal processing methods, in order to improve the accuracy of post-production classification and to increase the effectiveness of detection of manufacturing defects in tapered roller bearings.

The thesis provides an overview of the methods and techniques used in the exploitation diagnostics of rolling element bearings. The review of bearing diagnosis methods and techniques identified methods that could potentially be applied to post-production testing of rolling bearings.

The thesis presents current, non-mandatory guidelines for bearing testing contained in standards. These were compared with the testing principles contained in the 1949 patent for Bearing Testing Device. The effects of tapered roller bearings tests performed in accordance with these recommendations were partly compared and verified in preliminary research.

The scope of the preliminary research included: the execution of tests and formulation of recommendations concerning the preparation of bearings for testing, lubrication of bearings, test load, changes in bearing temperature during the test, spindle speed, stabilisation of test conditions, averaging time, measured quantities and measures, as well as how to interpret the results leading to the classification of new tapered roller bearings.

The results of this preliminary research were the basis for proposing an extended tapered roller bearing testing methodology, which was implemented in the main research conducted on a set of tapered roller bearings obtained from the manufacturer, Polish Bearing Factory in Kraśnik. The set included bearings classified as good by the manufacturer, bearings negatively classified due to exceeded vibration levels, and bearings negatively classified due to excessively noisy operation.

An original method dedicated to bearing testing, a method for measuring impacts in the resonance bands of the bearing-housing-stand structure, was presented. In addition, the use of diagnostically oriented methods for imaging the results on the $a_{RMS} - f_{RICE}$ plane (rms value of vibration accelerations – Rice frequency) is proposed, which simultaneously enables classification and indication of the predominant type of defects in the tested bearings.

The thesis ends with a comparison of the bearing reclassification results obtained in the Laboratory of Systems Diagnostics and the manufacturer's classification being the basis for conclusions.