

Andrzej ZBROWSKI, Krzysztof MATECKI
Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

WYKRYWANIE WEWNĘTRZNYCH WAD MATERIAŁOWYCH W PIERŚCIENIACH ŁOŻYSK TOCZNYCH

Słowa kluczowe

Łożyska toczne, kontrola jakości, prądy wirowe, metody magnetyczne, metody rentgenowskie.

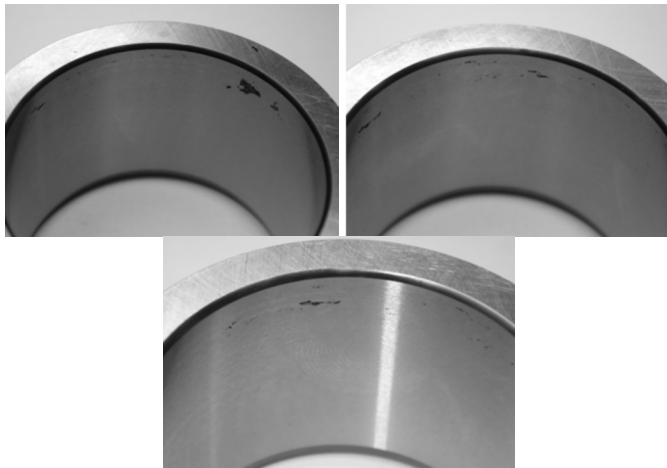
Streszczenie

W artykule przedstawiono problemy związane z występowaniem wad struktury materiałowej w pierścieniach łożysk tocznych. Zaprezentowano przykłady zidentyfikowanych wad materiałowych. Za pomocą wytypowanych metod defektoskopowych przeprowadzono badania porównawcze w celu wytypowania metody diagnostycznej dogodnej do zastosowania w wielkoseryjnej, 100% kontroli jakości pierścieni łożyskowych, prowadzonej on-line na linii produkcyjnej. Badania przeprowadzono z zastosowaniem metody wizualnej, magnetycznej, wiroprowadowej i rentgenowskiej. Na podstawie uzyskanych wyników badań wytypowano metodę prądów wirowych jako optymalne rozwiązanie systemu do automatycznej inspekcji wewnętrznych wad materiałowych w pierścieniach łożysk tocznych. Przeprowadzone badania zrealizowano w celu sformułowania koncepcji i zasady działania takiego systemu.

Wprowadzenie

Łożyska toczne należą do grupy wysoko obciążonych części maszyn spełniających bardzo ważną rolę z punktu widzenia ich niezawodności, trwałości

i eksploatacyjnego bezpieczeństwa technicznego. Newralgicznym obszarem w łożysku jest styk elementów tocznych z bieżnią. Jest to styk skoncentrowany punktowy lub liniowy w zależności od konstrukcji łożyska. W jego obszarze występują bardzo wysokie naprężenia ściskające, tzw. naprężenia Hertza. Podczas pracy łożyska naprężenia te „wędrują” wzdłuż całej powierzchni roboczych bieżni oraz elementów tocznych, wywołując zmienny w czasie stan naprężeń i zużycie zmęczeniowe wierzchniej warstwy materiału – pitting. Wysokie, dopuszczalne obciążenia w łożysku są przenoszone przez kilka jednocześnie pracujących styków skoncentrowanych: element toczny – bieżnia. Wywołuje to naprężenia o dużej wartości sięgające na znaczną głębokość wewnątrz materiału. Z tego względu do wytwarzania łożysk stosuje się specjalne gatunki stali o najwyższej wytrzymałości zmęczeniowej powierzchni i czystości struktury. Występowanie wad materiałowych na powierzchniach roboczych łożysk oraz wewnątrz elementów konstrukcyjnych jest całkowicie niedopuszczalne. Wady takie (rys. 1) stanowią obszary dodatkowej koncentracji naprężeń wywołującej uszkodzenia w postaci przyspieszenia zużycia zmęczeniowego lub źródła nagłego zniszczenia elementu wskutek pęknięcia [1, 2]. Najbardziej niebezpieczne są duże defekty struktury powodujące nagłe zablokowanie lub całkowite zniszczenie łożyska oraz całego mechanizmu [3].

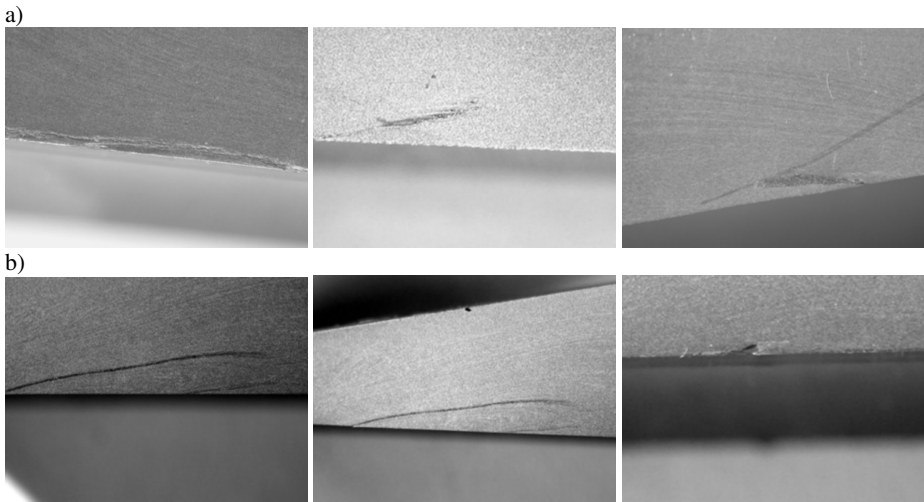


Rys. 1. Pierścienie łożysk tocznych z widocznymi wadami materiałowymi

Ze względu na technologię eksploatacji łożysk tocznych najbardziej istotne jest odpowiednie przygotowanie powierzchni współpracujących, w tym także bieżni pierścieni [4, 5]. Z tego powodu kluczowym problemem jest wyeliminowanie w procesie kontroli jakości produktów, które posiadają nieciągłości powierzchniowe lub nieciągłości znajdujące się bezpośrednio pod powierzchnią współpracujących elementów łożyska.

1. Wady materiałowe pierścieni łożyskowych

Głównym źródłem wad jest niewłaściwie przeprowadzony proces hutniczy przygotowania materiału wyjściowego do produkcji łożysk oraz proces wstępnego kształtowania elementu podczas operacji kucia. Przyczyną powstawania wad powierzchni wyrobów walcowanych są błędy popełnione na wstępnym etapie procesu technologicznego obróbki bezwiórowej, wynikające z np.: niewłaściwego grzania, chłodzenia lub uszkodzenia narzędzia kształtującego (rys. 2).



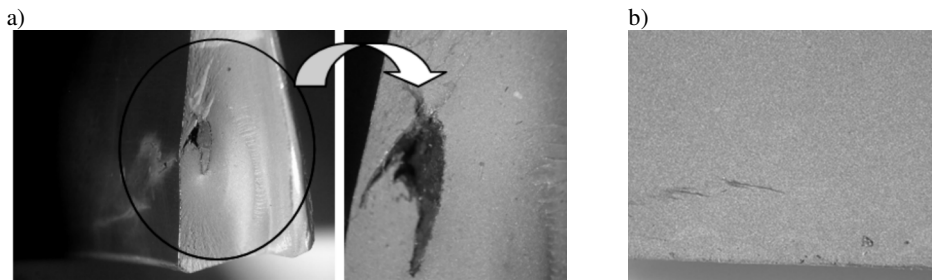
Rys. 2. Walcownicze i kuźnicze wady materiałowe pierścieni łożyskowych: a) zawalcowania, b) pęknięcia (widok na przekroju poprzecznym)

Każdy z błędów w procesie technologicznym może być przyczyną innego typu wad. W materiałach walcowanych i kutych może występować cała gama wad powierzchniowych takich jak:

- łuski,
- zmarszczki,
- naderwania,
- pęknięcia,
- rozdarcia,
- rozszczepienia,
- zawalcowania,
- wgnioty,
- zawalcowania wad powierzchniowych,
- nalepienia.

Istotną rolę w jakości odkuwek i walcówek ma jakość odlewu, z którego produkowany jest element. Typowe wady odlewów (rys. 3) ujawniające się podczas dalszej obróbki materiału to:

- pęcherze,
- porowatości,
- zażużlenia,
- segregacje,
- zanieczyszczenia,
- jama skurczowa.



Rys. 3. Odlewnicze wady materiałowe pierścieni łożyskowych: a) jama skurczowa z zażużleniem, b) zanieczyszczenia

2. Dobór metodyki badań

Wykrywanie i usuwanie wadliwych elementów jest niezmiernie istotne z punktu widzenia interesu producentów łożysk tocznych [6, 7] oraz wymagań systemów bezpieczeństwa technicznego [8, 9]. Łożyska, ze względu na powszechne stosowanie i odpowiedzialną rolę, muszą być wyrobami o najwyższej jakości, budzącymi pełne zaufanie. Zapewnienie odpowiedniej jakości powierzchni determinuje konieczność całkowitego eliminowania elementów z wadami powierzchniowymi i podpowierzchniowymi.

Badania nieniszczące stają się powszechnie stosowanym narzędziem zapewnienia niezawodności wyrobów poprzez wykrywanie defektów i niedoskonałości materiałów konstrukcyjnych lub przez wykrycie wad w wyrobie gotowym i niedopuszczenie do użytkowania [10]. Badania nieniszczące stanowią zespół metod pozwalających określić stan fizyczny – jakość badanych obiektów – bez spowodowania zmian ich właściwości użytkowych. Są one stosowane głównie do wykrywania ukrytych wad w postaci nieciągłości materiału jak pęknięcia, wtrącenia, pęcherze. Umożliwiają uzyskanie informacji o stanie fizycznym, wadach, anomaliami lub właściwościach obiektu (materiału, wyrobu, konstrukcji) bez spowodowania zmiany jego cech użytkowych.

Badania defektoskopowe są rodzajem badań nieniszczących, których celem jest wykrycie i ocena wad mających charakter nieciągłości – pęknięcia, wtrącenia, rozwarstwienia itp. Różnorodność zjawisk wykorzystywanych w tych badaniach jest powodem różnaitości środków badawczych, metod kontroli i analizy wyników [11].

Podstawowymi, najczęściej stosowanymi metodami badań nieniszczących – defektoskopii nieniszczącej są:

- metoda penetracyjna (techniki barwne, luminescencyjne (UV),
- metoda magnetyczna (kontrastowa, luminescencyjna, luminescencyjno-mikroskopowa),
- metody wizualne (fibroskopowa, badania przy oświetleniu ksenonowym, badania przy oświetleniu UV),
- metoda ultradźwiękowa,
- metoda rentgenowska,
- metoda prądów wirowych.

Nie istnieje metoda uniwersalna. Poszczególne metody badań uzupełniają się. Każda z metod ma swoje wady, zalety i ograniczenia [12].

W celu doboru optymalnej metody wykrywania wad materiałowych pierścieni łożyskowych przeznaczonej do budowy sytemu „zero braków” w procesie wytwarzania łożysk, wytypowano metody spełniające kryteria stosowalności na linii produkcyjnej w warunkach produkcji wielkoseryjnej.

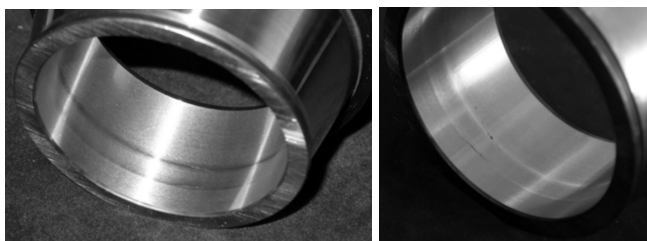
Wybrane typy bieżni łożysk poddano badaniom defektoskopowym. Do badań zastosowano metodę magnetyczno-proszkową, metodę rentgenograficzną, metodę prądów wirowych oraz metodę wizualną.

Celem badań było wykrycie i wizualizacja określonych wad oraz określenie przydatności metody do budowy systemu wykrywania wewnętrznych wad materiałowych funkcjonującego w ramach systemu zapewnienia jakości „zero braków” w wielkoseryjnej produkcji pierścieni łożyskowych.

3. Badania metodą wizualną

Metoda wizualna jest obecnie jedyną formą kontroli jakości stosowaną w warunkach przemysłowych. W fabrykach łożysk tocznych wewnętrzne wady materiałowe elementów konstrukcyjnych są wykrywane na etapie wrywkowej kontroli wzrokowej prowadzonej po wstępnej lub wykańczającej obróbce skrawaniem (toczenie i szlifowanie). Ich wykrycie jest możliwe tylko w przypadku „ujawnienia” się fragmentu wady na powierzchni obrobionej i zaobserwowania zjawiska nieuzbrojonym okiem (rys. 4). Jest to proces niezwykle trudny do realizacji ze względu na występowanie na powierzchni łożyska znacznej ilości chłodziwa utrudniającego i zakłócającego skuteczną obserwację. W przypadku kontroli wzrokowej wada może być lokalizowana na podstawie wystąpienia smugi szlifierskiej na powierzchni szlifowanej. Smuga ułatwiająca lokalizację

defektu powstaje w wyniku szlifowania powierzchni, w której lokalnie występuje ubytek materiału z reguły wypełniony zanieczyszczeniami pochodzącymi z procesu hutniczego. Tarcza szlifierska rozciera zanieczyszczenia po powierzchni szlifowanej, tworząc pierścieniową smugę o odmiennej połyskliwości, świadczącą o obecności wady materiałowej.



Rys. 4. Widoczność wady materiałowej w inspekcji wzrokowej

Podstawowym ograniczeniem kontroli wzrokowej jest brak możliwości wykrycia wad wewnętrznych, których ślady nie są widoczne na powierzchni.

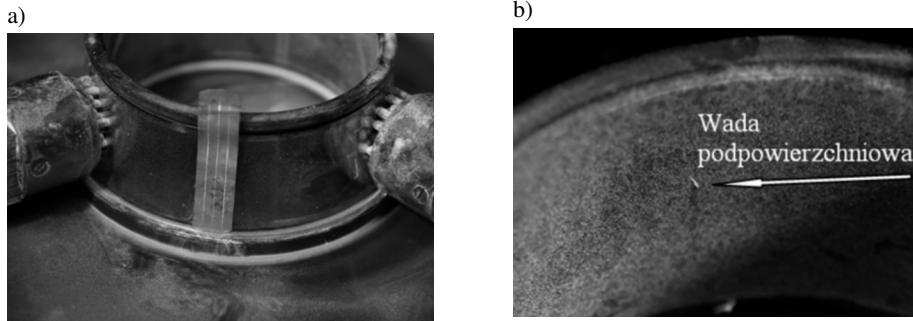
4. Badania metodą magnetyczną

Metody magnetyczno-proszkowe (M-P) oparte są na zjawisku rozprożeń pola magnetycznego w obszarze występowania nieciągłości materiałowych namagnesowanych przedmiotów wykonanych z materiałów ferromagnetycznych. Detekcja rozprożeń odbywa się w oparciu o tworzące się skupiska proszku ferromagnetycznego, którym pokrywana jest powierzchnia badanego przedmiotu. Można wyróżnić trzy zasadnicze fazy tworzące M-P metodę badań nieniszczących: magnesowanie, detekcję oraz demagnetyzację.

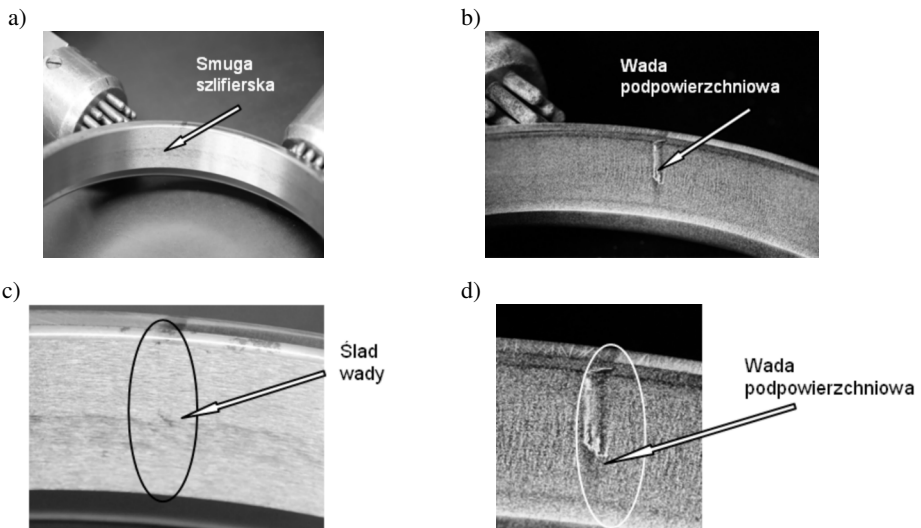
Magnesowanie prowadzi się w celu wytworzenia w badanym przedmiocie pola magnetycznego, które podlega rozproszeniu na ewentualnych nieciągłościach materiałowych – wadach. Równomierne pokrycie powierzchni (namagnesowanego przedmiotu) proszkiem materiału magnetycznie miękkiego (ferromagnetycznym) powoduje, iż w przypadku rozprożeń pola magnetycznego powodowanych obecnością nieciągłości materiałowych gromadzony w miejscach rozprożeń pola proszek tworzy kontrastowy obraz (mapę) wad obecnych w badanym przedmiocie – detekcja wad. Rozmagnesowanie stanowi obowiązkową operację procesu nieniszczącego badania przedmiotów metodą M-P. Rozmagnesowywanie (demagnetyzacja) polega na umieszczeniu zbadanego metodą M-P przedmiotu w zmiennym malejącym do zera polu magnetycznym z zachowaniem pierwotnego kierunku magnesowania.

W przypadku metody magnetycznej manifestujący się obraz wady odpowiada w przybliżeniu jej rzeczywistemu przebiegowi, który można zaobserwować ludzkim okiem (bezpośrednio lub pośrednio, np. za pomocą lupy). Wykry-

wane są niewidoczne dla nieuzbrojonego oka nieciągłości w warstwie wierzchniej – powierzchniowe i podpowierzchniowe (szczeliny o szerokości od ok. 1 μm) w postaci: rys, pęknięć, zakuć, zawalcowań, rzadzisz, porowatości, wtrąceń niemetalicznych, pęcherzy gazowych, wżerów itp.



Rys. 5. Badania metodą magnetyczno-proszkową pierścienia wewnętrznego: a) układ badawczy, b) obraz wykrytej nieciągłości (zdjęcie wykonano przy oświetleniu ultrafioletowym)



Rys. 6. Badania metodą magnetyczno-proszkową pierścienia zewnętrznego: a) układ badawczy, b) obraz wykrytej nieciągłości, c) powiększony obszar występowania nieciągłości, d) powiększony obraz wykrytej nieciągłości (b, d – zdjęcie wykonano przy oświetleniu ultrafioletowym)

Badaniom za pomocą metody magnetycznej poddano pierścień wewnętrzny (rys. 5) i zewnętrzny (rys. 6) łożyska stożkowego, w których zastosowano następujące instrumentarium badawcze:

- wskaźnik paskowy Magnaflux typ A,

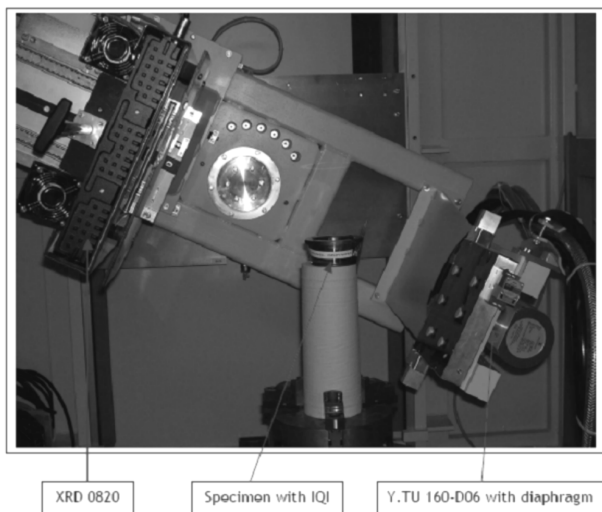
- luksomierz: EC1/52428,
- zawieszina magnetyczna 14HF Magnaflux,
- defektoskop jarzmowy: Magnaflux Y6, Parker 19109,
- oświetlacz UV Magnaflux ZR 100B,
- zmywacz SKC-S.

Przeprowadzone badania metodą magnetyczną ujawniły występowanie wad podpowierzchniowych niewidocznych gołym okiem. Możliwa jest także ocena rozmiaru wady i kształtu. Niemożliwa jest ocena głębokości zalegania.

5. Badania metodą rentgenowską

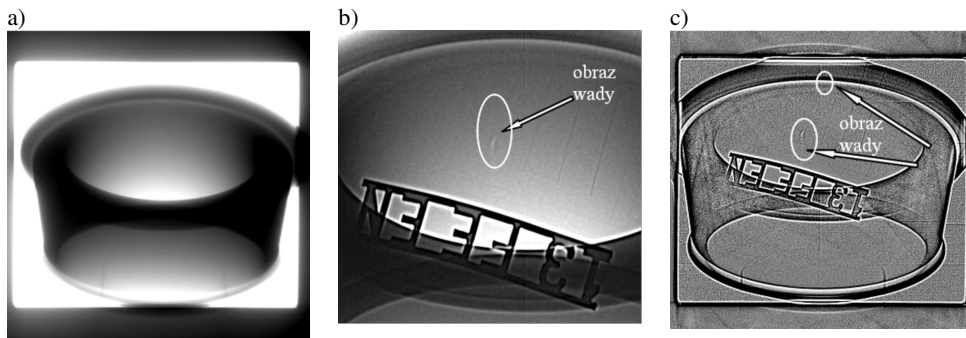
W metodzie radiograficznej wykorzystuje się zjawisko przenikania promieniowania jonizującego przez badany materiał. Osłabienie natężenia promieniowania zależy od grubości materiału, jego gęstości oraz występujących wad. Zmiany w natężeniu promieniowania można wykryć za pomocą tzw. detektorów promieniowania. Najczęściej stosuje się jako detektory błony rentgenowskie, które ciemnieją w stopniu zależnym od natężenia i energii padającego na nie promieniowania.

Do badania użyto defektoskopu rentgenowskiego MU 2000 firmy YXLON International GmbH z cyfrowym panelem detektora XRD 0820 i źródłem promieniowania chłodzonym wodą Y.TU 160-D06 (rys. 7).



Rys. 7. Defektoskop rentgenowski MU 2000 firmy YXLON International GmbH

W wyniku badania zostały wyraźnie wykryte 2 defekty o max wymiarze poprzecznym $X = 0,125$ mm i $Y = 0,1$ mm. Na rysunku 8 wyraźnie widoczny jest defekt X.



Rys. 8. Radiogramy: a) obraz rentgenowski, b) obraz rentgenowski po wstępnej filtracji, c) obraz rentgenowski po binaryzacji

W przypadku stosowania wirującej głowicy lub obracania badanego obiektu możliwa jest również ocena głębokości zalegania uszkodzeń. Badania metodą radiograficzną potwierdziły obecność defektu wykrytego w pierścieniu badanym metodą magnetyczno-proszkową. Ponadto wykryto mały defekt niewidoczny w badaniach magnetycznych. Powodem rozbieżności mogą być rozmiary defektu Y lub znaczna głębokość zalegania zmniejszająca skuteczność metody magnetyczno-proszkowej.

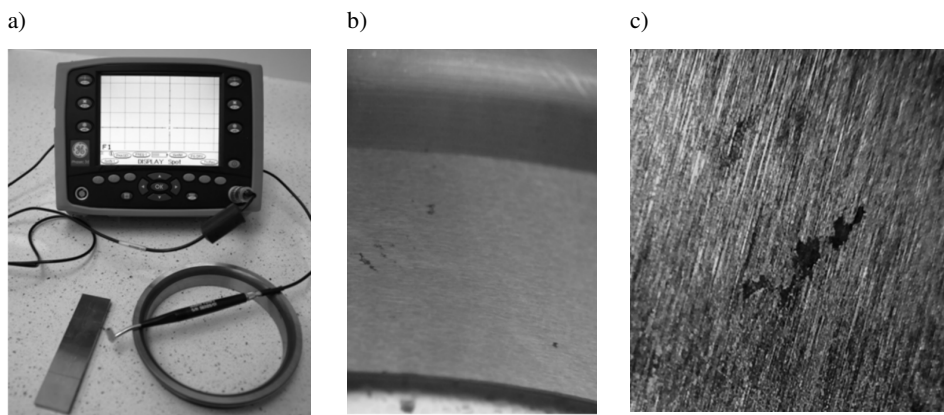
Z uwagi na to, że badania radiograficzne są uważane za podstawową metodę badań nieniszczących o największej wiarygodności badania porównawcze z zastosowaniem metod rentgenowskich mogą stanowić weryfikację wyników kontroli na linii produkcyjnej.

6. Badania metodą prądów wirowych

Badania nieniszczące za pomocą metody prądów wirowych przeprowadza się na materiałach wykazujących przewodnictwo elektryczne. Nieciągłości materiałowe (np. pęknięcia) powodują zmianę rozkładu pola prądów wirowych wskutek lokalnej zmiany przede wszystkim przewodności elektrycznej oraz w przypadku obiektów ferromagnetycznych – przenikalności magnetycznej. Zmiany wartości prądów wirowych oddziałują na pierwotne pole magnetyczne cewki. Otrzymywane z cewki (przetwornika, sondy) sygnały są analizowane w aparacie wiroprowym i informują o zmianach własności badanego obiektu. Rozpływ prądów wirowych zależy od mikrostrukturalnych i makrostrukturalnych własności materiału, a więc od rodzaju struktury metalograficznej, wytrzymałości, twardości, występowania wtrąceń, segregacji, pęknięć i innych wad

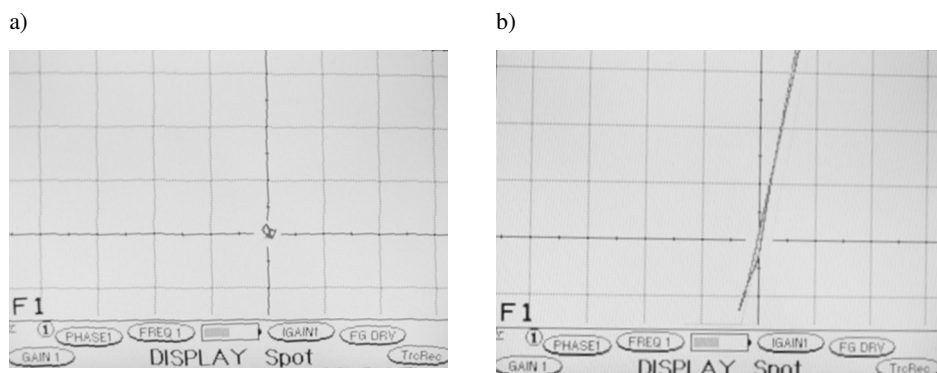
materiałowych. Metoda prądów wirowych przeznaczona jest do ujawniania powierzchniowych i podpowierzchniowych wad głównie w postaci pęknięć (eksploatacyjnych i produkcyjnych) i wtrąceń na obiektach o prostym i złożonym kształcie, wykonanych z materiałów o przewodności elektrycznej $0,1 \div 60$ S/m.

Do badania pierścieni łożysk tocznych użyto defektoskopu Phasec 3d 401013 S/N 325804/34 z systemem cewek 313P24 500kHz Fe/NFe S/N 583128/01 oraz wzorcem kontrolnym 29A028 S/N 324539/36 produkcji GE Inspection Technologies (rys. 9). Aparat umożliwia w oparciu o odpowiednie wzorce inspekcję pęknięć i nieciągłości, inspekcję spoin, inspekcję stopnia korozji, inspekcję połączeń nitowych, a także pomiary konduktywności.



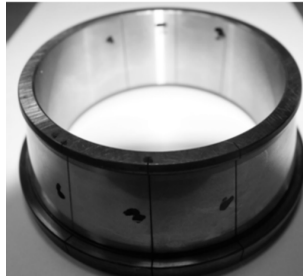
Rys. 9. Badania bieżni łożyska metodą prądów wirowych: a) stanowisko badawcze, b) ujawniona wada o głębokości 0,1 mm, c) ujawniona wada w powiększeniu

Przeprowadzone badania pierścienia łożyskowego umożliwiają detekcję wad w strukturze powierzchniowej i podpowierzchniowej (rys. 10).



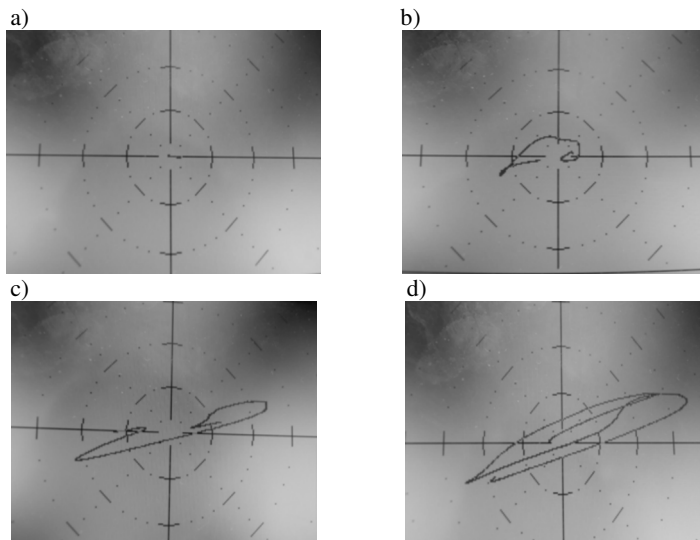
Rys. 10. Wyniki badań metodą prądów wirowych: a) brak wady b) wskazanie wady

Ze względu na to, że aparaty wiroprowadowe dają wskazania względne – stosuje się układy odniesienia do nastawienia optymalnych warunków badania i upewnienia się co do uzyskiwanej czułości wykrywania wad – wzorce specjalne (porównawcze). Wzorce te są wykonane z tego samego materiału i są tego samego kształtu jak badany element (rys. 11). Zawierają one naturalne bądź sztuczne wady (otwory, rowki, karby) wykonane odpowiednio względem powierzchni badanych.



Rys. 11. Próbką testowa z wygenerowanymi na powierzchni pierścienia łożyskowych wadami wzorcowymi w postaci nacięć o głębokości: 0,2 mm, 0,5 mm, 1,0 mm

Porównanie wartości sygnału mierzonego z sygnałem wzorcowym (rys. 12) umożliwia określenie rozmiaru wady i głębokości zalegania defektu struktury materiałowej.



Rys. 12. Sygnały generowane przez wady w zależności od ich głębokości: a) sygnał dla miejsca bez wady, b) sygnał wady o głębokości 0,2 mm, c) sygnał wady o głębokości 0,5 mm, d) sygnał wady o głębokości 1 mm

Defektoskopia wiroprowodowa jest coraz częściej stosowana w systemach kontroli procesów wytwarzania, w kompleksowych systemach monitorowania na liniach produkcyjnych czy w trakcie eksploatacji. Kontrola jakości obiektów z wykorzystaniem metod indukcyjnych jest wdrażana na wielu etapach produkcji kęsów, prętów, rur, drutów, obiektów o różnorodnych kształtach, otrzymanych w wyniku walcowania, spawania, zgrzewania, prasowania i kształtowania. Celem tych badań jest wykrywanie wad materiałowych, przede wszystkim pęknięć, określanie własności materiałów i obiektów jak identyczność składu, twardość, wykrywanie defektów geometrycznych.

Wnioski

Detekcja wewnętrznych wad materiałowych w systemie „zero braków” może być realizowana jedynie z zastosowaniem wysokowydajnych metod niszczących.

Różnorodność asortymentu łożysk tocznych, szeroki zakres występujących parametrów geometrycznych, skomplikowane, zautomatyzowane systemy seryjnej produkcji elementów składowych są czynnikami utrudniającymi budowę uniwersalnego systemu do wykrywania wad wewnętrznych w pierścieniach wszystkich typów i rodzajów łożysk tocznych.

Dobór odpowiednich parametrów wybranej metody badań do konkretnego zastosowania uwarunkowany jest wieloma czynnikami – kształtem i geometrią wyrobu, materiałem, z którego jest wykonywany, rodzajem zastosowanej obróbki cieplnej, rodzajem spodziewanych nieciągłości, orientacją i położeniem defektów (wady wewnętrzne, powierzchniowe, podpowierzchniowe), rozmiarem wad (np. minimalnej wykrywanej, minimalnej dopuszczalnej). System badawczy musi być dopasowany do kształtu elementu, jego wymiarów i problematyki badania.

W badaniach automatycznych, w przeciwieństwie do ręcznych, nie ma możliwości wypowiedzi co do rodzaju wady, dopóki nie ma danych z wady porównawczej. Nie można też przedstawić jednej, klasycznej budowy bloku badawczego.

Metoda magnetyczno-proszkowa pozwala na wykrycie wad powierzchniowych materiału bez jego uszkodzenia, jednak gdy wady znajdują się głębiej, jest nieskuteczna. Nie nadaje się ona do automatyzacji ze względu na konieczność stosowania specjalnych preparatów i wzrokowej obserwacji obiektów w świetle ultrafioletowym.

Podstawowym utrudnieniem metody radiograficznej jest jej ograniczenie związane z występującym promieniowaniem jonizacyjnym i wymaganiami ochrony personelu przed oddziaływaniem promieniowania. Jest to podstawowy czynnik wpływający pośrednio na wzrost kosztów badań radiograficznych. Poza tym aparatura stosowana w tego typu badaniach musi spełniać szereg

specjalnych wymogów, co wymaga kosztownych zabiegów technicznych (specjalnych komór, mechanizmów pozycjonujących oraz robotów). Z tego też powodu z punktu widzenia zastosowań przemysłowych metoda staje się mało atrakcyjna.

Do automatyzacji badania w szczególny sposób nadają się nieniszczące metody elektromagnetyczne (magneto-indukcyjne). Granica stosowania metody zależy od głębokości wnikania prądów wirowych. Stosunek sygnału użytkowego, pochodzącego od wady, w stosunku do zakłóceń stanowi najistotniejszy czynnik decydujący o skuteczności detekcji. Jest on określany doświadczalnie dla danego wyrobu. W przypadku doboru układu badawczego należy uwzględnić następujące aspekty:

- rodzaje cewek badawczych i ich układ geometryczny
- częstotliwość badania,
- czułość badania,
- prędkość liniową badania,
- warunki środowiskowe,
- stopień automatyzacji i wydajność procesu inspekcji.

Metoda prądów wirowych umożliwia prowadzenie badań w warunkach kontroli 100% na linii produkcyjnej.

Uzupełnieniem metody w systemie kontroli jakości powinny być badania magnetyczno-proszkowe umożliwiające weryfikację wiropądowych badań międzyoperacyjnych prowadzonych na linii produkcyjnej. Badania magnetyczne umożliwiają precyzyjną lokalizację wady, określenie jej rozmiarów i wskazanie pozycji przekroju porzecznego wykonywanego dla badań niszczących.

Bibliografia

1. Szala J., Boroński D.: Ocena stanu zmęczenia materiału w diagnostyce maszyn i urządzeń. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Bydgoszcz 2008.
2. Kocańda S., Szala J.: Podstawy obliczeń zmęczeniowych. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 1997.
3. Hirani H.: Failure of Rolling Bearings: An Overview.
<http://www.bearingsindustry.com/Bearing%20Failures-An%20Overview.PDF>.
4. SKF: Bearing failures and their causes.
http://www.kamandirect.com/resources/2010/downloads/skf_bearing_failur_eandcauses.pdf.
5. Koyo: Ball & Roller Bearings: Failures, Causes and Countermeasures.
<http://www.koyousa.com/brochures/pdfs/catb3001e.pdf>.

6. Zbrowski A., Giesko T.: Automatyizacja kontroli jakoŝci wyrobów w linii technologicznej wytwarzania wałeczków łożysk tocznych. *Technologia i Automatyizacja Montażu* 2008 nr 2, s. 36–40.
7. Giesko T., Mazurkiewicz A., Zbrowski A.: Advanced mechatronic system for in-line automated optical inspection of metal parts. 2nd International Conference on Control Instrumentation And Mechatronic Engineering CIM 2009, Melaka, Malaysia 2–3 June 2009, [139] pp. 39.
8. Zbrowski A., Rogoŝ E.: Stan wiedzy w obszarze technologii bezpieczeŝstwa technicznego i ŝrodowiskowego. Rozdział w monografii: *Techniczne Wspomaganie Zrównoważonego Rozwoju. Kierunki Badawcze i Aplikacyjne*. Redakcja A. Mazurkiewicz. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Radom 2011, s. 273–334.
9. Zbrowski A.: Contemporary methods and research apparatus for the support of technical safety systems. Rozdział w monografii: *Innovative Technological Solutions for Sustainable Development*. Editor A. Mazurkiewicz. Institute for Sustainable Technologies – National Research Institute Press. Radom 2010, pp. 267–295.
10. Lewińska-Romicka A.: *Badania nieniszczące Podstawy defektoskopii*. WNT, Warszawa 2001.
11. Grendahl S., Locum R.: Failure Analysis of a Cracked CH-47 Swashplate Rotating Ring, S/N BCW-1379. Army Research Laboratory, June 2006. <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA455914>.
12. Augustyniak B.: *Nieniszczące metody badań materiałów*. <http://www.mif.pg.gda.pl/homepages/bolek/MBN/MBM-1.pdf>.

Recenzent:
Wojciech BATKO

Identification of internal defects in roller bearing rings

Key words

Roller bearings, quality control, eddy currents, magnetic methods, X-ray methods.

Summary

The article presents problems related to the occurrence of structural defects in roller bearing rings and shows the examples of the identified material defects.

With the use of selected defectoscopy methods, comparison tests have been conducted in order for the proper method to be selected for the application in an online multi-series quality control of bearing rings in a production line environment. The tests have been carried out with the use of the visual, magnetic, eddy current, and X-ray methods. On the basis of the obtained results, the eddy current method has been chosen as an optimal system solution for the automatic inspection of internal structural defects in roller bearing rings. The aim of the tests was to formulate the idea and the principle of the operation of such a system.

