

Piotr CZAJKA, Piotr GARBACZ

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom

METODA OPTYCZNEJ INSPEKCJI W PROCESIE MONTAŻU ŁOŻYSK TOCZNYCH

Słowa kluczowe

Optyczna inspekcja, analiza obrazów, detekcja wad, łożyska toczne.

Streszczenie

W artykule zaprezentowano opracowaną metodę optycznej inspekcji poprawności montażu łożysk tocznych. W celu weryfikacji metody zostało wykonane eksperymentalne stanowisko badawcze. Do kontroli wizyjnej został zastosowany modułowy sterownik wizyjny z monochromatyczną kamerą CCD i oświetlaczem pierścieniowym. Opracowano algorytm detekcji wad, który został zaimplementowany w oprogramowaniu systemu. Zaprezentowano działanie algorytmu z podziałem na poszczególne etapy procesu inspekcji. Opisano zastosowane funkcje z zakresu przetwarzania i analizy obrazów. Przeanalizowano zachowanie algorytmu inspekcji w sytuacjach nietypowych, które mogą wystąpić w warunkach przemysłowych. Zaprezentowano przykłady inspekcji łożysk z wykorzystaniem opracowanej metody. Przedstawiono wyniki prób systemu kontroli wizyjnej w warunkach eksploatacyjnych na przemysłowej linii montażu łożysk tocznych.

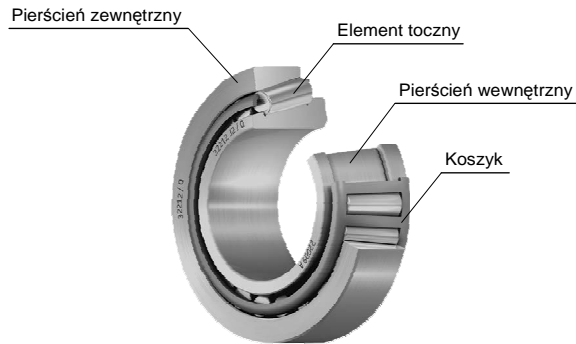
Wprowadzenie

Łożyska toczne są częściami składowymi wielu maszyn i urządzeń, w których często stanowią element krytyczny [1–4]. Z tego względu zapewnie-

nie efektywnej kontroli jakości łożysk na etapie ich montażu jest bardzo ważnym zagadnieniem. Zgodnie z aktualnymi trendami wdrażane są obecnie rozwiązania umożliwiające kontrolę wszystkich produkowanych wyrobów w celu osiągnięcia poziomu „zero braków” (ang. zero defects). Podkreśla się również korzyści wynikające ze stosowania międzyoperacyjnej kontroli (ang. in-line) na kolejnych etapach wytwarzania w porównaniu z kontrolą końcową (ang. off-line). Dzięki temu uzyskuje się większą efektywność kontroli jakości i redukcję kosztów produktów wadliwych [1, 5, 6]. Zastosowanie zautomatyzowanych systemów optycznej inspekcji w procesach produkcji umożliwia podniesienie jakości wyrobów oraz zwiększenie wydajności poprzez wyeliminowanie czynnika ludzkiego związanego z brakiem powtarzalności, zmęczeniem i mniejszą sprawnością [2]. Systemy kontroli jakości bazujące na automatycznej optycznej inspekcji (ang. automated optical inspection) wyposażone są w kamerę lub układ kamer oraz wyspecjalizowane oprogramowanie do przetwarzania i analizy obrazów. Oprogramowanie to umożliwia wydzielenie, istotnej z punktu widzenia kontroli jakości, informacji zawartej w obrazie i na tej podstawie przeprowadzenie selekcji jakościowej wyrobów [2, 3, 7, 8]. W okresie ostatnich kilkunastu lat obserwuje się dynamiczny rozwój systemów optycznej inspekcji. Jest to efektem z jednej strony szybkiego postępu technologicznego w dziedzinie przetwarzania i analizy obrazów, z drugiej zaś ciągle taniejących komponentów wchodzących w skład tego typu systemów oraz poprawiających się ich parametrów technicznych [3]. Dokonując systematyzacji systemów wizyjnych można wyróżnić trzy grupy: sensory wizyjne, kompaktowe systemy wizyjne oraz systemy wizyjne bazujące na platformie PC [4, 9]. Poszczególne grupy są zróżnicowane pod względem funkcjonalności, parametrów technicznych, cen, możliwości aplikacyjnych. Przedmiotem artykułu jest metoda optycznej inspekcji łożysk tocznych, która została zaimplementowana w modułowym systemie wizyjnym. Systemy zintegrowane i dedykowane do określonych obszarów zastosowań zyskują znaczną popularność dzięki połączeniu dużych możliwości programistycznych z łatwością konfiguracji, przy jednoczesnym zachowaniu małych wymiarów, szybkości działania i odporności na warunki przemysłowe [4, 12].

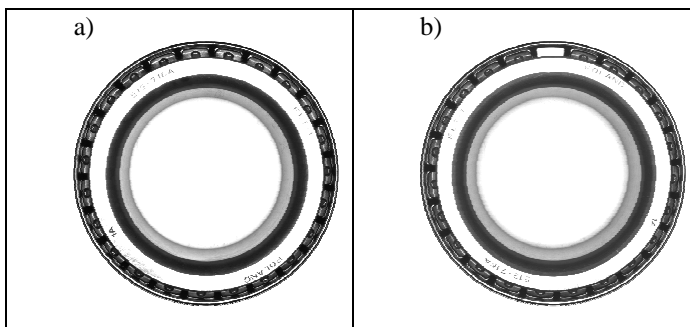
1. Wady montażu łożysk tocznych

Jednym z kluczowych czynników, które decydują o jakości i bezawaryjnym działaniu łożysk tocznych jest poprawność montażu jego elementów [1]. W prezentowanej metodzie przedmiotem analizy są łożyska toczne stożkowe przeznaczone do zastosowań w przemyśle motoryzacyjnym (rys. 1).



Rys. 1. Ogólna budowa łożyska tocznego stożkowego

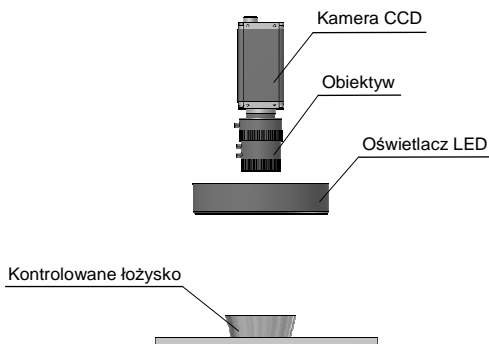
Cechą charakterystyczną tych łożysk jest możliwość przenoszenia dużych obciążeń. Podczas procesu montażu łożysk mogą wystąpić różne wady, w tym polegające na niekompletnym obsadzeniu elementów tocznych w koszyku łożyska. Jest to defekt całkowicie dyskwalifikujący łożysko. Wada ta występuje w produkcji niezwykle rzadko, jednak z punktu widzenia bezpieczeństwa eksploatacji maszyn i urządzeń, w szczególności w przemyśle motoryzacyjnym, jest niezwykle groźna. Dodatkowo dla producenta istotny jest również aspekt ekonomiczny. Warunkiem uzyskania kontraktów na dostawy łożysk jest, coraz częściej, wdrożenie zautomatyzowanych systemów kontroli jakości w produkcji [1]. Zastosowana metoda optycznej inspekcji ma na celu sprawdzenie kompletności złożeń wewnętrznych łożysk stożkowych i ich selekcję jakościową. Przykładowe obrazy łożysk, wykonanego poprawnie oraz wadliwego, zostały przedstawione na rys. 2.



Rys. 2. Przykładowe obrazy kontrolowanych łożysk: a) łożysko wykonane poprawnie, b) łożysko wadliwe z niekompletnym zestawem wałeczków

2. Metoda inspekcji

Do kontroli jakości montażu łożysk wykorzystano monochromatyczną kamerę matrycową z sensorem CCD, która umieszczona została prostopadłe do czoła łożyska (rys. 3). Jednym z kluczowych czynników wpływającym na jakość rejestrowanych obrazów w systemach maszynowego widzenia jest sposób oświetlenia [2, 3, 10, 11]. W zaproponowanej metodzie zastosowano pierścieniowy oświetlacz z diodami LED, umieszczony w osi optycznej kamery poniżej obiektu.



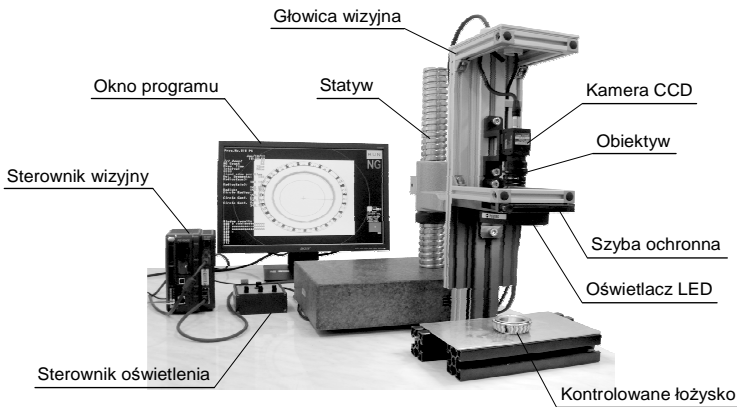
Rys. 3. Koncepcja metody optycznej inspekcji

Na podstawie wstępnych eksperymentów zdecydowano, że inspekcja łożyska od strony czoła o większej średnicy będzie korzystniejsza (rys. 2). W takich warunkach uzyskuje się większe pole obserwacji wałeczków umieszczonych w koszyku. Poprzez odpowiednie położenie oświetlacza względem kontrolowanych obiektów uwydatniane jest ścięcie wewnętrznej krawędzi łożyska. Dla takiego położenia widoczne są również charakterystyczne ciemne zagłębienia w czołach wałeczków łożyskowych, która to cecha wykorzystywana jest w procesie optycznej inspekcji. W celu zapewnienia wyraźnego konturowania łożyska zastosowano jasne tło za obiektem analizy [2, 3]. W systemie przemysłowym jest to taśma podajnika transportującego łożyska wykonana z tworzywa w kolorze białym.

3. Stanowisko badawcze

W celu weryfikacji opracowanej metody do kontroli kompletności łożysk stożkowych wykonano eksperymentalne stanowisko badawcze (rys. 4). Nad kontrolowanym wyrobem, na statywie, została zamocowana głowica wizyjna, której konstrukcja nośna jest wykonana z profili aluminiowych. Do centralnego profilu, za pomocą wsporników, mocowana jest kamera CCD z obiektywem,

oświetlacz pierścieniowy LED oraz szyba ochronna. Kamera i oświetlacz umieszczone są na osobnych wspornikach, dzięki czemu jest możliwa regulacja ich wzajemnego położenia. W celu zabezpieczenia kamery i obiektywu przed zanieczyszczeniami występującymi w docelowym środowisku pracy systemu, zostało zastosowane okno z szybą ochronną. Dodatkowo głowica wizyjna wyposażona jest w osłonę chroniącą elementy wewnętrzne przed zanieczyszczeniami i uszkodzeniami mechanicznymi. Zastosowana monochromatyczna kamera CCD współpracuje z kompaktowym sterownikiem wizyjnym firmy Keyence [12]. Do sterownika podłączony jest monitor umożliwiający obserwację procesu inspekcji. Oświetlacz LED jest zasilany z dedykowanego sterownika oświetlenia firmy Polytec. Sterownik ma możliwość płynnej regulacji prądu oświetlacza.



Rys. 4. Stanowisko eksperymentalne do weryfikacji metody inspekcji łożysk

Obrazy rejestrowane przez kamerę mają rozdzielczość 512x480 punktów i 256 odcieni szarości. Maksymalna średnica zewnętrzna kontrolowanych łożysk wynosi 58 mm. Poprawnie zmontowane łożysko składa się z 23 elementów tocznych umieszczonych w koszyku. Rozdzielczość pomiarowa układu wizyjnego wynosi około 0,15 mm, co jest wartością całkowicie wystarczającą do inspekcji kompletności łożysk.

4. Algorytm detekcji wad

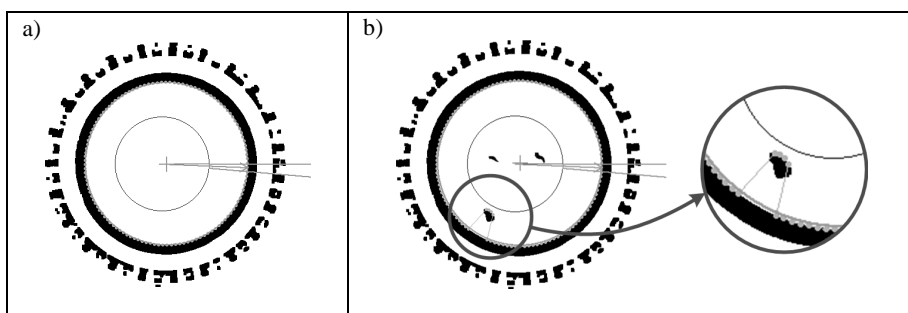
System wizyjny firmy Keyence wyposażony jest w bazę podstawowych funkcji z zakresu przetwarzania i analizy obrazów, które umożliwiają detekcję krawędzi obiektów, identyfikację regionów obrazu o odmiennej jasności oraz porównanie regionów z wzorcem. Do wstępnego przetwarzania obrazów wykorzystywane są funkcje obejmujące binaryzację, dylację, erozję oraz filtry linio-

we, m.in. uśredniające i medianowe [4, 7, 8, 12]. Opracowany algorytm inspekcji kompletności łożysk można podzielić na następujące etapy [4]:

- 1) detekcja pozycji łożyska i wyznaczenie współrzędnych jego środka,
- 2) identyfikacja obszarów pomiędzy elementami tocznymi i detekcja krawędzi,
- 3) wyznaczenie, na podstawie współrzędnych krawędzi, środkowego położenia kolejnych obszarów zainteresowań, w których potencjalnie znajdują się elementy toczne łożyska,
- 4) sprawdzenie obecności elementów tocznych w każdym z wyznaczonych obszarów zainteresowań,
- 5) wydanie decyzji o klasyfikacji łożyska na podstawie ocen cząstkowych.

5. Etap 1 – detekcja pozycji łożyska

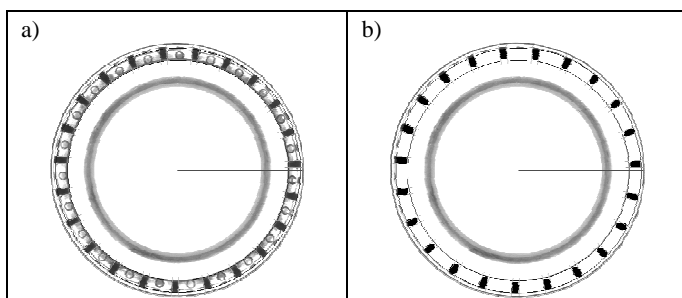
Ważnym elementem procesu optycznej inspekcji jest ustalenie obszarów zainteresowań (ang. region of interest – ROI). Są to fragmenty obrazu, które z punktu widzenia procesu inspekcji zawierają istotne informacje [2, 3, 8]. Z uwagi na możliwe przesunięcia pozycji łożyska pod głowicą wizyjną obszary te nie mogą być ustalone na stałe, lecz należy wykonać każdorazowo operację pozycjonowania łożyska dla kolejnych etapów procesu inspekcji. W tym celu wykrywany jest profil krawędzi okręgu wewnętrznego łożyska i określone są współrzędne jego środka. Następnie obliczane jest przesunięcie względem nominalnej pozycji łożyska, które wykorzystywane jest na kolejnych etapach procesu inspekcji [4]. W tym celu obraz został poddany filtracji za pomocą kolejnych operacji: binaryzacji, dylacji i erozji. Detekcja profilu okręgu odbywa się za pomocą 120 segmentów pomiarowych rozmieszczonych symetrycznie na okręgu. Dzięki temu minimalizuje się wpływ zanieczyszczeń, które mogą wystąpić w obszarze środkowym łożyska. Dodatkowo ustalono obszar poszukiwań okręgu wewnętrznego łożyska w postaci pierścienia, co eliminuje wpływ zanieczyszczeń zlokalizowanych poza obszarem poszukiwań (rys. 5).



Rys. 5. Obrazy łożysk po operacji filtracji i wyznaczeniu profilu okręgu wewnętrznego: a) obraz łożyska bez zanieczyszczeń, b) łożysko z zanieczyszczeniami w strefie środkowej obrazu (nieznaczne przesunięcie wyznaczonego okręgu)

6. Etap 2 – detekcja przestrzeni pomiędzy elementami tocznymi

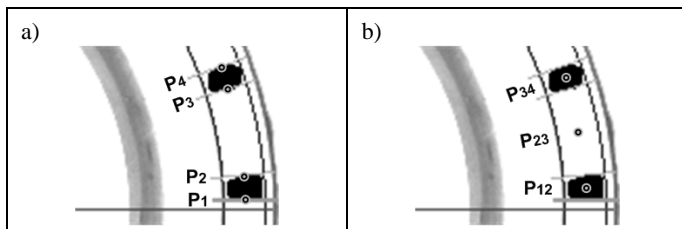
Poprzez zastosowanie niskiego progu binaryzacji uwydatniane są przerwy między elementami tocznymi łożyska [4] (rys. 6). Obszar zainteresowań został ustalony w postaci pierścienia obejmującego strefę pomiędzy pierścieniami, wewnętrznym i zewnętrznym łożyska. Jaśniejsze obszary elementów tocznych znajdują się powyżej progu binaryzacji i są niewidoczne. Obraz został poddany operacji przetwarzania za pomocą: filtracji medianowej, binaryzacji, dylacji i erozji. Następnie na obrazie wykrywane są wszystkie krawędzie znajdujące się w ROI. Poprawnie wykonane łożysko zawiera 23 elementy toczne oraz 23 przerwy (ciemne obszary). Ponieważ wykrywane są wszystkie krawędzie pomiędzy obszarami jasnymi i ciemnymi, przejść takich powinno być $2 \cdot n$, gdzie n jest liczbą elementów tocznych. Taki też został ustalony warunek poprawnego wykonania tego etapu inspekcji. Dodatkowo wyznaczane są współrzędne wykrytych krawędzi, które zostaną zastosowane na kolejnym etapie.



Rys. 6. Przykładowe obrazy łożysk po operacji detekcji krawędzi w ustalonym obszarze zainteresowań: a) obraz nieprzetworzony, b) obraz po filtracji

7. Etap 3 – wyznaczenie położenia obszarów zainteresowań

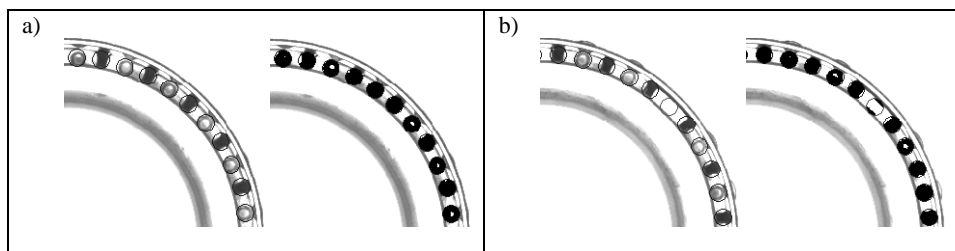
Na podstawie wyznaczonych współrzędnych krawędzi obliczane jest położenie środkowe obszarów zainteresowań, w których potencjalnie znajdują się elementy toczne [4] (rys. 7).



Rys. 7. Fragment łożyska z naniesionymi punktami charakterystycznymi: a) wyznaczone współrzędne krawędzi, b) obliczone współrzędne obszarów zainteresowań

8. Etap 4 – sprawdzenie obecności elementów tocznych

Obszary ROI zostały wyznaczone w postaci okręgów obejmujących wgłębienia znajdujące się na elementach tocznych (rys. 8). W każdym z wyznaczonych obszarów obliczana jest suma białych pikseli. Jeżeli ich liczba przekracza zadany próg, dany region wskazuje na brak elementu tocznego i rezultat inspekcji określany jest jako negatywny.



Rys. 8. Fragmenty obrazów łożysk po operacji pomiaru ilości pikseli dla ustalonych obszarów zainteresowań: a) łożysko wykonane poprawnie (obraz „surowy” i po filtracji), b) łożysko niekompletne

Dodatkowo sprawdzane są obszary zawierające przerwy pomiędzy elementami tocznymi. Również w tych obszarach obliczana jest suma białych pikseli. Obszary te są sprawdzane wraz z elementami tocznymi z uwagi na nieznaną początkową orientację łożyska. Zależnie od tego, jaka pierwsza krawędź zostanie wykryta, przejście z obszaru jasnego na ciemny czy odwrotnie, zmienia się położenie obszarów zainteresowań. Wyznaczając $2 \cdot n$ obszarów ROI, gdzie n jest liczbą elementów tocznych, nie jest istotne, którą pierwszą krawędź zidentyfikuje algorytm. Obraz został poddany operacji przetwarzania w postaci binaryzacji i erozji.

9. Etap 5 – wydanie decyzji o klasyfikacji łożyska

Na podstawie wyników cząstkowych z poszczególnych etapów procesu inspekcji wydawana jest całościowa decyzja o klasyfikacji łożyska. Pozytywna ocena wszystkich kroków w sekwencji procesu inspekcji oznacza poprawny montaż łożyska, natomiast jakkolwiek negatywna ocena świadczy o wadliwym wykonaniu. Decyzja ta przekazywana jest do układu sterowania celem wykonania selekcji jakościowej kontrolowanego wyrobu. Czas wykonywania algorytmu optycznej inspekcji przez zastosowany system wizyjny wynosi 85 ms.

10. Odporność na zakłócenia pomiarowe

Z punktu widzenia wysokiej niezawodności i skuteczności procesu kontroli jakości bardzo istotne jest zapewnienie dużej odporności metody optycznej inspekcji na mogące się pojawić zakłócenia rejestrowanych obrazów, wynikające w szczególności z trudnych warunków pracy systemu wizyjnego. Zidentyfikowano następujące przyczyny błędnych pomiarów:

- zanieczyszczenia na taśmie transportującej łożyska,
- zanieczyszczona szyba okna ochronnego,
- odwrotna pozycja łożyska pod głowicą wizyjną,
- złe pozycjonowanie łożyska pod głowicą wizyjną,
- zmiana warunków oświetlenia obszaru inspekcji.

W sytuacji, kiedy system wizyjny nie jest w stanie zidentyfikować poprawnego montażu łożysk powinien zaklasyfikować takie przypadki jako wyroby wadliwe lub ewentualnie dokonać ponownej kontroli.

Odporność algorytmu inspekcji na zanieczyszczenia obecne na taśmie transportera zależy od ich lokalizacji względem położenia łożyska. Wpływ zanieczyszczeń w obszarze środkowym łożyska jest minimalny z uwagi na zastosowany obszar ROI oraz dużą ilość punktów pomiarowych do detekcji profilu okręgu wewnętrznego (1 etap algorytmu).

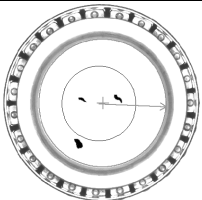
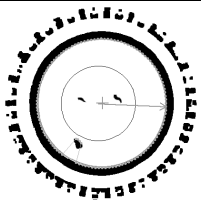
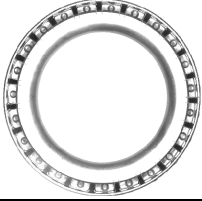
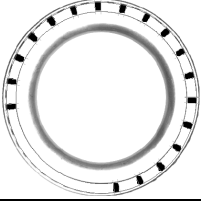
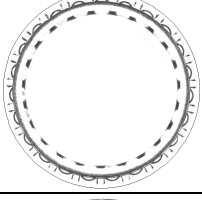
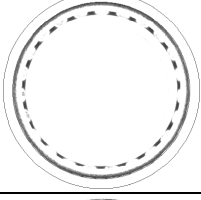
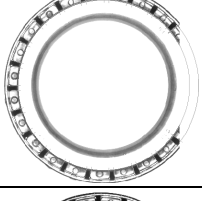
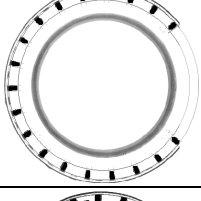
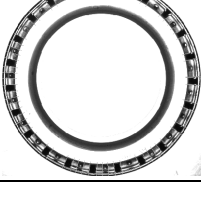
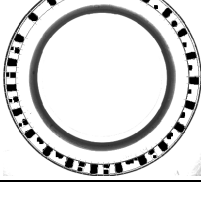
Zanieczyszczenia okna optycznego w postaci plam, zacieków itp. są widoczne na obrazie w postaci jaśniejszych obszarów. Powyżej pewnego poziomu zanieczyszczeń program optycznej inspekcji nie jest w stanie poprawnie zidentyfikować wszystkich charakterystycznych elementów obrazu łożyska. Najczęściej objawia się to brakiem detekcji wszystkich przerw pomiędzy elementami tocznymi (2 etap algorytmu), co powoduje negatywną ocenę kontrolowanego wyrobu.

Umieszczenie łożyska pod głowicą wizyjną w odwrotnej pozycji powoduje, iż w obszarze ROI niewykryte zostają przerwy pomiędzy elementami tocznymi (2 etap algorytmu), co w efekcie skutkuje odrzuceniem wyrobu.

W przypadku złego pozycjonowania łożyska pod głowicą wizyjną nie ma możliwości detekcji wszystkich charakterystycznych elementów na obrazie. Objawia się to na 2 etapie algorytmu poprzez niewykrycie wszystkich przerw pomiędzy wałkami, co jest równoznaczne z odrzuceniem takiego wyrobu.

Zmiana warunków oświetlenia obszaru inspekcji powoduje zmianę jasności obrazu i może wpływać na wszystkie etapy algorytmu inspekcji. Najczęściej objawia się to na 2 etapie algorytmu poprzez wykrycie niepoprawnej liczby krawędzi i tym samym klasyfikację takiego łożyska, jako wykonane wadliwie. Wpływ zmian natężenia światła zewnętrznego na proces inspekcji jest natomiast ograniczony poprzez zastosowanie osłony głowicy wizyjnej i wysoką wartość strumienia świetlnego zastosowanego oświetlacza.

Przykładowe obrazy łożysk dla zidentyfikowanych czynników zakłócających zaprezentowano na rys. 9. Dla wszystkich przedstawionych sytuacji, oprócz zanieczyszczenia na taśmie transportera, system wizyjny zaklasyfikował łożyska jako wykonane wadliwie. Ocena negatywna w tych przypadkach (czynniki zakłócające nr 2÷5) została wydana na 2 etapie inspekcji, poprzez wykrycie niepoprawnej liczby krawędzi. Zanieczyszczenia obecne na obrazie (czynnik zakłócający nr 1) nie spowodowały błędnego wyznaczenia środka łożyska i co za tym idzie nie miały istotnego wpływu na wynik inspekcji.

Lp.	Rodzaj zakłócenia	Obraz nieprzetworzony	Obraz po filtracji
1	zanieczyszczenia na taśmie transportera ocena pozytywna		
2	zanieczyszczona szyba okna ochronnego ocena negatywna		
3	odwrotna pozycja łożyska pod głowicą wizyjną ocena negatywna		
4	zła pozycja łożyska pod głowicą wizyjną ocena negatywna		
5	zmiana warunków oświetlenia obszaru inspekcji ocena negatywna		

Rys. 9. Przykładowe wyniki inspekcji przy oddziaływaniu czynników zakłócających

11. Próby testowe systemu kontroli wizyjnej w warunkach eksploatacyjnych

Po etapie prac eksperymentalnych system wizyjny został zintegrowany z układem podawania, transportu i odbioru łożysk w ramach linii technologicznej. Przeprowadzono próby współpracy poszczególnych elementów systemu w zakresie komunikacji, sterowania i wydajności procesu inspekcji. Następnie wykonano końcową parametryzację ustawień sterownika wizyjnego w docelowym środowisku pracy. W ramach serii produkcyjnej liczącej ponad 1000 sztuk łożysk przeprowadzono testy polegające na umieszczeniu w potoku łożysk egzemplarzy wykonanych wadliwie. System inspekcji poprawnie wykrył i odrzucił serię wadliwych łożysk. Dla tej serii uzyskano wymagany poziom zero braków. Dodatkowo przeprowadzono próby odporności systemu na czynniki zakłócające pomiar i ustalono ich wartości progowe. Wyniki przeprowadzonych testów zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wyników prób systemu wizyjnego w warunkach eksploatacyjnych

Lp.	Rodzaj łożyska/rodzaj czynnika zakłócającego	Liczba łożysk	Ocena pozytywna	Ocena negatywna	Poziom detekcji
[-]	[-]	[szt.]	[szt.]	[szt.]	[%]
1	łożysko wykonane poprawnie	1000	1000	0	-
2	brak 1 lub więcej wałków w łożysku	50	0	50	100
3	łożysko poprawne + zanieczyszczenia na taśmie	20	20	0	-
4	brak wałka/wałków + zanieczyszczenia na taśmie	20	0	20	100
5	zanieczyszczona szyba ochronna ¹	40	0	40	100
6	odwrotna pozycja łożyska pod głowicą wizyjną ¹	20	0	20	100
7	zła pozycja łożyska pod głowicą wizyjną ¹	20	0	20	100
8	zmiana warunków oświetlenia (za jasno) ^{1,2}	20	0	20	100
9	zmiana warunków oświetlenia (za ciemno) ^{1,2}	20	0	20	100

¹ niezależnie od wykonania łożysk (poprawne/wadliwe),

² zmiana strumienia świetl. oświetlacza.

Po przekroczeniu wartości progowych czynnika zakłócającego (lp. 5–9 w tab. 1) system klasyfikuje wszystkie łożyska jako wadliwe z uwagi na brak możliwości wykonania poprawnego pomiaru. Takie zachowanie systemu zapewnia eliminację wszystkich elementów wadliwych pomimo zakłóceń pomiarowych.

Podsumowanie

Zaprezentowana metoda umożliwia kontrolę kompletności montażu łożysk z wykorzystaniem opracowanych algorytmów przetwarzania i analizy obrazów. Do detekcji wad montażu łożysk zastosowano algorytmy umożliwiające pozycjonowanie obiektów, identyfikację regionów o odmiennej jasności, detekcję krawędzi obiektów oraz zliczanie ilości wybranych pikseli w obszarze ROI. W trakcie badań zidentyfikowano potencjalne czynniki zakłócające działanie systemu wizyjnego i przeanalizowano ich wpływ na wyniki inspekcji. Badania przeprowadzone na stanowisku eksperymentalnym, a następnie w docelowych warunkach eksploatacyjnych, potwierdziły wysoką skuteczność zastosowanych algorytmów i metody inspekcji.

W skład struktury systemu wizyjnego wchodzi: dedykowany sterownik wizyjny z monochromatyczną kamerą CCD i oświetlaczem pierścieniowym LED. Dużym atutem takiego rozwiązania jest kompaktowa budowa systemu wizyjnego i przystosowanie do warunków panujących w przemyśle. Dodatkowo systemy tego typu mają duże możliwości przy jednoczesnej łatwej konfiguracji nie wymagającej umiejętności programowania.

Opracowany system kontroli wizyjnej został wdrożony w przemysłowej linii montażu łożysk tocznych. Duża elastyczność zastosowanego sterownika wizyjnego umożliwia w przyszłości dalszą rozbudowę katalogu wykrywanych wad (np. odwrotny montaż elementu tocznego, funkcja OCR) w zależności od wymagań producenta łożysk. Zaprezentowana metoda i wyniki badań mogą być wykorzystane podczas projektowania systemów do kontroli jakości w procesach montażu różnych wyrobów.

Praca naukowa wykonana w ramach realizacji Programu Strategicznego pn. „Innowacyjne systemy wspomagania technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki” w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka.

Bibliografia

1. Czajka P., Giesko T., Matecki K., Zbrowski A.: Metoda i system laserowej inspekcji montażu uszczelki w łożyskach tocznych. *Technologia i Automatyzacja Montażu*, Warszawa 2010, 2, s. 22–28.
2. Wójcicki T., Czajka P., Giesko T.: Automatyczna inspekcja montażu uszczelki łożysk tocznych z wykorzystaniem komputerowych metod przetwarzania i analizy obrazów. *Technologia i Automatyzacja Montażu*, Warszawa 2010, 3, s. 26–31.
3. Wójcicki T., Czajka P., Giesko T.: Automatyczna detekcja wad uszczelnień łożysk tocznych. *Problemy Eksploatacji*, Radom 2009, 2, s. 85–97.

4. Garbacz P., Giesko T.: Integrated vision systems versus custom solutions for quality inspection in industry. Materiały konferencyjne Inżynieria Produkcji, Wrocław 2011, s. 213–217.
5. Schmitt R., Moenning F.: Ensure Success with Inline-Metrology. XVIII IMEKO World Congress Metrology for a Sustainable Development, Brazil, Rio de Janeiro 2006.
6. Skupnjak D. Mijanović Markuš M.: In-line metrology increases quality. 13th International Research/Expert Conference „Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, Tunisia, Hammamet, 2009.
7. Tadeusiewicz R., Korohoda P.: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997.
8. Demant C., Steicher-Abel B., Waszkewitz P.: Industrial Image Processing. Visual Quality Control in Manufacturing. Springer, Berlin 1999.
9. Frost & Sullivan: Machine Vision and Vision Guided Robotics for Factory Automation, Market Research Report, 2009.
10. VanDommelen C. H.: Choose the right lighting for inspection. Test & Measurement World, 10/1/1996.
11. Giesko T.: Metody oświetlania w systemach maszynowego widzenia 3-D. Problemy Eksploatacji, Radom 2005, 1, s. 43–51.
12. CV-5000 Series User’s Manual, Keyence, <http://www.keyence.eu>.

Recenzent:
Jan BURCAN

The optical inspection method in the process of assembly of roller bearings

Key words

Optical inspection, image analysis, fault detection, roller bearing.

Summary

The article presents the optical inspection method for correct assembly of roller bearings. The experimental research stand was made for verification of the method. The modular vision controller with the monochromatic CCD camera and the ring lighting were used for optical inspection. The algorithm for detecting faults was developed and was implemented in the software of the vision system. The operation of the algorithm was presented for each of the individual stages of inspection process. The applied functions from the field of image processing and analysis were described. The functioning of the inspection

algorithm was analysed for untypical situations, which can occur in industry conditions. Examples of bearing inspections, with use of the developed method, were presented. Results of tests of the system for optical inspection were presented in working conditions on the industrial line for assembly of bearings.