

**Tomasz GIESKO, Andrzej ZBROWSKI**  
Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

## **STRUKTURA MECHATRONICZNEGO SYSTEMU OPTYCZNEJ INSPEKCJI WYROBÓW**

### **Słowa kluczowe**

System mechatroniczny, optyczna inspekcja, kontrola jakości.

### **Streszczenie**

Systemy optycznej inspekcji tworzą szczególną klasę systemów mechatronicznych, w których zrealizowano integrację modułów wizyjnych, mechanicznych i elektronicznych. Na przykładzie opracowanego systemu kontroli jakości elementów łożysk tocznych zaprezentowano strukturę systemu mechatronicznego. Zaprezentowane rozwiązanie umożliwia modyfikację systemu i zastosowanie do kontroli jakości wielu typów produkowanych wyrobów.

### **Wprowadzenie**

W nowoczesnych zautomatyzowanych systemach produkcyjnych coraz szerzej stosowane są optoelektroniczne metody monitorowania procesów, w tym systemy kontroli jakości na wybranych etapach wytwarzania wyrobów. Wyróżniającą cechą systemów optycznej inspekcji jest wykorzystanie metod komputerowej analizy obrazów rejestrowanych za pomocą kamer cyfrowych. Opracowanie i wdrożenie w warunkach przemysłowych systemu optycznej inspekcji wymaga odpowiedniej wiedzy z zakresu projektowania, budowy i eksploatacji systemów mechatronicznych. Szczególne wymagania stawiane takim urządzeniom przez przyszłych użytkowników w zakresie funkcjonalności, walorów eksploatacyjnych i możliwości adaptacji w istniejącym systemie eksploatacji, znacząco wpływają na rozwiązania ich struktury mechatronicznej.

W literaturze naukowej prezentowane są rozwiązania systemów mechatronicznych z zastosowanymi w nich urządzeniami optoelektronicznymi, jak np. kamery wizyjne, laserowe układy pomiarowe, układy oświetlające [1, 7]. Uznając zaawansowanie i wyróżniające cechy, obecnie wyróżnia się oddzielną klasę systemów automatycznej optycznej inspekcji (ang. automated optical inspection system – AOI). Ze względu na konkurencję rynkową, z reguły w dostępnych publikacjach nie są prezentowane szczegółowe rozwiązania systemów AOI, szczególnie w zakresie technik akwizycji obrazów i algorytmów ich przetwarzania. Studia analityczne skoncentrowane są na metodologii projektowania systemów mechatronicznych [2, 6].

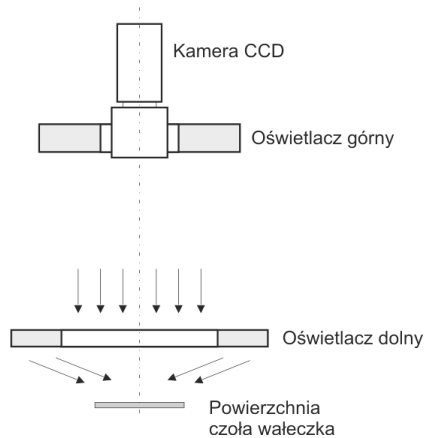
Wprowadzenie kontroli międzyoperacyjnej, przy jednoczesnym spełnieniu wymogu zapewnienia ciągłej pracy linii technologicznej, bez ograniczenia jej wydajności, wymaga zastosowania automatyzacji procesu kontroli. W artykule zaprezentowano rozwiązanie automatyzacji kontroli jakości w linii technologicznej wytwarzania wałeczków łożysk tocznych wdrożone u krajowego producenta łożysk tocznych. Kontrola odbywa się z wykorzystaniem zaawansowanej metody inspekcji optycznej, w której zastosowano komputerową analizę obrazów. W wyniku inspekcji wyroby poprawne są kierowane do dalszego etapu procesu technologicznego, natomiast wyroby wadliwe są odrzucane. Rozwiązanie jest efektem prac zrealizowanych wspólnie przez Instytut Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu i Politechnikę Wrocławską.

## 1. Metoda optycznej inspekcji w kontroli jakości

Systemy automatycznej optycznej inspekcji (AOI) powstały na bazie metod maszynowego widzenia z przeznaczeniem do identyfikacji, pomiarów i selekcji wyrobów w ramach procesu produkcyjnego. Ich podstawowe zalety to: bezkontaktowy pomiar i wykrywanie wad wyrobu z wykorzystaniem komputerowej analizy obrazu w zakresie widma szerszym od możliwości ludzkiego oka, wysoka powtarzalność i niezawodność procesu inspekcji, możliwość osiągnięcia dużej efektywności i wydajności kontroli [5].

Opracowany zaawansowany system optycznej inspekcji czół w linii technologicznej (ang. „in-line”) zastępuje dotychczasową kontrolę wzrokową, przy znaczącym rozszerzeniu zakresu kontrolowanych wad. System wizyjny składa się z kamery matrycowej CCD z obiektywem oraz z oświetlaczy pierścieniowych LED (rys. 1). Układ wizyjny posiada rozdzielczość pomiarową około 0,03 mm.

Komputerowa analiza zarejestrowanych obrazów z wykorzystaniem opracowanych algorytmów umożliwia wykrycie i identyfikację 30 wad czoła wałeczka w trakcie jednego cyklu. Są to m.in.: wady geometrii kształtu wyrobu, ubytki materiałowe, naddatki materiałowe, plamy na powierzchni, korozja, wady szlifowania, pęknięcia powierzchniowe. Struktura systemu oraz oprogramowanie umożliwiają pełną automatyzację procesu kontroli jakości i selekcji wyrobów w ramach linii technologicznej.



Rys. 1. Schemat poglądowy metody kontroli jakości czola wałeczka z wykorzystaniem optycznej inspekcji

Czas inspekcji pojedynczego wyrobu  $t_{OI}$ , realizowanej przez system przedstawia wyrażenie:

$$t_{OI} = t_d + \sum_1^m t_{ri} + t_a \quad (1)$$

gdzie:  $t_d$  – czas detekcji kontrolowanego wyrobu w strefie inspekcji,  
 $t_{ri}$  – czas akwizycji i rejestracji w pamięci komputera  $i$ -tego obrazu,  
 $t_a$  – łączny czas przetwarzania i analizy obrazów oraz oceny jakościowej kontrolowanego wyrobu.

Wydażność procesu inspekcji jest odwrotnością czasu  $t_{OI}$ . W przypadku realizacji zaawansowanej wieloparametrycznej kontroli jakości wyrobów „in-line”, łączny czas inspekcji może być na tyle duży, że spowoduje to zmniejszenie wydajności procesu produkcji. Coraz bardziej zaawansowane procesory oraz rozwiązania sprzętowe z wieloma procesorami umożliwiają skracanie czasów przetwarzania danych w komputerze i osiąganie wyższych wydajności.

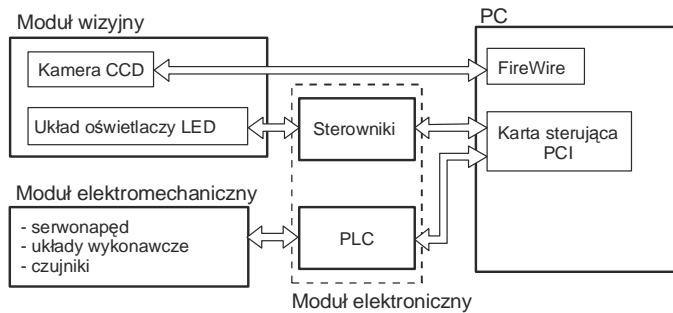
Integracja systemu w linii technologicznej wymagała opracowania rozwiązań modułów mechatronicznych realizujący podawanie wałeczków do modułu wizyjnego oraz ich odbiór i sortowanie. Podstawowe problemy w osiągnięciu pełnej automatyzacji dotyczyły zapewnienia wymaganej wydajności linii i płynności procesu wytwarzania, komunikacji poszczególnych modułów oraz ograniczenia do minimum bieżącego nadzoru.

## 2. Struktura systemu

Na etapie badań eksperymentalnych i opracowania modelowej wersji systemu uwzględniono następujące zagadnienia, decydujące o walorach rozwiązania i powodzeniu przedsięwzięcia [3, 4]:

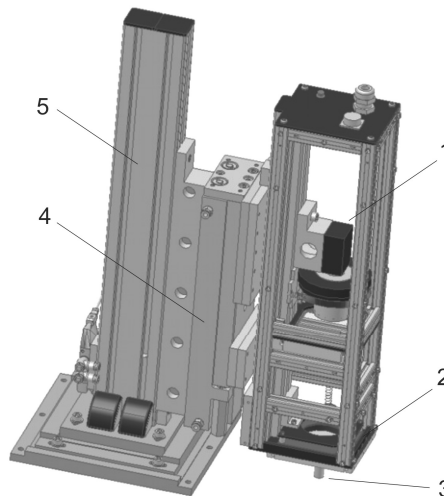
- osiągnięcie zaplanowanego poziomu systemu w zakresie wykrywania wad,
- modularyzacja struktury [1, 2],
- możliwość wprowadzania modyfikacji,
- integracja systemu kontroli jakości w linii produkcyjnej,
- utrzymanie wymaganej wydajności linii produkcyjnej,
- zapewnienie wymaganej funkcjonalności w zakresie obsługi,
- minimalizacja czasów ustawiania i obsługi serwisowej.

W skład struktury systemu (rys. 2) wchodzi: moduł wizyjny realizujący rejestrację obrazów, moduł elektromechaniczny obejmujący podajnik i selektor kontrolowanych wyrobów oraz komputer i moduł sterowników.



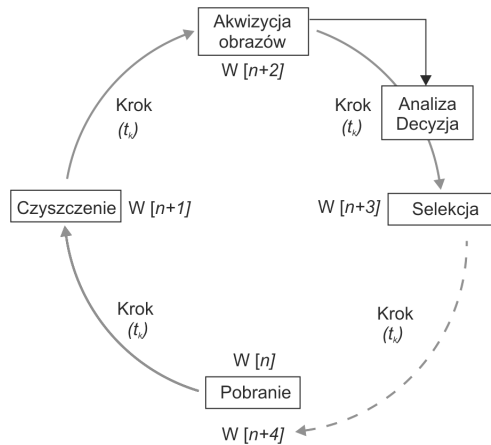
Rys. 2. Struktura systemu optycznej inspekcji

Moduł wizyjny (rys. 3) charakteryzuje się konstrukcją umożliwiającą jej rekonfigurację i dostosowanie do potrzeb optycznej inspekcji wałeczków o różnych wymiarach.



Rys. 3. Model 3D modułu wizyjnego: 1 – kamera z obiektywem, 2 – oświetlacz LED, 3 – strefa inspekcji czoła wałeczka, 4 – pneumatyczny napęd liniowy, 5 – kolumna nośna

Praca modułu wizyjnego jest ściśle skoordynowana z modułem podawania wyrobów do strefy inspekcji i modułem selekcji wyrobów. Proces obejmuje kolejne fazy: pobranie wałeczka z przewodu transportowego dostarczającego kolejno wałeczki ze szlifierki, oczyszczenie czoła wałeczka z nagromadzonych zanieczyszczeń, akwizycję obrazów czoła w strefie inspekcji i selekcję na podstawie decyzji systemu (rys. 4). W celu minimalizacji czasu procesu zastosowano rozwiązanie synchronicznego wykonywania zadań dla kolejnych wałeczków  $\{n, n+1, n+2, \dots\}$ . Organizacja systemu w warstwie sprzętowej i programowej umożliwiła skrócenie czasu pomiędzy podaniem wałeczka do strefy inspekcji a skierowaniem go do selektora. Moduł podawania nie oczekuje na zakończenie procesu inspekcji i przemieszcza wałeczek do selektora. Proces obejmujący przetwarzanie i analizy zarejestrowanych obrazów, identyfikację wad i wypracowanie decyzji o zaklasyfikowaniu wałeczka do grupy jakościowej trwa w trakcie ruchu wałeczka.



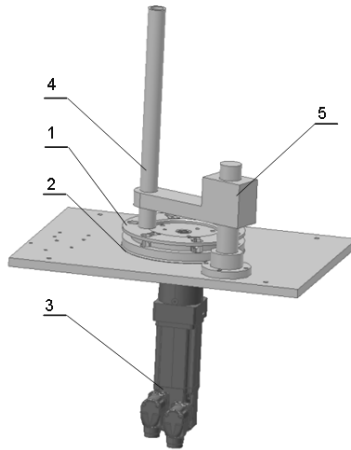
Rys. 4. Diagram procesu kontroli jakości wałeczków

O wydajności wielozadaniowego procesu kontroli jakości decyduje czas najwolniej realizowanego zadania. Zgodnie z tą zasadą wymagany czas minimalny fazy procesu przedstawia zależność:

$$t_{\min} = t_k + \max\{t_p; t_c; t'_{OI}; t_s\} \quad (2)$$

gdzie:  $t_p$  – czas pobrania wałeczka z przewodu transportującego,  
 $t_c$  – czas oczyszczenia czoła wałeczka,  
 $t'_{OI}$  – czas akwizycji obrazów,  
 $t_k$  – czas przemieszczenia wałeczka do kolejnej pozycji na podajniku.

Proces obejmujący wymienione kolejne fazy jest realizowany w układzie transportera obrotowego. Moduł podawania zapewnia przemieszczanie kolejnych wałeczków z ustalonym krokiem i stałą częstotliwością (rys. 5). Głównym elementem modułu podawania wałeczków jest podajnik rewolwerowy napędzany za pomocą serwonapędu. W tarczy podajnika znajdują się gniazda, w których umieszczane są wałeczki, dostarczane kolejno z linii szlifierek za pomocą przewodu transportowego.



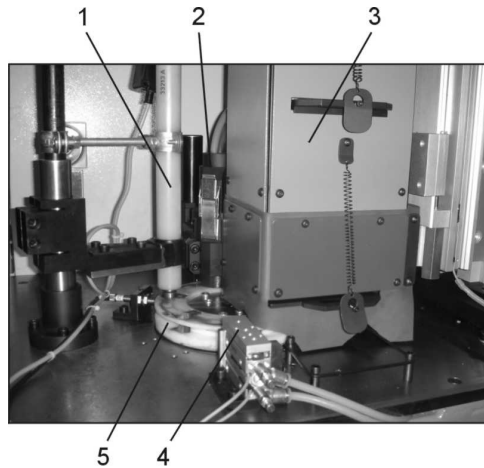
Rys. 5. Model 3D modułu podawania: 1 – tarcza podajnika, 2 – pierścień ślizgowy, 3 – serwonapęd, 4 – przewód transportowy, 5 – statyw

Moduł selekcji realizuje zadanie kierowania wyrobu poddanego inspekcji do właściwej grupy jakościowej. Selekcja jest realizowana za pomocą pneumatycznego układu wykonawczego.

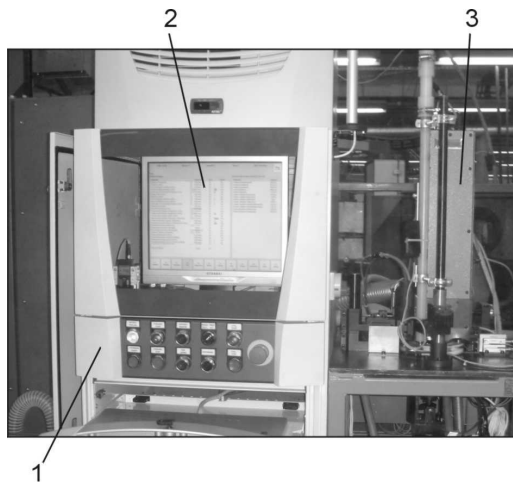
Przed skierowaniem wałeczka do strefy inspekcji jest on poddawany zabiegowi oczyszczenia czoła z nagromadzonych zanieczyszczeń pochodzących ze szlamu szlifierskiego. Odpowiednia czystość czoła wałeczka jest krytycznym czynnikiem wpływającym na poprawność procesu inspekcji. Opracowano autorskie rozwiązanie, w którym zautomatyzowany proces oczyszczania czoła jest realizowany poprzez usuwanie zanieczyszczeń za pomocą odpowiednio ukształtowanego strumienia sprężonego powietrza.

### 3. Integracja systemu w linii technologicznej

Moduły wchodzące w skład systemu kontroli jakości tworzą zintegrowaną strukturę na wspólnej ramie nośnej (rys. 6). Zwarta konstrukcja i jego stosunkowo małe wymiary umożliwiły umieszczenie urządzenia razem z szafą sterowniczą, w obrębie funkcjonującej linii technologicznej, bez konieczności zmiany położenia kluczowych maszyn i urządzeń, zwłaszcza szlifierek (rys. 7).



Rys. 6. Fotografia urządzenia: 1 – przewód transportowy, 2 – moduł oczyszczania czół, 3 – moduł wizyjny, 4 – moduł selektora, 5 – tarcza podajnika



Rys. 7. Fotografia systemu kontroli jakości czół wałeczków pracującego w fabryce produkującej łożyska toczne: 1 – szafa sterownicza, 2 – ekran prezentujący bieżące wyniki kontroli, 3 – moduł wizyjny

Opracowane oprogramowanie systemu umożliwia realizację inspekcji optycznej i kontroli jakości czół wałeczków w trybie ciągłym pracy linii technologicznej. Pełna automatyzacja procesu kontroli jakości obejmuje wszystkie kolejne jego fazy: podanie wałeczka, ocenę jakościową i selekcję. Funkcje systemu, prócz samej kontroli jakościowej, obejmują: ustawienia parametrów, diagnostykę i testy, statystykę, historię z dziennikiem zdarzeń oraz tryb serwisowy. Poprzez sieć Ethernet jest możliwe bieżące monitorowanie pracy systemu i wykonywanie obsługi serwisowej.

Wdrożony system zapewnia kontrolę jakości wałeczków z wydajnością około 3 sztuk/s (10 tys. sztuk/godz.), przy zapewnieniu nieprzerwanego potoku wałeczków odbieranych z linii szlifierek. Istotną zaletą opracowanego rozwiązania jest możliwość „ominięcia” systemu optycznej inspekcji w procesie technologicznym, w przypadku jego długotrwałej awarii i przejście na kontrolę wzrokową wyrobów.

## Podsumowanie

Wykorzystując zaawansowane metody optycznej inspekcji oraz rozwiązania mechatroniczne jest możliwa automatyzacja procesu kontroli jakości wyrobów, przy spełnieniu wysokich wymagań dotyczących parametrów procesu kontroli oraz jego wydajności. Najbardziej istotne problemy związane z wdrożeniem systemu kontroli jakości wyrobów w ramach funkcjonującej linii technologicznej to możliwość integracji bez konieczności zmiany położenia ustawionych maszyn oraz zapewnienie niezmięnionej wydajności procesu. W celu uzyskania maksymalnej wydajności procesu kontroli jakości zastosowano synchroniczną realizację zadań oraz zrównoleżenie zadań procesu analizy i modułu mechatronicznego.

Opracowany i wdrożony system kontroli jakości wyrobów jest rozwiązaniem spełniającym wysokie wymagania eksploatacji w surowych warunkach przemysłowych, występujących na wydziałach szlifierni wykonujących wałeczki łożysk tocznych. Wyniki oceny systemu, z okresu ponad roku eksploatacji, potwierdziły jego walory, co ma swój wymiar ekonomiczny w obniżeniu kosztów braków i reklamacji oraz kosztów pracochłonności.

Opracowane rozwiązania mogą być wykorzystane w przedsięwzięciach obejmujących automatyzację procesów kontroli wyrobów w liniach produkcyjnych o zbliżonym profilu.

*Praca naukowa finansowana ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonana w ramach realizacji Programu Wieloletniego pn. „Doskonalenie systemów innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004–2008”.*

## Bibliografia

1. Batchelor B., Waltz F.: Intelligent machine vision. Springer-Verlag Limited 2001, 18–20, 223.
2. Dashenko A. (Ed.): Manufacturing Technologies for machines of the future. Springer-Verlag 2003, 40–44.
3. Demant C., Estreicher-Abel B., Waszkewitz P.: Industrial image processing. Visual quality control in manufacturing. Springer-Verlag 1999, 327–329.
4. Giesko T., Zbrowski A.: Modularyzacja systemów inspekcji optycznej do zastosowań w kontroli jakości. Technologia i Automatyzacja Montażu. 2, 2006, 60–63.



5. Marshall A.D., Martin R.R.: Computer vision, models and inspection. Word Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 1993, 286–288.
6. Salvendy G., Karwowski W.: Design of Work and Development of Personnel in Advanced Manufacturing. Human factors in test and inspection. Willey-IEEE 1994, 355.
7. Zuech N.: Understanding and applying machine vision. Marcel Dekker, Inc. 2000.

Recenzent:  
**Stanisław ADAMCZAK**

### **Structure of the optical inspection system**

#### **Key words**

Mechatronics system, optical inspection, quality inspection.

#### **Summary**

Optical inspection system are the special class of mechatronics systems where the integrated structure of vision, mechanical and electronic modules is developed. The structure of mechatronics system was presented based on example of the developed quality inspection system of bearing parts. The presented solution enables modification of system and application for quality inspection of a number of parts.

