



Andrzej ZBROWSKI, Tomasz SAMBORSKI, Szymon ZACHARSKI

KONCEPCJA ROBOTYZACJI GNIAZDA TECHNOLOGICZNEGO MYCIA ZŁOŻEŃ ŁOŻYSKOWYCH W PROCESIE PRODUKCYJNYM

Streszczenie

Artykuł prezentuje analizę procesu technologicznego mycia złożeń łożyskowych realizowanego na linii produkcyjnej łożysk tocznych. Zaznaczono istotną rolę mycia łożysk w systemie wytwarzania produktów łożyskowych najwyższej jakości. Przedstawiono obowiązujące wymagania procesowe oraz ograniczenia wynikające ze specyfiki i organizacji systemu produkcyjnego. Zidentyfikowano źródła potencjalnych problemów jakościowych, technicznych i ludzkich związanych z realizowaną operacją. Zaproponowano rozwiązanie i metodę automatyzacji obsługi urządzeń myjących i konserwujących złozenia łożyskowe. Wykazano, że zastosowanie robota przemysłowego spełnia stawiane wymagania techniczne i organizacyjne przyczyniając się jednocześnie do poprawy jakości produkcji, zwiększenia efektywności mycia i zabezpieczenia antykorozyjnego wyrobów oraz poprawy bezpieczeństwa i higieny pracy.

WSTĘP

Praktyka pokazuje, że pozornie identyczne łożyska toczne pracujące w identycznych warunkach, niekoniecznie uzyskują taką samą trwałość zmęczeniową. Rosnąca lista czynników istotnych dla wyznaczania trwałości łożyska była ustalana przez lata, przy coraz większym zrozumieniu warunków pracy i wpływu powiązanego z łożyskiem „systemu”: stałych zanieczyszczeń, smarowania, parametrów roboczych, naprężeń wewnętrznych pochodzących z montażu, naprężeń szczątkowych po hartowaniu, czystości materiału, granicy naprężenia zmęczeniowego materiału [1, 4, 7]. Faktyczna trwałość może różnić się względem trwałości nominalnej prawie pięciokrotnie. Kiedy łożysko ulega uszkodzeniu, w większości spotykanych obecnie przypadków przyczyną są nieprawidłowo wysokie naprężenia w łożysku, będące rezultatem złych warunków pracy. Przykładami „przyczyn pierwotnych” powodujących uszkodzenia są zanieczyszczenia, zużycie, korozja, uszkodzenia montażowe, smarowanie lub system uszczelniający.

Jednocześnie wśród czołowych firm światowych, szczególnie w branży motoryzacyjnej, powszechny staje się kategoryczny wymóg zerowej liczby braków na końcu procesu produkcyjnego (ang. Zero Defekt Line) [10]. W tym celu producenci łożysk są zobligowani do stosowania najlepszych dostępnych technologii do zapewnienia odpowiedniego poziomu jakości swoich produktów. Dotyczy to rozwiązań technologicznych, kontrolnych i organizacyjnych [5, 6].

Łożyska toczne są produkowane w złożonym, wieloetapowym i długotrwałym procesie produkcyjnym, w którym wszystkie realizowane operacje wykonywane są ściśle według zaprogramowanych przebiegów i instrukcji technologicznych określających parametry obróbcze niezbędne dla uzyskania wyrobu finalnego o odpowiedniej jakości.

Główne operacje realizowane w tych procesach to:

- kucie na zimno lub gorąco wstępnych kształtów bieżni łożyskowych i elementów tocznych,
- obróbka cieplna nadająca elementom odpowiednią twardość i strukturę wewnętrzną materiału oraz wprowadzająca właściwości warstwy wierzchniej,
- obróbka mechaniczna,
- wykrawanie i tłoczenie metodą obróbki plastycznej na zimno koszyczków prowadzących elementy toczne,
- montaż łożysk z zachowaniem odpowiedniej selekcji wymiarowej, znakowanie, konserwacja i pakowanie.

Każda z wymienionych operacji składająca się często z kilku zabiegów wiąże się z emisją różnego rodzaju zanieczyszczeń w postaci zandry, wiórów, produktów zużycia narzędzi, resztek materiałów pomocniczych, pozostałości cieczy technologicznych, środków myjących i środków smarowych. Zanieczyszczenia takie, pozostając na detalach będących w trakcie obróbki lub przedostając się do wyrobu gotowego mogą powodować utratę ich trwałości eksploatacyjnej niezbędnej do prawidłowego funkcjonowania łożyska.

Osiąganie wymaganych dokładności i gładkości obróbki, czystości i odporności korozyjnej wymaga wyjątkowo starannego, opartego na systemowych rozwiązaniach technologicznych usuwania wszelkich zanieczyszczeń i szczególnej dbałości o zabezpieczenie antykorozyjne na wszystkich etapach wytwarzania, montażu i dostarczania łożysk [11, 12, 13].

1. PRZEDSTAWIENIE PROBLEMU

W ramach realizowanych prac badawczo-rozwojowych podjęto działania umożliwiające zwiększenie trwałości eksploatacyjnej łożysk tocznych poprzez udoskonalenie procesu mycia elementów łożysk tocznych a w szczególności kompletnych złożeń łożyskowych. Celem działania jest także rozwój i doskonalenie zaawansowanych systemów technicznych zwiększających bezpieczeństwo pracy w szkodliwych lub niebezpiecznych procesach przemysłowych wykorzystujących substancje stwarzające zagrożenie środowiskowe i niebezpieczne dla zdrowia ludzkiego.

Mycie łożysk tocznych w procesowych urządzeniach przeznaczonych do stosowania na liniach produkcyjnych realizowane jest poprzez obrót zestawu łożyskowego w strumieniu przepływającego oleju dostarczanego pod ciśnieniem. W tej operacji obracające się łożyska (Rys. 1) poddawane są płukaniu a następnie ociekaniu i suszeniu.



Rys. 1. Złożenie łożyskowe łożyska stożkowego przed operacją mycia.

Źródło: Kolekcja autora.

W dotychczas funkcjonujących rozwiązaniach produkcyjnych, złożenia łożysk stożkowych przeznaczone do mycia są wkładane do gniazda urządzenia myjącego ręcznie przez osobę obsługującą. Gniazda stanowią elementy podajnika rewolwerowego zapewniającego przemieszczanie detali od okna załadunkowego do okna rozładunkowego w czasie zapewniającym prawidłowe wypłukanie potencjalnych zanieczyszczeń znajdujących się na powierzchni mytych elementów. Po przejściu przez strefę czyszczenia następuje automatyczne zamknięcie zaworu doprowadzającego olej, zakończenie obrotu łożyska oraz ociekanie nadmiaru oleju. Po myciu pracownik obsługujący urządzenie przekłada złożenia do osuszacza, gdzie następuje usunięcie nadmiaru oleju.

Taka organizacja procesu ma niestety kilka wad. Przede wszystkim występuje istotny wpływ czynnika ludzkiego zakłócający obiektywność wykonywania operacji. Oznacza to, że istnieje możliwość świadomego lub nieświadomego zaniechania realizacji czynności obsługowych. Efektem takiego zjawiska jest wyprodukowanie łożysk niezgodnie z warunkami procesu technologicznego. Istotność problemu polega na tym, że proces kontroli jakości nie jest w stanie wykryć tego rodzaju zaniedbań.

Drugim niekorzystnym czynnikiem związanym z ręczną obsługą urządzenia myjącego są szkodliwe warunki pracy związane z oddziaływaniem na organizm ludzki niebezpiecznej substancji myjącej jaką jest olej ŁT stosowany do płukania łożysk.

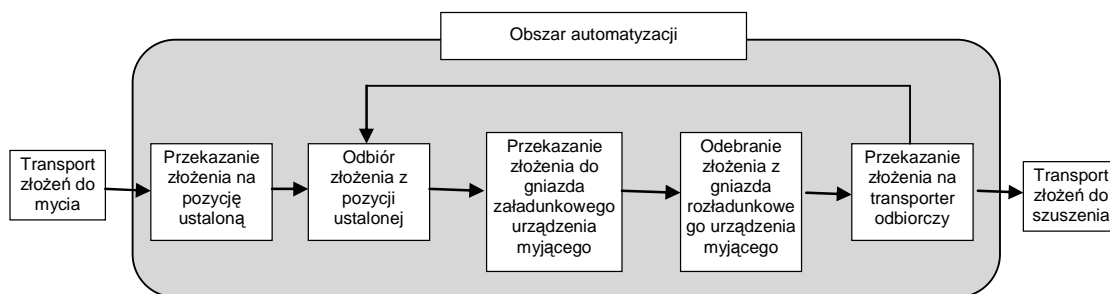
Trzecim warunkiem przemawiającym za wprowadzeniem zmian są czynniki ekonomiczne. Ze względu na fakt, że wytwarzanie łożysk jest prowadzone w warunkach produkcji trzymianowej przez siedem dni w tygodniu, koszty całkowitej automatyzacji procesu zostaną szybko zrekompensowane oszczędnościami pochodzącymi z funduszu wynagrodzeń.

Istnieje także aspekt socjologiczny omawianego problemu, ponieważ obsługa urządzeń myjących należy do prac monotonnych, prostych i niskokwalifikowanych. Eliminacja pracowników w tym przypadku może umożliwić wykorzystanie wolnych zasobów ludzkich w innych zadaniach wymagających wysokich kwalifikacji stwarzając możliwości rozwoju zawodowego.

2. PROCEDURA AUTOMATYZACJI

Mechatroniczne układy wykonawcze stanowią podstawowy element struktury nowoczesnych maszyn i ciągów technologicznych integrujących najnowsze rozwiązania techniczne z obszarów inteligentnych technik napędowych, realizowanych automatycznie precyzyjnych pomiarów, komputerowych technik sterowania i zaawansowanej diagnostyki. Rozwijające się elastyczne systemy wytwarzania (FMS) integrują technologie wytwarzania i montażu [8, 9]. W działaniach tych szczególnej roli nabiera zastosowanie nowoczesnych mechatronicznych układów wykonawczych umożliwiających zachowanie różnorodności jednocześnie produkowanych elementów z wysoką wydajnością. Niezbędne jest zatem opracowywanie nowych generacji maszyn, urządzeń i ciągów technologicznych, które zapewnią większą: wydajność, prędkość ruchów układów wykonawczych, niezawodność oraz dokładność wykonywania elementów i ich wymiarową powtarzalność.

Opracowana procedura automatyzacji (Rys. 2) procesu mycia łożysk zakłada zintegrowanie elementów linii technologicznej (bezpośrednio poprzedzających oraz następujących po urządzeniu myjącym) do poziomego gniazda technologicznego, w którym pobieranie i oddawanie dostarczonych elementów będzie realizowane automatycznie. W sposób automatyczny będzie realizowany także załadunek i rozładunek urządzenia myjącego. Rozładunek zostanie zakończony automatycznym umieszczeniem umytego złożenia łożyskowego na transporterze dostarczającym elementy do następnej operacji jaką jest konserwacja umytego złożenia.



Rys. 2. Procedurę automatyzacji obsługi urządzenia AKA-46.

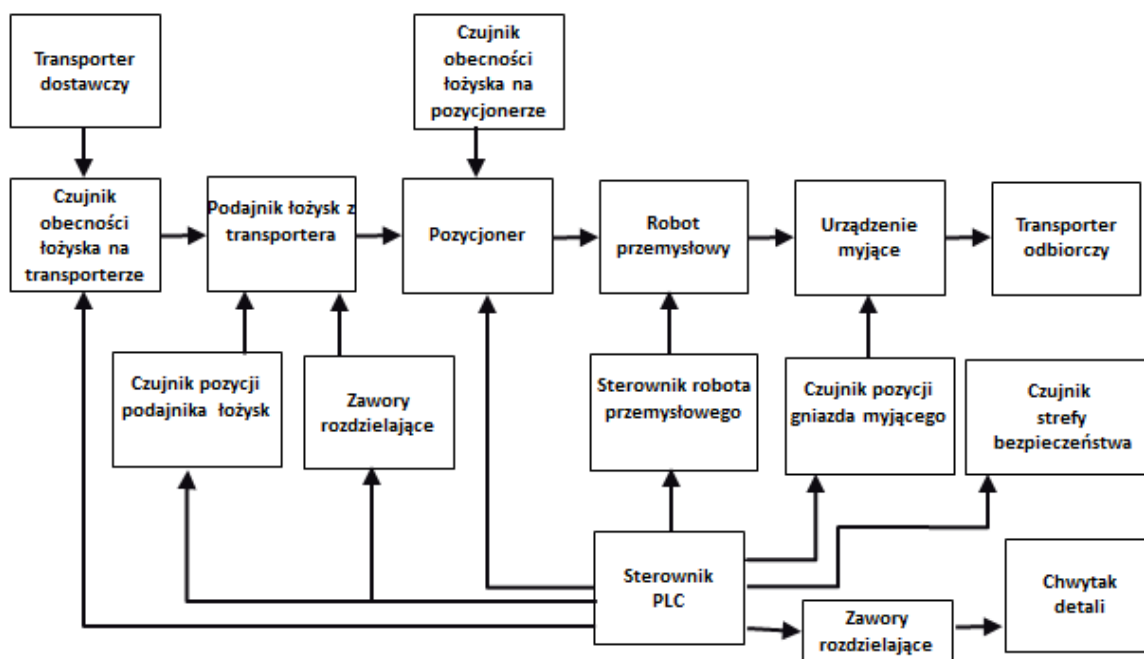
Źródło: Opracowanie własne.

Przyjęto założenie, że manipulator stanowić będzie element technologicznego systemu mycia łożysk stożkowych zintegrowany funkcjonalnie z istniejącą linią produkcyjną, komunikujący się z systemem sterowania urządzenia myjącego. Współpraca z transporterem dostawczym i odbiorczym będzie realizowana za pomocą zainstalowanych na taśmociągach dodatkowych czujników wykrywających obecność podzespołu. System manipulatora umożliwi pobranie odpowiednio zorientowanego elementu z taśmociągu dostawczego i umieszczenie w gnieździe załadunkowym urządzenia myjącego. Następnie z gniazda rozładunkowego zostanie pobrany element umyty, który zostanie odłożony na taśmie transportera odbiorczego. Urządzenie myjące, ze względu na dużą bezwładność mas ruchomych, podczas załadunku i rozładunku nie będzie zatrzymywane. Wymagany ciągły obrót magazynka rewolwerowego urządzenia myjącego stanowi istotną trudność w skoordynowaniu ruchu gniazd myjących z ruchem manipulatora.

Przyjęto, że manipulator powinien posiadać funkcję umożliwiającą swobodne ciągnięcie ramion za pomocą zewnętrznego układu wymuszającego. Alternatywą jest dokładne zaprogramowanie trajektorii chwytaka zgodnej z parametrami ruchu gniazd myjących osadzonych w magazynku rewolwerowym myjki. Ponadto konieczne jest zapewnienie ograniczonej elastyczności chwytaka detali umożliwiającej skompensowanie błędów pozycjonowania i synchronizacji czasowej oraz przestrzennej układu detal – komora myjąca.

3. STRUKTURA SPRZĘTOWA

Sformułowano założenia dotyczące zasad integracji manipulatora z linią transportową oraz urządzeniem myjącym. Podstawowym założeniem jest umieszczenie manipulatora w przestrzeni zajmowanej dotychczas przez człowieka. Nie przewiduje się wprowadzania zmian w dotychczasowym ustawieniu maszyn stanowiących elementy linii technologicznej. Zastosowanie manipulatora będzie połączone z zapewnieniem bezpieczeństwa obsługi w przestrzeni roboczej manipulatora. W tym celu zostaną zastosowane osłony zabezpieczające dostęp do strefy niebezpiecznej oraz czujniki w postaci barier reagujących na przekroczenie wydzielonej strefy pracy (Rys. 3).



Rys. 3. Struktura gniazda myjącego.

Źródło: Opracowanie własne.

W związku z koniecznością wykonywania przez manipulator skomplikowanych ruchów przestrzennych podjęto decyzję o zautomatyzowaniu stanowiska z zastosowaniem robota przemysłowego.

4. WYMAGANIA TECHNICZNE

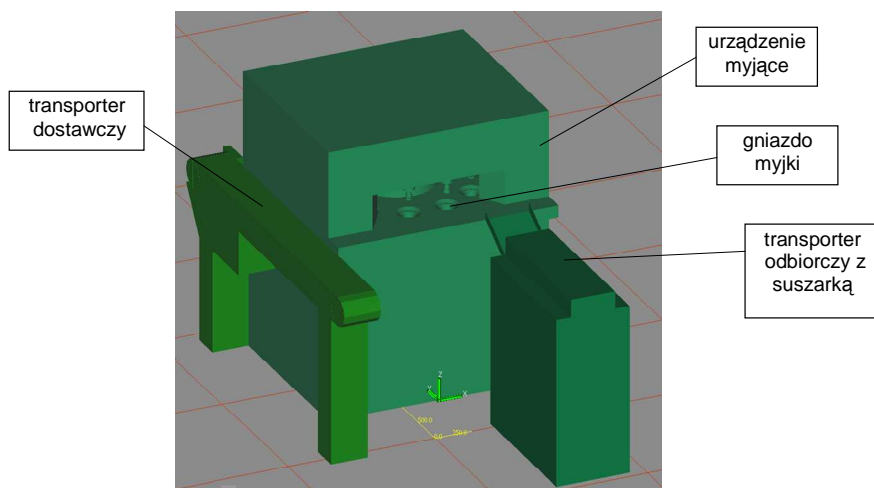
Podstawowe wymagania stawiane robotowi dotyczą szybkości pozycjonowania, gabarytów oraz stopnia ochrony aparatu lub urządzenia elektrycznego przed penetracją czynników zewnętrznych. Rozpatrywane wymagania wynikają ze specyfiki rozpatrywanej operacji technologicznej realizowanej z określoną wydajnością w warunkach intensywnego oddziaływania aerozolu z udziałem substancji łatwopalnych.

Stosowany w operacji mycia olej ŁT według przepisów ustawy z dn.11.01.2001r o substancjach i preparatach niebezpiecznych jest substancją szkodliwą i może powodować uszkodzenie płuc w przypadku połknięcia. Olej ŁT jest substancją, której temperatura zapłonu wynosi powyżej 63°C (klasa niebezpieczeństwa pożarowego III) zatem stanowisko do pracy winno być wyposażone w podręczny sprzęt gaśniczy. Surowe warunki środowiskowe oraz względy bezpieczeństwa ppoż. określają wymagane zabezpieczenia robota przed penetracją czynników zewnętrznych na poziomie IP 65.

Wydajność procesu technologicznego wynosząca 12 szt/min przy maksymalnej masie łożyska 2 kg stwarza konieczność zastosowania rozwiązania zapewniającego wymaganą prędkość pozycjonowania z zachowaniem całkowitej odporności na przeciążenia dynamiczne wynikające z występujących przyspieszeń i opóźnień w ruchu według zadanej trajektorii.

5. ANALIZA PRZESTRZENI ROBOCZEJ

W celu zdefiniowania przestrzeni roboczej manipulatora, na podstawie przeprowadzonych pomiarów wykonanych bezpośrednio na linii produkcyjnej opracowano wirtualną makietę stanowiska (Rys. 4).



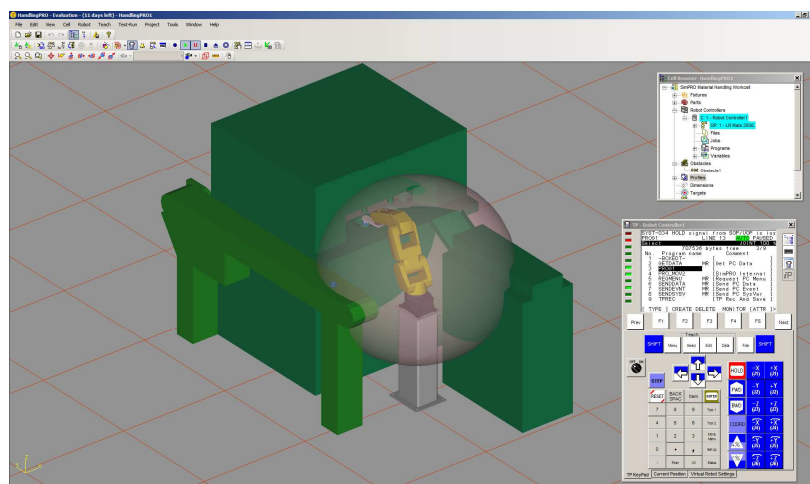
Rys. 4. Wirtualna makieta stanowiska.

Źródło: Opracowanie własne.

Makieta obejmuje urządzenie do mycia złożeń łożyskowych wraz z zakończeniami transporterów dostarczających i odbierających elementy podlegające procesowi mycia. W urządzeniu myjącym zaznaczono pozycję komory myjącej oraz pozycję okna załadunkowego i rozładunkowego.

Uwzględniając charakterystykę techniczną urządzenia myjącego oraz parametry współpracujących urządzeń peryferyjnych po przeprowadzonej analizie dostępnych rozwiązań rynkowych wytypowano dwa alternatywne systemy robotów przemysłowych: Fanuc LR Mate 200iC oraz Kawasaki RS005L.

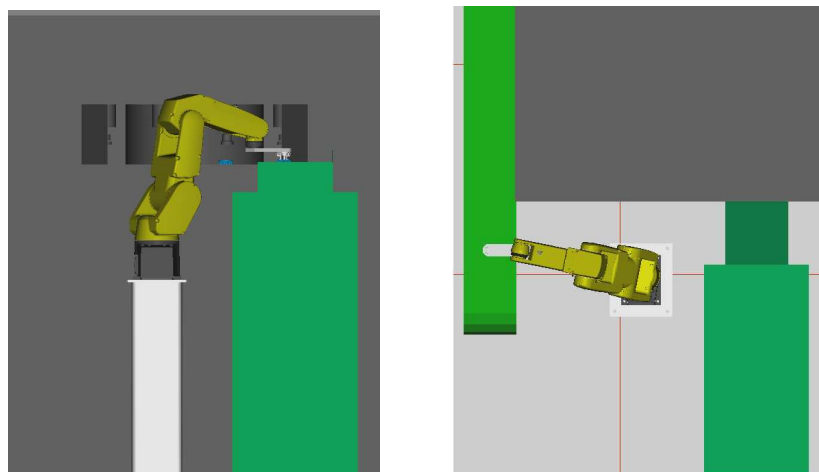
Analizę przestrzeni roboczej manipulatora Fanuc LR Mate 200iC w odniesieniu do rozpatrywanej aplikacji przeprowadzono z zastosowaniem oprogramowania Handling PRO [6]. Oprogramowanie wykorzystano w celu skalibrowania symulacji z rzeczywistym robotem. Handling PRO umożliwia symulację procesu w przestrzeni 3D i ocenę elastyczności aplikacji bez konieczności budowy modelu fizycznego zrobotyzowanego stanowiska (Rys. 5).



Rys. 5. Symulacja pracy robota Fanuc LR Mate 200iC za pomocą oprogramowania Handling PRO.

Źródło: Opracowanie własne.

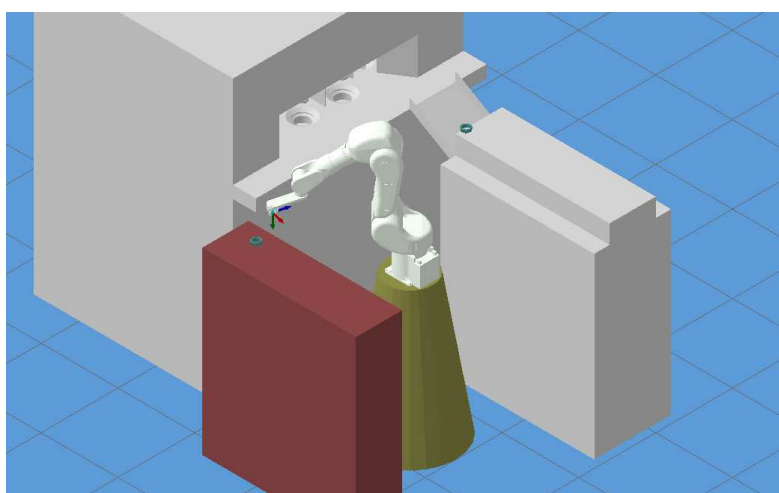
Szczegółowo zaplanowane elementy poszczególnych celów oraz trajektorię cyklu testowano w trybie off-line. Wirtualny kontroler umożliwił estymację rzeczywistych czasów trwania cykli oraz zasięgów (Rys. 6).



Rys. 6. Analiza kinematyczna w zakresie roboczym robota Fanuc LR Mate 200iC.

Źródło: Opracowanie własne.

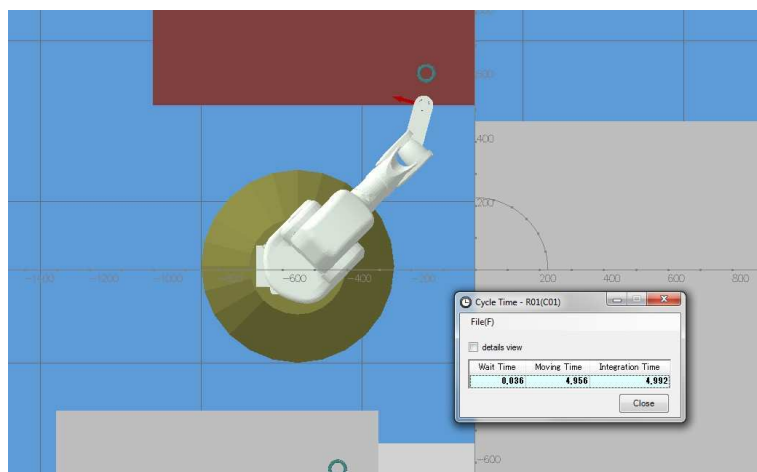
Analizę przestrzeni roboczej manipulatora Kawasaki RS005L w odniesieniu do rozpatrywanej aplikacji przeprowadzono z zastosowaniem oprogramowania K-ROSET (Rys. 7) [5]. Zastosowane oprogramowanie ułatwia wprowadzanie robotyzacji w złożonych środowiskach pracy.



Rys. 7. Symulacja pracy robota Kawasaki RS005L za pomocą oprogramowania K-ROSET.

Źródło: Opracowanie własne.

Symulator K-ROSET wykorzystuje technologię wirtualnego sterownika robota, która umożliwia programowanie modelu 3D tak samo jak ma to miejsce w rzeczywistych warunkach produkcyjnych. Możliwa jest analiza kolizji robota oraz oprzyrządowania z obsługiwanymi urządzeniami produkcyjnymi. Wyświetlanie trajektorii oraz precyzyjna ocena parametrów ruchu takich jak czas, droga, prędkość i przyspieszenie (Rys. 8) zapewnia optymalizację stanowiska bez kosztownych testów na rzeczywistym obiekcie. Zastosowany w pracach software przyspiesza proces tworzenia i rozwijania aplikacji ponieważ programowanie robota można realizować bez konieczności wystąpienia przerwy w wytwarzaniu.



Rys. 8. Analiza kinematyczna w zakresie roboczym robota Kawasaki RS005L.

Źródło: Opracowanie własne.

Rezultaty przeprowadzonych symulacji potwierdzają możliwość zastosowania robota przemysłowego do automatyzacji obsługi urządzenia myjącego złożenia łożyskowe w linii produkcyjnej łożysk tocznych. Przykładowo zaproponowane (nie jedyne na rynku) roboty przemysłowe w obu przypadkach spełniają surowe wymagania dotyczące czasu realizacji cyklu, dokładności pozycjonowania oraz niezbędnej przestrzeni roboczej.

Wyniki symulacji wykazały, że kluczowym parametrem w przypadku doboru robota jest prędkość pozycjonowania, bezpośrednio określająca całkowity czas realizacji cyklu roboczego. Dzięki przeprowadzonej symulacyjnie optymalizacji trajektorii ruchu narzędzia udowodniono, że rzeczywisty czas cyklu wynosi 4,99 s przy wymaganym czasie wynikającym z wydajności linii określonym na poziomie 5 s.

Ze względu na bardzo ograniczone wymiary przestrzeni roboczej w obrębie okna załadowczego i rozładowczego konieczna jest jednak budowa specjalnego chwytaka umożliwiającego bezpieczne manipulowanie transportowanymi detalami w obrębie obu okien urządzenia myjącego.

PODSUMOWANIE

Niedostateczna efektywność i wydajność zabiegów zapewniających czystość i zabezpieczenie antykorozyjne wytwarzanych nowych łożysk tocznych ma swoje przyczyny przede wszystkim w:

- niskim poziomie automatyzacji urządzeń myjąco – konserwujących,
- znacznym udziale czynnika ludzkiego w procesie mycia i zabezpieczenia antykorozyjnego,
- częściowym pomijaniu niektórych zabiegów (np.: z powodów ekonomicznych),
- braku ciągłości wyposażenia linii produkcyjnych w automatyczne urządzenia transportujące i wykonawcze na stanowiskach odpowiedzialnych za mycie i zabezpieczenie antykorozyjne wyrobów.

Wdrożenie opracowanego systemu zapewni zwiększenie efektywności mycia i zabezpieczenia antykorozyjnego wyrobów oraz poprawy bezpieczeństwa i higieny pracy poprzez wyeliminowanie ręcznych czynności wymagających kontaktu z ciepłymi mediami technologicznymi. Ponadto przyczyni się do zwiększenia konkurencyjności producenta łożysk tocznych poprzez redukcję strat wynikających z wadliwego zabezpieczenia wyrobów i kosztów reklamacji.

System wyeliminuje ręczną obsługę procesu mycia prowadzoną w uciążliwych i szkodliwych warunkach pracy powodowanych dodatkowo hałasem, wibracjami i oparami

aerozolu. Zostanie zmniejszone ryzyko chorób zawodowych związane z oddziaływaniem szkodliwych substancji myjących i konserwujących na organizm ludzki oraz zostanie zminimalizowane ryzyko wypadku podczas realizacji operacji mycia i konserwacji. Nastąpi zatem wyraźna poprawa komfortu pracy i ochrony zdrowia ludzkiego. Zastosowanie systemu spowoduje wzrost poziomu bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego w procesach technologicznych.

Przedstawione rozwiązanie zautomatyzowanego systemu mycia i zabezpieczenia antykorozyjnego łożysk jest zgodne z najnowszymi trendami i kierunkami doskonalenia technologii przemysłowych i odpowiada światowym tendencjom rozwoju technologii sterowania i zarządzania procesami produkcyjnymi oraz zarządzania Bezpieczeństwem i Higieną Pracy.

Proponowane rozwiązanie w elastyczny sposób będzie współpracować z istniejącymi urządzeniami technologicznymi zastępując stanowiska z obsługą ręczną. System stanowić będzie uzupełnienie automatycznych linii do montażu i konserwacji łożysk o brakujące moduły wykonawcze, które zastąpią obecne rozwiązania wymagające realizacji monotonnych, uciążliwych i szkodliwych dla zdrowia operacji.

THE CONCEPT OF THE ROBOTISATION OF THE TECHNOLOGICAL NEST FOR CLEANING THE BEARING ASSEMBLIES IN THE PRODUCTION PROCESS

Abstract

The article presents the analysis of the technological process of cleaning the assemblies of bearings in the production process. The important role of the cleaning process, as part of the production of high-quality products, is emphasised. Also presented are the process requirements and limitations emerging from the specifics and organisation of the production systems. The sources of potential quality, technical and human problems related to the performed operation were identified. The solution and automation method are proposed for the operation of the cleaning and preservation devices for the roller bearing. Also it was proved that the use of industrial robot fulfils the technical and organisational requirements adding to the increase of the quality of production, increase of the cleaning and preservation effectiveness and increase in the work safety and hygiene.

BIBLIOGRAFIA

1. Furmanek S., Szybisz Z.: *Niezawodność łożysk tocznych*. Wema, Warszawa 1989.
2. Giesko T., Mazurkiewicz A., Zbrowski A.: *Advanced mechatronic system for in-line automated optical inspection of metal parts*. International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology, (IJSSST), Vol 11 No 4 September 2010. pp. 36 – 41. <http://zuwairie.fke.utm.my/links/ijssst-vol-11-no-4-sept-2010>.
3. Giesko T., Zbrowski A., Mazurkiewicz A., Kuźmicki K.: *Development of Automatic Optical Inspection in the automotive industry*. Rozdział w monografii: Innovative Technological Solutions for Sustainable Development. Editor Adam Mazurkiewicz. Institute for Sustainable Technologies – National Research Institute Press. Radom 2010, ISBN 978-83-7204-955-1, pp. 127-138.
4. Libera M., Waligóra W.: *Estymacja początkowego okresu niezawodnej pracy łożysk tocznych w pojazdach samochodowych na podstawie badań eksploatacyjnych*. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn Zeszyt 2 (150) 2007, str 109-119.

5. <http://www.astor.com.pl/produkty/robotyzacja/oprogramowanie-narzedziowe/symulator-pc-roset.html>
6. <http://www.lrmate.com/htsw.htm>
7. Snyder D.: *Obliczenia trwałości łożysk*. Mechanik Nr 10/2010, str. 686-689, http://www.mechanik.media.pl/_pdf/3653_snyder10.pdf
8. Stamirowski J.: *Elastyczność systemów produkcyjnych w kontekście dynamiki produkcji* Postępy Nauki i Techniki Nr 9, 2011, str. 38-51. <http://pnt.pollub.pl/pdf/nr9/04.pdf>
9. Tolio T. (redaktor), *Design of Flexible Production Systems*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009
10. *Zero Defect Handbook Edition 4*. SKF Group. March 2007. http://vsm.skf.com/en-US/~media/Files/enUS/SupplierCenter/SupMan_02_GroupZeroDefectHdbkEd_4_March_07.ashx
11. Zbrowski A.: *Cleaning system for automated optical inspection of heads of bearing*. THE 8TH International Conference Mechatronic Systems And Materials 2012. 8-13 July, 2012 Białystok. Abstract book, str. 71.
12. Zbrowski A.: *Metoda przygotowania powierzchni wałeczków łożyskowych do procesu automatycznej optycznej inspekcji*. Problemy Eksploatacji 2009 nr 1, str. 209-215.
13. Zbrowski A.: *Pneumatyczny system czyszczący czola wałeczków łożyskowych*. Pneumatyka Przemysłowe Systemy Sprężonego Powietrza nr 1/70/2009, str. 32-35.

Autorzy:

dr inż. Andrzej ZBROWSKI - Instytut Technologii Eksploatacji - PIB w Radomiu;
dr inż. Tomasz SAMBORSKI - Instytut Technologii Eksploatacji - PIB w Radomiu;
mgr inż. Szymon ZACHARSKI - Instytut Technologii Eksploatacji - PIB w Radomiu