

AUTOMATYZACJA CZYNNOŚCI ORIENTOWANIA PRZESTRZENNEGO I WZAJEMEGO W OPERACJACH MONTAŻOWYCH NA PRZYKŁADZIE ŚRUB M8

Automation of spatial and mutual orientation in assembly operations on the example of M8 screw

Filip KAGANKIEWICZ

Streszczenie: W artykule poruszono zagadnienia orientowania przestrzennego i wzajemnego na przykładzie śruby M8. W szczególności skupiono się na zagadnieniach związanych z automatyzacją takiego procesu. Zaproponowano przykładową linię premontażową, w której wykorzystano urządzenia do zmiany elementu orientowanej części.

Słowa kluczowe: orientowanie, automatyzacja, montaż, zasobnik wibracyjny, robot

Abstract: The article deals with issues of spatial and mutual orientation on the example of the M8 screw. In particular, the focus was on issues related to the automation of such a process. An exemplary pre-assembly line was proposed, in which devices for changing orientation of part were used.

Key words: orientation, automation, assembly, vibrating tray, robot

Wprowadzenie

Obecnie niemal każdy finalny produkt wymaga operacji montażu, składania części lub chociażby pakowania. Człowiek związany z przemysłem zdaje sobie sprawę jak istotnym etapem produkcji jest proces montażu oraz jakie wyzwania niesie jego dobre zaprojektowanie. Ogólnie przyjęto, że montaż jest trzecią częścią produkcji.

Nowoczesne stanowiska montażowe powinny cechować się nie tylko zmechanizowaniem, ale również przynajmniej częściową automatyzacją i robotyzacją. Wartością dodaną dla takich stanowisk jest elastyczność, tzn. szybka możliwość do zmiany procesu montażu.

Montaż jest jednym z ostatnich etapów procesu wytwarzania maszyn i urządzeń na liniach montażowych. Części są do siebie dodawane i złączane przez różnorodne ruchy elementów maszyn znajdujących się w linii. Wyrób wędruje najczęściej z jednego miejsca roboczego do kolejnego, zależnie od organizacji zakładu.

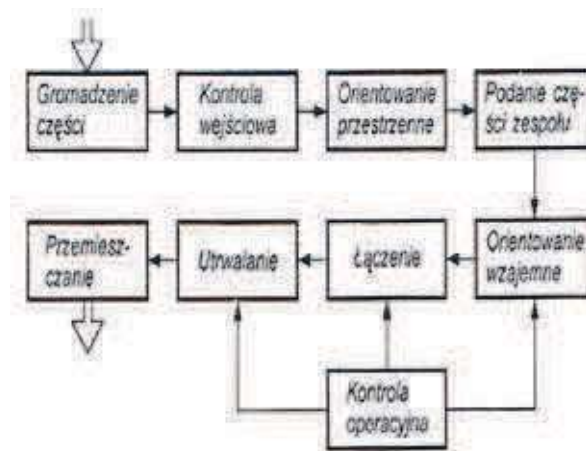
Operacja montażu składa się z kilku faz, które mają swoją specyfikę. W niniejszej pracy zostaną omówione szerzej dwie fazy procesu montażu, tj. orientacja przestrzenna i wzajemna.

Automatyzacja montażu skupia się na implementacji środków technicznych (automatów, regulatorów, serwomechanizmów, sensorów oraz robotów) do procesu w sposób pozwalający uzyskać samoczynne sterowanie, regulowanie oraz kontrolę czynności montażowych bez udziału człowieka w przypadku pełnej automatyzacji. Praca skupia się wokół najlepszej automatyzacji tych dwóch wymienionych wyżej etapów montażu. Ponadto, zostaną przedstawione obecne rozwiązania techniczne dostępne na rynku oraz zostanie przeprowadzona ich analiza.

Struktura operacji montażowej

Operacja montażowa jest zamkniętą częścią procesu technologicznego montażu, wykonywaną bez przerwy na jednym stanowisku roboczym oraz określonych jednostkach montażowych, logicznie powiązanych czynności, prowadzących do uzyskania jednostki wyższego rzędu (lub gotowego wyrobu), powstałej z dwóch lub więcej jednostek rzędu niższego, o określonych funkcjach. Wyróżnia się następujące operacje: główne, pomocnicze, specjalne i kontrolne. Operacja główna montażowa skupia się na podawaniu części, wzajemnym orientowaniu, połączeniu oraz utrwaleniu tego połączenia.

Analizując operację montażu można wyodrębnić następujące czynności strukturalne:



Rys.1. Struktura operacji montażowej [3]

Fig. 1. The structure of the assembly operation [3]

Czynności orientowania wzajemnego, łączenia oraz utrwalania powinny podlegać kontroli operacyjnej. W operacjach montażowych jest także możliwe wyodrębnienie czynności pomocniczych, lecz są to czynności, które zwiększają efektywność procesu, a nie są czynnościami montażu.

Proces montażu wymaga, by wszystkie komponenty były podawane w sposób jednoznacznie zorientowany w przestrzeni. Minimalnym wymogiem jest, by wszystkie półfabrykaty, wychodzące z zasobnika, miały identyczne położenie względem prowadnika. Proces ten wymaga również by części były orientowane „w czasie” tzn. wszystkie części przekazywane do stanowiska montażowego powinny pojawiać się w ściśle określonym czasie cyklu pracy stanowiska. Wzajemne orientowanie polega na ustawianiu powierzchni jednej części względem drugiej w ściśle określony sposób.

Orientowalność oraz jej kryteria

Głównym wymogiem procesu orientowania części jest uzyskanie oczekiwanego dokładnego wzajemnego położenia dwóch lub więcej zorientowanych części. Proces orientowania składa się z następujących etapów:

- Orientowanie przestrzenne pierwotne w zasobnikach z prowadnikami, którego zadaniem jest ułożenie części w kilku zaprojektowanych pozycjach. Ustawienia te są określane najczęściej względem przynajmniej jednego z wymiarów gabarytowych bądź powierzchni,
- Orientowanie przestrzenne wtórne w mechanizmach podawania (lub przed magazynami) z prowadnika do pozycji montażowej, w którym części przechodzą kolejne etapy ustawiania. Wraz z każdym kolejnym etapem zmniejszana jest liczba możliwych położań wyrobu na prowadniku,
- Ustalenie części na pozycji montażowej (bazowanie w przyrządzie),
- Orientowanie wzajemne ostateczne, w wyniku którego uzyskuje się położenie początkowe części przed wykonaniem zasadniczej operacji montażowej [1].

Ponadto orientowalność części może być określana przez następujące kryteria:

- Liczba i rząd osi symetrii części orientowanych - kryterium to pozwala wyznaczyć liczbę prawdopodobnych położań, które część może mieć będąc na prowadniku, a to pozwala określić liczbę etapów orientowania.
- Stosunek podstawowych wymiarów części - kryterium to określa prawdopodobieństwo zajmowania położań wynikających z liczby i rzędu osi symetrii. Im większa będzie różnica poszczególnych wymiarów części, tym większe będzie prawdopodobieństwo pewnych wybranych położań części na prowadniku.

- Złożoność kształtów geometrycznych części, która związana jest z kształtem zewnętrznych powierzchni części i wzajemnego położań tych powierzchni. Ma to wpływ na łatwość łączenia części oraz jej ruchliwość.

Dodatkowo każdą część można scharakteryzować przez zbiór wartości cech, które posiada.

Automatyzacja procesów orientowania

Projektując proces zautomatyzowany należy się skupić na specyficznych wymaganiach, które w normalnym procesie niezautomatyzowanym mogłyby być pominięte. Jest to związane z optymalizacją konstrukcji urządzeń i minimalizacją kosztów ich utrzymania tak, aby trajektoria ruchów była jak najlepsza, tzn. cechowała się minimalnymi odległościami, prostymi przemieszczeniami. Promień trajektorii powinien być możliwie duży, a liczba punktów oporowych jak najmniejsza. Ponadto pozostałe elementy powinny charakteryzować się w miarę powtarzalnym kształtem lub być standaryzowane. Układy zautomatyzowane powinny być wyposażone w proste pętle sprzężenia zwrotnego, które zapewnią dokładność i wydajność procesu. Co więcej, systemy powinny być wyposażone w dokładne metody pozycjonowania (najlepiej serwo-silniki wraz z zaawansowanymi technologicznie czujnikami różnego rodzaju), a także zdolne do wysokich prędkości przemieszczeń. Dla zwiększenia wydajności procesu zaleca się, aby liczba rozkazów technologicznych była jak najmniejsza. Ważną cechą takiego systemu powinna być zdolność do elastycznego montażu, tzn. system powinien mieć możliwość szybkiej zmiany na montaż innego produktu. Najlepszym sposobem by to uzyskać jest zastosowanie robotów przemysłowych, które pod tym względem są najlepsze i redukują znacząco czas przestojów linii montażowych z powodu zmian procesów montażowych. Układy automatycznego podawania, które najczęściej są zintegrowane z jednoczesnym orientowaniem, w systemach montażowych są układami dyskretnymi, ponieważ podają części pojedynczo z zasobnika, magazynu bądź grupowo z kasy lub palety. Dużą zaletą układów automatycznego podawania i orientowania w porównaniu z człowiekiem jest ich niezawodność i powtarzalność, a także w przypadku dobrze zaprojektowanego procesu wydajność.

Proces orientowania śrub M8

Chcąc stworzyć proces orientowania śruby do dalszego montażu trzeba odpowiedzieć sobie przede wszystkim na pytanie, jaka jest jej pożądana finalna pozycja przed ostatecznym montażem i co dalej będzie z nią robione. Na potrzeby tego procesu przyjęto, że śruba w finalnej fazie montażu będzie przykręcana z góry do korpusu. Na rys. 2 przedstawiono możliwy wygląd śruby.



Rys. 2. Śruba M8
Fig. 2. Screw M8

Mając na uwadze fakt, że śruba w finalnej pozycji powinna być łbem do góry, zaproponowano linię orientującą te śruby składającą się z następujących elementów:

- W fazie pierwszej użyty będzie zasobnik wibracyjny, którego zadaniem będzie reorientacja wszystkich śrub do pozycji stojącej (łeb śruby jest na linii montażowej, a reszta jej skierowana ku górze).
- W drugiej fazie zostanie użyty przeorientownik mechaniczny, którego głównym zadaniem będzie reorientacja śruby o 180° w osi Z, tzn. śruba będzie miała rdzeń skierowany do dołu po wyjściu z orientownika. Śruba w dalszej części będzie podawana na linię, na której będzie już trzymana za łeb.
- W trzeciej fazie, bazując na systemie wizyjnym z wykorzystaniem manipulatora/robot, śruba będzie chwyтана przez chwytak robota (bazujący czy to na podciśnieniu czy też wykorzystujący pole magnetyczne) i montowana do korpusu urządzenia. Chwytak będzie miał również możliwość wkręcania śruby przez swój dynamiczny obrót wokół osi Z.



Rys. 3. Fazy orientowania śruby M8
Fig. 3. Orientation phases of the M8 screw

Poniżej przedstawiono urządzenia, które mogą zostać wykorzystane do linii montażowej:

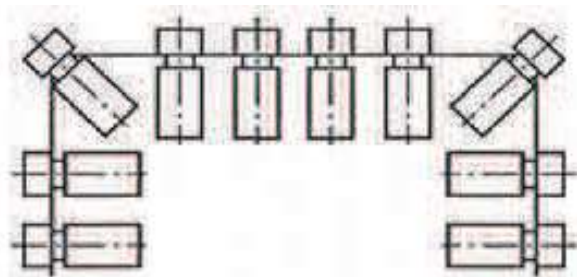
- Zasobnik wibracyjny schodkowy WIB/CB/60R firmy Pneumatec, który posiada narastający promień i będzie przystosowany do orientacji pierwotnej. Producent zaimplementuje w nim przeszkody do orientacji śrub w pożądanej pozycji. Wybrano największy zasobnik, gdyż ma największą pojemność detali.



Model	φA	φB	C	D	H	φS	T	Materiał
WIBCB20-TUR	200	125	15	25	65	8	2	Stal nierdzewna
WIBCB25-TUR	250	150	20	30	80	11	2	Stal nierdzewna
WIBCB30-TUR	300	180	25	35	90	13	2	Stal nierdzewna
WIBCB35-TUR	350	210	30	40	95	15	2	Stal nierdzewna
WIBCB40-TUR	400	240	35	45	105	17	2	Stal nierdzewna
WIBCB45-TUR	450	270	40	50	110	19	2	Stal nierdzewna
WIBCB50-TUR	500	300	45	55	120	21	2	Stal nierdzewna
WIBCB55-TUR	550	330	50	60	130	23	2	Stal nierdzewna
WIBCB60-TUR	600	360	55	65	140	25	2	Stal nierdzewna

Rys. 4. Parametry zasobników schodkowych firmy Pneumatec [6]
Fig. 4. Parameters of Pneumatec's storage tanks [6]

- Przeorientownik mechaniczny może zostać wykonany ręcznie z prowadników, bądź zlecony do wykonania firmie zewnętrznej. Jego zasada działania będzie sprowadzać się do obrotu śrub o 180°, jej wykonanie pokazuje rys. 5.



Rys. 5. Konceptcja reorientacji śruby M8
Fig. 5. Concept of M8 screw reorientation

- Robot przemysłowy FANUC M-10iA/10M ma najlepsze w swojej klasie dopuszczalne obciążenie (10 kg) i bezwładność, co gwarantuje mu wysoką wydajność oraz zoptymalizowane czasy cyklu. Robot jest 6-osiowy, a co za tym idzie bardzo wszechstronny. Dodatkowo zgodnie ze specyfikacją techniczną robot ma również wysokie momenty obrotowe. Zasięg tego robota to 1422 mm, a więc jest w zupełności wystarczający do tego procesu.

Analizując proces można odnieść wrażenie, że jest to rozwiązanie spełniające wszystkie wymagania, lecz może być ono ulepszone. Pierwszą rzeczą, którą można ulepszyć jest dodatkowa implementacja czujników do przeorientownika mechanicznego, tak by jego praca odbywała się tylko wtedy, gdy pojawiają się śruby na jego wejściu. Następną możliwością, dającą szansę zwiększenia efektywności, jest grupowa orientacja powodująca, że kilka śrub będzie orientowanych w tym samym czasie.

Dodatkowo, w tym celu można wykorzystać w pierwszej fazie zamiast zasobnika wibracyjnego bezkontaktowy system orientujący, bazujący na polu magnetycznym (przy założeniu, że łby śruby są spolaryzowane magnetycznie). Jednak takie rozwiązanie może być nieuzasadnione ekonomicznie.

Mocną stroną procesu orientowania jest faza trzecia. Inwestycja w wieloosiowego robota FANUC daje możliwość elastycznej modyfikacji położenia śruby po pobraniu, co niewątpliwie przy zmieniających się cyklach produkcyjnych będzie wartością dodaną takiego układu. Jeżeli połączenie montażowe będzie zawsze takie samo, można wykorzystać prosty manipulator, co zdecydowanie powinno zredukować budżet inwestycji.

Podsumowanie

- Największą zaletą użytego podajnika wibracyjnego do orientowania śrub jest jego prostota budowy, a także możliwość regulacji tempa wydawania śrub. Użyty podajnik wibracyjny może być w przyszłości również wykorzystywany do orientacji innych elementów poprzez zmianę znajdujących się na nim przeszkód. Dużym atutem tego rozwiązania jest również niska cena takiego urządzenia, w przeciwieństwie np. do układu bezkontaktowego, który był również rozważany podczas projektu.
- Decydując się na wykorzystanie przeorientownika mechanicznego nie zostanie utracona szybkość wydawania śrub, gdyż przeorientownik jest tylko profilem i nie wykonuje żadnych ruchów. Przeorientownik jest najtańszym elementem całego systemu orientowania śrub.
- Użycie robota przemysłowego w ostatniej fazie czynności orientowania śruby daje dużą elastyczność finalnego montażu, a także gwarantuje powtarzalność i precyzję wykonywanych ruchów orientujących. Największą elastycznością cechują się układy orientujące z wykorzystaniem robotów przemysłowych, gdyż dają one możliwość zmiany wykonywanych ruchów poprzez zmianę programu. Inwestycja w robota FANUC powoduje zwiększenie elastyczności całego systemu. Pobierana śruba przez robota nie musi się ograniczać tylko do montażu z góry. Śruba może być podawana pod różnymi kątami i mocowana w zależności od zaimplementowanego programu. Jedynym ograniczeniem jest zasięg ramienia robota.
- Proces orientowania śrub odbywa się etapami. Przedstawiony projekt jest uproszczony, lecz w przyszłości może być rozwijany. Faza przetestowania takiego systemu pozwoliłaby określić

bardziej szczegółowo, co może być ulepszone w przyszłości tak, żeby maksymalnie zwiększyć wydajność oraz efektywność systemu. W przyszłości gdyby zachodziła konieczność zmiany elementu orientowanego, elastyczność systemu pozwoliłaby na zaadaptowanie go do nowego elementu.

- Automatyzacja montażu jest istotnym zagadnieniem w projektowaniu linii produkcyjnych i daje duże możliwości oszczędności czasu, a co za tym idzie większej konkurencyjności zakładu produkcyjnego na rynku. Automatyzacja montażu jest szczególnie stosowana w produkcji masowej oraz w produkcjach wielkoseryjnych.
- Systemy orientowania przestrzennego i wzajemnego to często te same urządzenia, tylko inaczej skonfigurowane na linii montażowej.
- Przy orientowaniu przedmiotów małogabarytowych o nieskomplikowanych kształtach dobrze sprawdzają się zasobniki wibracyjne, które są stosunkowo tanie w porównaniu z innymi rozwiązaniami. Głównie z tego powodu zasobnik taki został użyty do projektu orientacji śruby M8.

LITERATURA

- [1] Barczyk J., Igielski J., Łunarski J. 1996. „Układy podawania w systemach automatycznego montażu”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [2] Honczarenko J. 2000. „Elastyczna automatyzacja wytwarzania”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [3] Kowalski T., Lis G., Szenajch W. 2006. „Technologia i automatyzacja montażu maszyn”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [4] Łunarski J., Szabajkiewicz W., Szenajch W. 1994. „Automatyczne orientowanie w procesach montażu”. Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej.
- [5] Łunarski J. 1993. „Automatyzacja procesów technologicznych montażu maszyn”. Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej.
- [6] <http://www.pneumatec.pl/oferta.php>, data dostępu 2017.
- [7] <http://automatykab2b.pl/prezentacja-artykul/2282-zastosowanie-i-rozwoj-systemow-wizyjnych-w-montazu-plytek-w-technologiei-smt#.Vy8gIIWLSM8>, data dostępu: 2017
- [8] <http://www.fanuc.eu/ru/en/robots/robot-filter-page/m-10-series/m-10ia-10m>, data dostępu: 2017

mgr inż. Filip Kagankiewicz - Wydział Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej, ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa, e-mail: kagankiewicz@outlook.com