

**Stanisław KOZIOŁ Marian PIĄTEK, Tomasz SAMBORSKI**  
Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

## **SPECJALIZOWANE UKŁADY POZYCJONOWANIA PODŁOŻY W KOMORACH PRÓŻNIOWYCH PRZEZNACZONYCH DO REALIZACJI PROCESÓW PVD**

### **Słowa kluczowe**

Komory próżniowe, procesy PVD, uchwyty technologiczne, obrotniki planetarne.

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono rozwiązania techniczne układów pozycjonowania podłoży pokrywanych cienkimi warstwami w procesach PVD. Opisano trzy-stopniowy obrotnik planetarny o elastycznej, zmiennej konfiguracji, układ z poziomą osią obrotu i rozwiązania przeznaczone do całkowitego pokrywania drobnych elementów osiowo symetrycznych.

### **Wprowadzenie**

Wydajność procesów pokrywania powierzchni roboczych narzędzi oraz części maszyn warstwami poprawiającymi ich właściwości użytkowe zależy w głównej mierze od możliwości równoczesnego poddania obróbce jak największej ilości elementów. Występowanie w przestrzeni komory próżniowej PVD określonych stref i uprzywilejowanych kierunków osadzania wynikających z zasady jej działania powoduje konieczność zapewnienia jednakowych warunków ekspozycji każdego obrabianego elementu na źródła cząstek tworzących nakładaną warstwę. Sposób lokalizacji obrabianych elementów w komorach technologicznych urządzeń PVD zależy głównie od rodzaju obrabianego wsadu oraz od cech samej komory. Wsadem takim może być np. matryca kuźnicza lub

płyta matrycowa formy odlewniczej. Są to detale o znacznej masie i wymiarach. Istnieje wówczas możliwość obróbki tylko jednego takiego elementu, który umieszcza się na obrotowym stole zlokalizowanym w dolnej części komory. Drugim skrajnym przykładem jest obróbka np. drobnych osiowo-symetrycznych narzędzi skrawających lub elementów toczyń, które w niektórych przypadkach powinny zostać pokryte na całej powierzchni. Biorąc pod uwagę całą objętość komory technologicznej można by w niej umieścić ogromną ilość takich elementów, ale wykonanie prawidłowego pokrycia wymaga, aby każdy z nich znalazł się w strefie pokrywania, a ponadto aby każdą stroną był wyeksponowany na źródło plazmy. Wymaganie to mogą spełnić tylko planetarne układy obrotowe wykorzystujące maksymalnie przestrzeń roboczą komory. Stosowane dotychczas układy zapewniają okresowy ruch obrotowy, lecz z powodu braku ciągłego zazębienia współpracujących elementów mają tendencję do blokowania się. Innymi przykładami sposobów lokalizacji obrabianych elementów są różnego rodzaju uchwyty w postaci np. bębna „kolczatki” do pokrywania wiertel, obrotniki planetarne dwustopniowe do obróbki kilku lub kilkunastu elementów osiowo-symetrycznych o większych wymiarach oraz inne specjalne uchwyty wykonywane jednostkowo do nietypowego wsadu.

Niekorzystną cechą dotychczas stosowanych uchwytów jest konieczność pozostawienia niepokrytej części powierzchni detalu przeznaczonej na zamocowanie w uchwycie technologicznym.

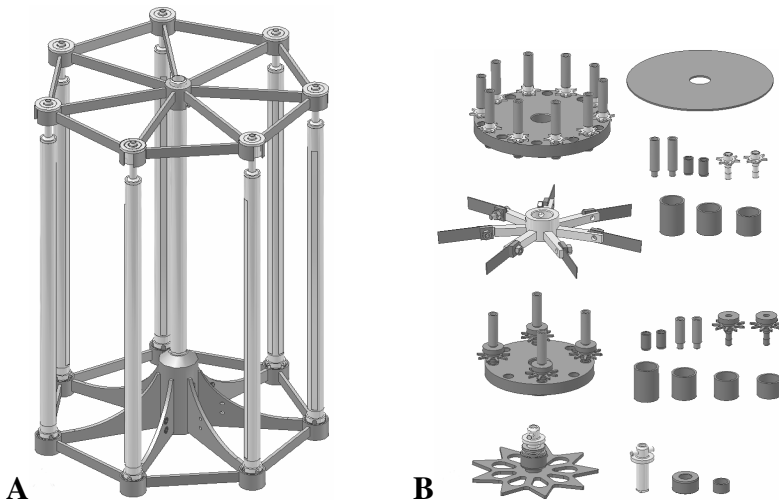
Brakowało również sprawdzonych rozwiązań pozwalających na lokalizację pokrywanych elementów ułożonych poziomo. Dotychczas wykorzystywane technologie nie wymagały takiego sposobu lokalizacji. Natomiast nowe, np. technologia EB-PVD wykorzystująca do odparowania osadzanych materiałów wiązkę elektronów, wymagają przemieszczania pokrywanych detali wokół poziomej osi obrotu.

Celem prezentowanej pracy zrealizowanej przez Zakład Doświadczalny ITeE – PIB było opracowanie, wykonanie i wdrożenie do praktyki laboratoryjnej i przemysłowej nowych i udoskonalonych układów lokalizacji podłoży w komorach PVD.

## **1. Modułowy planetarny system lokalizacji o ciągłym ruchu obrotowym**

Planetarny system lokalizacji podłoży o modułowej budowie został opracowany jako uniwersalne wyposażenie komór próżniowych PVD. Składa się z dwóch podstawowych zespołów:

- ruchomego stelaża składającego się z ramy z ułożyskowanymi w niej wałami planetarnymi (rys. 1A): wymiary stelaża są dopasowane do przestrzeni roboczej komory oraz do jej wyposażenia; rama obracając się wokół pionowej osi wywołuje ruch planetarny pionowych wałów,



Rys. 1. Podstawowe zespoły planetarnego systemu lokalizacji podłoża: A – ruchomy stelaż, B – modułowy zestaw tarcz i uchwytów

- modułowego zestawu tarcz z gniazdami łożyskowymi (rys. 1B), w których mogą być umieszczane obrotowe uchwyty pojedynczych pokrywanych elementów; tarcze montowane na wałkach planetarnych wykonują wraz z nimi ruch planetarny, a uchwyty obracają się w gniazdach rozmieszczonych na ich obwodzie w wyniku ząbkowania się z zabierakami zainstalowanymi na wale centralnym; zestaw tarcz stanowi uniwersalne wyposażenie systemu pasujące do dowolnego rozmiaru stelaża.

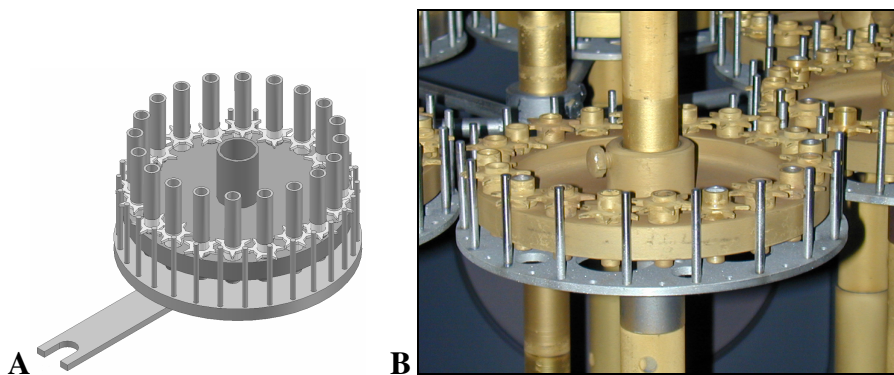
W wyniku złożenia kompletnego systemu obrotu składającego się ze stelaża i odpowiednio dobranego zestawu tarcz i pojedynczych obrotowych uchwytów otrzymuje się obrotnik planetarny dostosowany do realizowanego procesu technologicznego, którego przykład przedstawia rys. 2.

System ten został opracowany i wdrożony w Centrum Technologii Plazmowych przed około 5 laty na czterech urządzeniach. W największym z nich układ lokalizacji pozwala na jednoczesną obróbkę ponad 1000 detali. Jego kilkuletnia eksploatacja pozwoliła stwierdzić, że spełnia on postawione wymagania z jednym zastrzeżeniem – blokuje się na skutek przypadkowej kolizji wierzchołka zęba gwiazdy uchwytu narzędzia z zabierakiem. Stwierdzono, że przyczyną tego jest okresowe ząbkowanie się gwiazdy i zabieraka. Brak ciągłego ząbkowania pozwala na przypadkowe ustawianie się tych elementów, co sprzyja powstawaniu takich kolizji.



Rys. 2. Planetarny system lokalizacji podłogi (przykładowa konfiguracja)

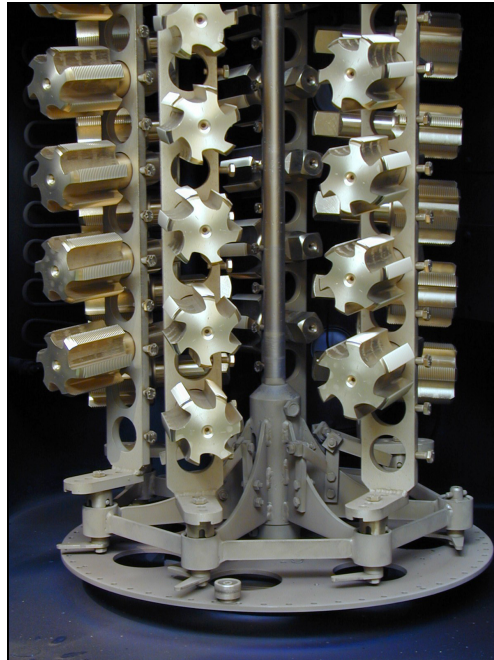
Opracowano więc zmodyfikowaną konstrukcję tarczy, którą wyposażono w wieniec zabierakowy zapewniający ciągłość zazębienia ze wszystkimi uchwytemi w niej zainstalowanymi. Na rys. 3 przedstawiono projekt tego rozwiązania i zdjęcie wykonanego prototypu podczas badań w komorze PVD.



Rys. 3. Zmodyfikowana konstrukcja tarczy z wieńcem zabierakowym o ciągłym zazębieniu  
A – projekt, B – tarcza podczas badań

Badania ruchowe obrotnika w komorze PVD wykazały prawidłową współpracę wieńca zabierakowego z uchwytami oraz całkowite wyeliminowanie blokowania mechanizmu.

Dodatkową modyfikacją systemu lokalizacji było również wprowadzenie w miejsce wałów planetarnych specjalnych uchwytów obrabianych detali o ruchu wahadłowym (rys. 4). Są one przeznaczone do pokrywania gwintowników o dużej średnicy, które w trakcie obróbki muszą być eksponowane na źródła plazmy przeciwległymi powierzchniami bocznymi.



Rys. 4. System lokalizacji wyposażony w uchwyty obrabianych detali o ruchu wahadłowym

Istotnym parametrem nowego rozwiązania był kąt ruchu wahadłowego. Zastosowanie dużego kąta – około  $120^\circ$  – daje dobrą ekspozycję wsadu, lecz stwarza niebezpieczeństwo kolizji elementów i niekorzystne warunki pracy napędowego mechanizmu krzywkowego. Podczas tworzenia prototypu układu wykonano krzywki realizujące ruchy o kątach  $90^\circ$ ,  $105^\circ$  i  $120^\circ$ . W trakcie badań stwierdzono, że najlepsze parametry technologiczne są osiągnięte przy kącie  $90^\circ$ . Układ ten zapewnia możliwość jednoczesnej obróbki 91 narzędzi.

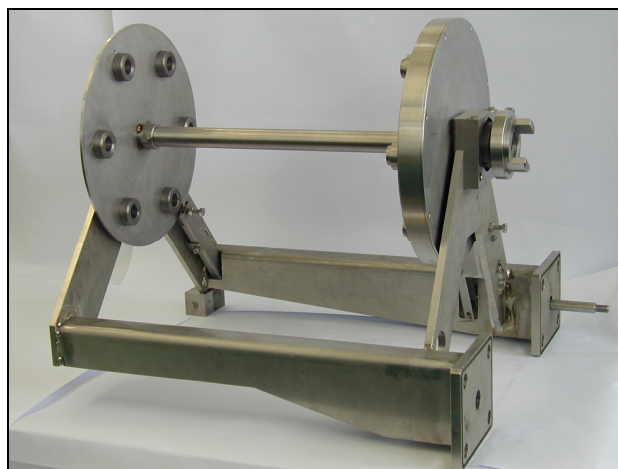
## 2. Planetarny system lokalizacji o poziomej osi obrotu

Rozwijana w Instytucie nowa technologia odparowania osadzanych materiałów polega na wykorzystaniu do tego celu wiązki elektronowej o dużej mocy. Odparowywany materiał jest umieszczany w chłodzonym tyglu zlokalizowanym w dolnej części komory próżniowej. Aktywna strefa osadzania zlokalizowana jest w tym przypadku nad tygłem, a otrzymanie równomiernej warstwy na pokrywanej powierzchni wymaga, aby znalazła się ona w tej strefie i była zorientowana poziomo. Osadzanie warstw złożonych o szczególnych właściwościach wymaga zastosowania oprócz wiązki elektronów również innych sposobów rozpylania, np. źródeł łukowych umieszczonych w górnej części komory. W tym przypadku układ pozycjonowania pokrywanych elementów musi posiadać poziomą oś obrotu i realizować planetarny ruch obrotowy obrabianych detali w ten sposób, aby przemieszczały się one przez wszystkie strefy osadzania znajdujące się w komorze. Podejmowany etap wstępnych prób nowej technologii obróbki powierzchniowej wymaga od systemu lokalizacji możliwości realizowania różnych sekwencji ruchu podłoży. Powinny być możliwe do zrealizowania dwa rodzaje ruchu:

- planetarny ruch obiegowy wszystkich obrabianych detali w całej przestrzeni roboczej komory,
- ruch obrotowy wybranego elementu w wybranej strefie osadzania.

Przełączanie między tymi rodzajami ekspozycji powinno się odbywać podczas pracy komory za pomocą zewnętrznych elementów sterujących.

W Zakładzie Doświadczalnym Instytutu zaprojektowano i wykonano prototyp układu lokalizacji z poziomą osią obrotu, wykorzystujący zębatą przekładnię planetarną (rys. 5).

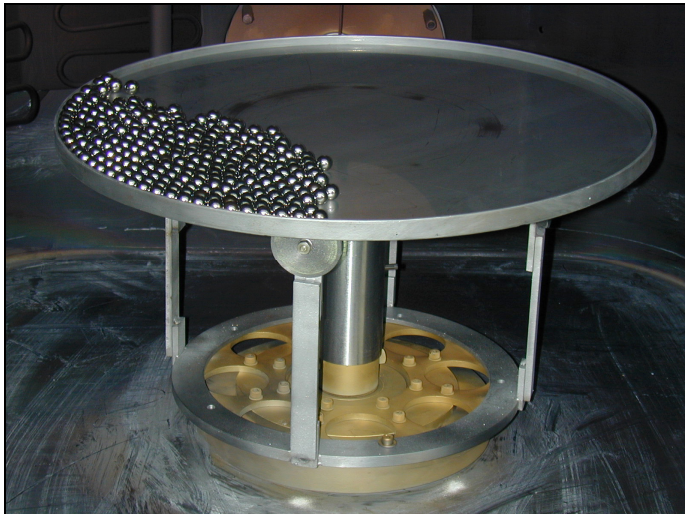


Rys. 5. Prototyp układu lokalizacji z poziomą osią obrotu zbudowanego na bazie zębatej przekładni planetarnej

Wał centralny układu łączy sztywno kosz satelitów z tarczą, w której zainstalowano gniazda łożyskowe. Obrabiane detale są mocowane w gniazdach satelitów i podtrzymywane w gniazdach łożyskowych tarczy. Wymienione dwa rodzaje ruchu są realizowane poprzez możliwość mechanicznego blokowania obrotu kosza satelitów – ruch obrotowy jednego elementu lub zewnętrznego wieńca przekładni planetarnej – ruch obiegowy wszystkich elementów. Funkcja ta jest realizowana za pomocą zewnętrznego układu wykonawczego wykorzystującego siłownik pneumatyczny. Ruch tłoczyska siłownika jest przekazywany do wnętrza komory za pomocą próżnioszczelnego przepustu manipulacyjnego.

### 3. System lokalizacji umożliwiający całkowite pokrywanie drobnych elementów osiowo-symetrycznych

Opracowano i wykonano prototyp systemu lokalizacji, umożliwiającego całkowite pokrywanie drobnych elementów osiowo-symetrycznych. Jest on przeznaczony do pokrywania całej powierzchni elementów w odróżnieniu od sposobu pokrywania np. narzędzi skrawających, gdzie obróbce podlega tylko część robocza. Zapotrzebowanie na taki system wynika z prac nad wykorzystaniem warstw osadzanych technikami plazmowymi do podniesienia trwałości tocznych węzłów łożyskowych podejmowanych przez Zakład Tribologii ITeE – PIB. Wykonany prototyp w zastosowaniu do kulek łożyskowych przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. System lokalizacji umożliwiający całkowite pokrywanie drobnych elementów osiowo-symetrycznych zainstalowany w komorze PVD typu STANDARD w zastosowaniu do kulek łożyskowych



W trakcie wstępnych badań systemu stwierdzono, że w przypadku kulek łożyskowych zastosowany sposób ich losowego przemieszczania na obrotowo-wychylnym „talerzu” jest bardzo skuteczny i zapewnia równomierną ekspozycję całej powierzchni elementów szczególnie na źródło znajdujące się w górnej ścianie komory. W przypadku wałeczków łożyskowych ich ruch jest ograniczany wzajemnym blokowaniem się sąsiednich elementów wskutek możliwości obrotu tylko wokół jednej osi. Z tego powodu równomierna ekspozycja całej powierzchni elementów jest wysoce niepewna. W związku z tym opracowano modułową wersję systemu planetarnego do pokrywania roboczych powierzchni wałków łożyskowych, które w trakcie procesu osadzania są w sposób uporządkowany przetaczane w układzie bieżnia–koszyczek prowadzący.

### **Podsumowanie**

Opracowany system lokalizacji w postaci modułowego planetarnego układu obrotowego stanowi najlepsze, innowacyjne rozwiązanie systemu lokalizacji. Z jednej strony dzięki właściwościom adaptacyjnym umożliwia budowę różnych konfiguracji z gotowych elementów bez konieczności wykonywania jakichkolwiek części, z drugiej zaś dzięki możliwości maksymalnego wykorzystania przestrzeni roboczej komory pozwala na wypełnienie całej przestrzeni wsadem. Daje to dwie korzyści: krótki czas przygotowawczy oraz dużą wydajność procesu. Innym aspektem innowacyjności jest opracowanie systemu lokalizacji o poziomej osi obrotu, dotychczas niestosowanego, pozwalającego na osadzanie powłok o unikalnych właściwościach fizycznych. Zbudowanie układu obrotowego pozwalającego na pokrywanie w całości detali osiowo-symetrycznych umożliwia podjęcie prac nad zupełnie nowymi zastosowaniami powłok otrzymywanych w technologiach plazmowych.

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

### **Bibliografia**

1. Burakowski T., Wierchoń T.: Inżynieria powierzchni metali - podstawy, urządzenia, technologie. WNT, Warszawa 1995.
2. Bell T.: Proceedings of the Conference Heat Treatment and Surface Engineering. London (UK) 1987.
3. Burakowski T., Miernik K., Walkowicz J.: Technologie wytwarzania z udziałem plazmy cienkich powłok tribologicznych, Tribologia 4/5-93.



4. Koziół S., Samborski T., Brudnias R., Smolik J., Walkowicz J.: Nowoczesne konstrukcje komór próżniowych dla technologii PVD. Problemy Eksploatacji, 3/2004.
5. <http://www.lesker.com/Sample Manipulation & Motion>.
6. Konstrukcja przyrządów urządzeń precyzyjnych, WNT, Warszawa 1996.

Recenzent:  
**Jerzy MICHALSKI**

### **Specialized systems of substrate positioning in vacuum chambers intended for PVD processes**

#### **Key words**

Vacuum chamber, PVD processes, technological holders, planetary positioners.

#### **Summary**

This article presents technical solutions for positioning substrates covered by thin layers in PVD processes. It describes a three-stage planetary positioner with flexible configuration with a horizontal rotation axis. This article details solutions involving completely covering small symmetrical elements.

