

Tomasz SAMBORSKI Stanisław KOZIOŁ Krzysztof MATECKI
Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

SYSTEM WYMIANY I POZYCJONOWANIA PODŁOŻY W URZĄDZENIACH PVD/CVD

Słowa kluczowe

Komory próżniowe, procesy PVD/CVD, śluza próżniowa, manipulatory.

Streszczenie

W artykule przedstawiono rozwiązanie techniczne systemu wymiany i pozycjonowania podłoży w urządzeniach do badania i opracowywania technologii PVD. Składa się on z zespołu manipulatorów oraz ze śluzy do wprowadzania próbek do komory próżniowej, co pozwala na selektywną identyfikację efektów wybranych etapów procesów.

Wprowadzenie

Technologie obróbki powierzchniowej mają istotny udział w rozwoju wielu gałęzi przemysłu [1–3]. Największe znaczenie oraz najszersze zastosowanie zyskały metody plazmowego nanoszenia cienkich powłok o złożonej strukturze i zakładanych właściwościach [4–5]. Powłoki te pełnią różnorodne role zwiększając walory użytkowe pokrywanych elementów. Rozwój technologii próżniowego nanoszenia cienkich powłok przeciwzużyciowych spowodował, że znajdują one coraz szersze zastosowanie w wielu dziedzinach techniki. Są to nie tylko twarde powłoki zabezpieczające przed zużyciem ściernym narzędzi skrawających [6], ale również warstwy opóźniające proces zmęczenia cieplnego (narzędzia do obróbki plastycznej na gorąco) [7], zużycia adhezyjnego (narzędzia do obróbki plastycznej na zimno) [8], jak również węglowe powłoki bikompatybil-

ne do różnorodnych zastosowań medycznych [9], czy też powłoki o podwyższonym współczynniku tłumienia drgań mechanicznych [10].

Różnorodne przeznaczenie wymaga różnych struktur warstw powierzchniowych, a w związku z tym różnych technologii ich osadzania. W nowoczesnej inżynierii powierzchni największe znaczenie mają powłoki złożone, tj. wielowarstwowe, wieloskładnikowe oraz kompozyty warstwowe wytwarzane technologiami obróbki wielostopniowej. Wielka różnorodność budowy cienkich warstw i procesów ich osadzania wymaga stosowania specjalizowanego wyposażenia przeznaczonego do realizacji złożonych, często wieloetapowych procesów technologicznych.

Oddzielnym, złożonym zagadnieniem technicznym jest opracowanie i weryfikacja technologii otrzymywania złożonych struktur warstwowych. W wieloetapowym procesie technologicznym są stosowane kolejno różne źródła plazmy, osadzone są różne materiały, zmieniany jest skład i parametry aktywnej atmosfery, temperatura pokrywanego podłoża itp. Każdy z etapów procesu ma na celu osadzenie warstwy składowej tworzonej powłoki, modyfikację pokrywanego podłoża lub utworzenie np. gradientowej strefy przejściowej między sąsiednimi warstwami. Każdy z etapów musi charakteryzować się określonymi wartościami i przebiegami parametrów technologicznych w taki sposób, aby realizowana w nim część procesu dawała jak najlepszy efekt z punktu widzenia właściwości użytkowych całej powłoki. Opracowanie takiego etapu procesu technologicznego i jego weryfikacja wymagają najczęściej sprawdzenia efektu jego realizacji. Aby wyodrębnić efekt pojedynczego etapu należy przeprowadzać procesy cząstkowe lub przerywać je w określonym momencie. Postępowanie takie jest wysoce nieefektywne, czasochłonne i drogie, a jego alternatywą jest możliwość wkładania i wyjmowania próbek pokrywanych podłoża z komory PVD w czasie trwania procesu. Wymaga to zbudowania systemu składającego się ze śluzy, która pozwoli na wprowadzanie do komory próżniowej i wyjmowania z niej elementów bez konieczności jej otwierania i zapowietrzania oraz manipulatora pozwalającego na chwytanie i zmianę położenia elementu we wnętrzu komory. System taki może być wykorzystany nie tylko do badań procesów plazmowych, ale również do kontroli i dokumentowania wybranych etapów procesów przemysłowych.

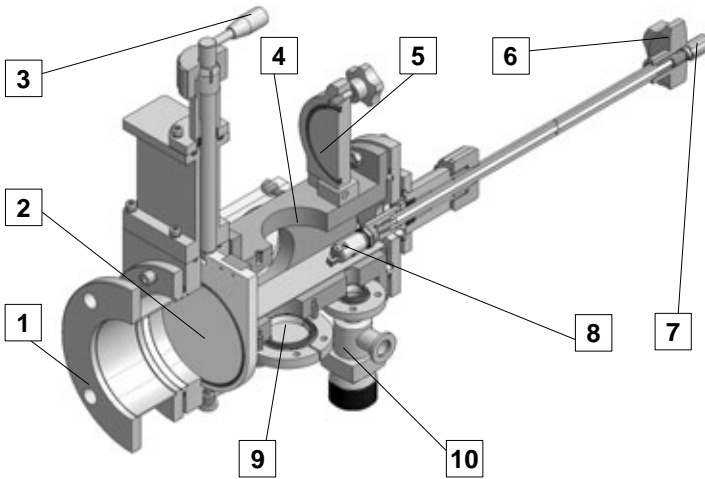
W Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu od kilkunastu lat prowadzone są prace badawcze nad rozwojem urządzeń do osadzania powłok metodami PAPVD, między innymi w zakresie budowy specjalistycznych układów zasilania, kontroli i sterowania procesami technologicznymi oraz w zakresie budowy łukowych i magnetronowych źródeł plazmy. Prace te zaowocowały szeregiem wdrożeń nowoczesnych urządzeń i systemów sterowania w zakładach przemysłowych, uczelniach i laboratoriach badawczych. W związku z podejmowanymi pracami badawczymi i wdrożeniowymi z zakresu zaawansowanych technologii wytwarzania złożonych powłok PVD, celem pracy zrealizowanej w Zakładzie Doświadczalnym Instytutu było zaprojektowanie i wykonanie spe-

cyjnej służą z zespołem manipulatorów pozwalającej na badanie efektów procesu osadzania w trakcie jego realizacji.

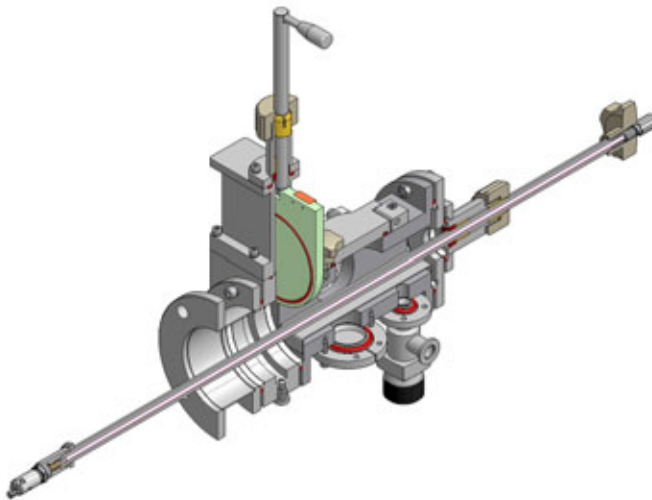
1. Manipulator liniowy ze służą próżniową (load lock)

Manipulator liniowy ze służą (rys. 1) służy do wprowadzania i wydostawiania z wnętrza komory próżniowej próbek obrabianych wewnątrz podłoży bez konieczności jej zapowietrzania i otwierania.

a)



b)



Rys. 1. Manipulator liniowy ze służą próżniową (load lock): a) w pozycji załadowniczej, b) w pozycji roboczej; 1 – kołnierz przyłączeniowy, 2 – zawór zasuwowy, 3 – rękojeść zaworu, 4 – otwór załadowniczy służą, 5 – wieko służą, 6 – rękojeść manipulatora, 7 – pokrętko chwytaka, 8 – chwytak, 9 – przyłączy pompy próżniowej, 10 – zawór zapowietrzający

Zespół jest połączony z komorą próżniową za pomocą kołnierza 1 i zaworu zasuwowego 2. Przy zamkniętym zaworze 2 i uniesionym wieku śluzy 5 (rys. 1a) w jej wnętrzu można umieścić próbkę i zacisnąć w szczękach chwytaka 8 uruchamianych za pomocą pokrętła 7. Po zamknięciu wieku śluzy i zaworu zapowietrzającego 10, za pomocą pompy próżniowej podłączonej do przyłącza 9 we wnętrzu śluzy uzyskuje się próżnię. Po wyrównaniu ciśnienia między śluzą a komorą możliwe jest otwarcie zaworu zasuwowego oraz przesunięcie manipulatora w kierunku wnętrza komory (rys. 1b). Konstrukcja manipulatora pozwala na wsunięcie próbki do wnętrza komory na dowolną odległość ograniczoną długością ramienia, obrót wokół osi ramienia o dowolny kąt i zwolnienie chwytaka. W ten sposób próbka podłoża zostaje umieszczona wewnątrz komory bez ingerowania w przebieg zachodzącego w niej procesu.

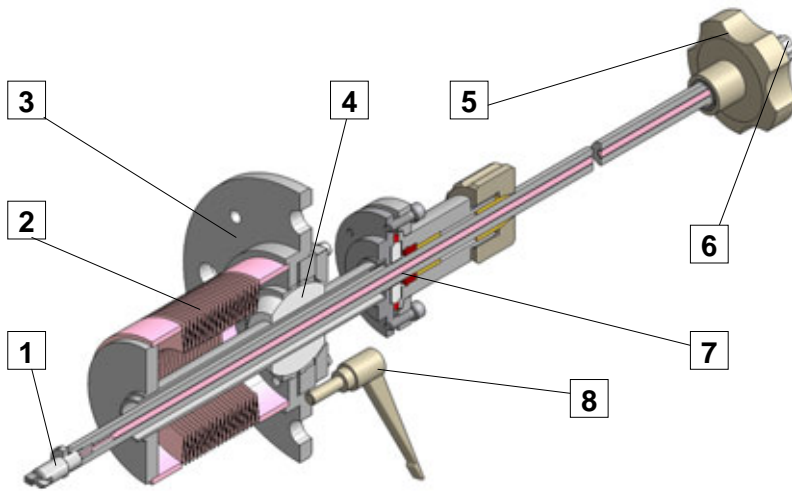
Wykonanie opisanych czynności w odwrotnej kolejności, czyli uchwycenie próbki znajdującej się w komorze, wycofanie manipulatora, zamknięcie zaworu zasuwowego, zapowietrzenie śluzy przez zawór 10 i otwarcie wieku 5 pozwala na wydostanie z wnętrza komory próbki poddanej określonej obróbce.

Przedstawiony układ pozwala na wymianę próbek w komorze próżniowej, ale posiada ograniczony obszar działania, co wynika z ruchu ramienia tylko wzdłuż jednej ustalonej linii. Przy wymianie kolejno kilku próbek i konieczności ich rozmieszczenia w przestrzeni roboczej komory, zmiany ich położenia czy pozycji ruch liniowy okazuje się być niewystarczający. Konieczne jest w tym przypadku zapewnienie możliwości przemieszczania próbek w określonej części przestrzeni roboczej komory. Zastosowanie ruchomego połączenia śluzy z komorą jest niemożliwe ze względu na znaczną masę całego zespołu oraz dużą sztywność przewodów próżniowych łączących śluzę z pompą. Pomocne może być tu wykorzystanie obrotownika stanowiącego wyposażenie technologiczne urządzenia PVD. Najlepszym jednak rozwiązaniem jest dodatkowy manipulator sterowany z zewnątrz, posiadający możliwość przemieszczania obiektów znajdujących się we wnętrzu komory w jej przestrzeni roboczej.

2. Manipulator przestrzenny

Manipulator (rys. 2) jest przeznaczony do chwytania i zmiany miejsca usytuowania lub pozycji drobnych elementów umieszczonych we wnętrzu komory próżniowej. Może być on montowany w komorze za pomocą standardowego przyłącza podobnie jak manipulator liniowy ze śluzą (rys. 1).

Chwytnik manipulatora dzięki zastosowaniu elastycznego uszczelnienia mieszkowego 2 (rys. 2) może przemieszczać się nie tylko ruchem liniowym wzdłuż osi ramienia, ale również prostopadle do osi w granicach kąta przestrzennego ograniczonego konstrukcją uszczelnienia. Ruch ten jest realizowany dzięki ułożyskowaniu ramienia w kulistym przegubie 4, który może być unieruchamiany za pomocą zacisku 8 w celu ustalenia kątownego położenia manipulatora. Wyrowadzenie na zewnątrz komory rękojeści 5 i pokrętła 6 pozwala na ręczne sterowanie pracą zespołu przez operatora znajdującego się obok urządzenia próżniowego.



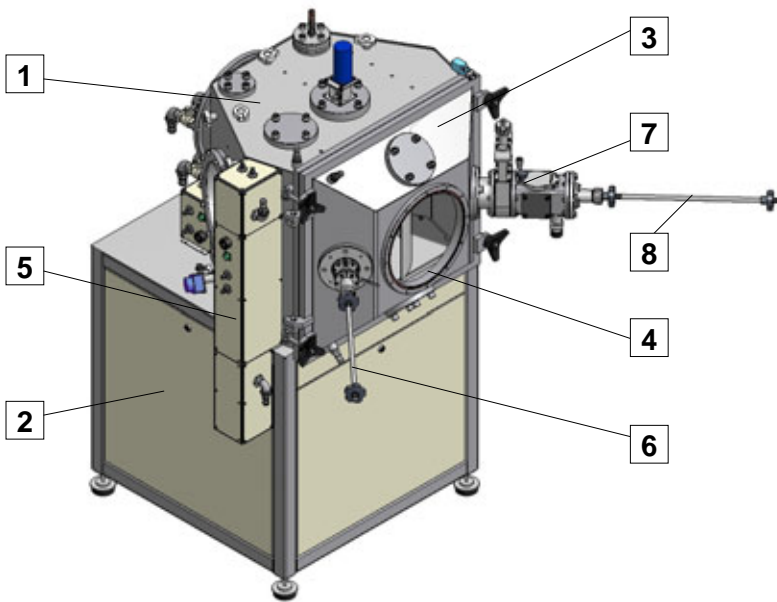
Rys. 2. Manipulator przestrzenny do komory próżniowej: 1 – chwytak, 2 – elastyczne uszczelnienie mieszkowe, 3 – kołnierz przyłączeniowy, 4 – przegub kulisty, 5 – rękojeść manipulatora, 6 – pokrętko chwytaka, 7 – ślizgowe uszczelnienie próżniowe, 8 – zacisk ustalający pozycję manipulatora

3. Wykorzystanie systemu wymiany i pozycjonowania podłoży na przykładzie modułowej komory próżniowej PVD

Modułowa komora próżniowa jest przeznaczona do realizacji różnorodnych procesów osadzania cienkich warstw powierzchniowych metodami PVD i CVD, dla których niemożliwe jest wykorzystanie urządzenia uniwersalnego. Jej modułowa konstrukcja umożliwia konfigurowanie różnych układów eksperymentalnych, technologicznych czy dydaktycznych dostosowanych do potrzeb użytkownika. Poszczególne zespoły funkcjonalne urządzenia mogą być dobierane z proponowanego typoszeregu i łączone w całość odpowiednio do realizowanego eksperymentu lub uruchamianej technologii. Konstrukcja poszczególnych modułów urządzenia, sposób ich łączenia oraz zastosowanie szeregu rozwiązań standardowych – typowych dla aparatury próżniowej pozwala na rozwijanie opracowanej konfiguracji o nowe moduły i aparaturę odpowiednio do realizowanych układów badawczych.

Podstawowym, niezmiennym modułem całości urządzenia (rys. 3) jest jego korpus w postaci przestrzennej struktury, tworzącej przestrzeń roboczą komory. Korpus stanowi zasadniczą część komory próżniowej o kształcie graniastostłupa, która jest zamykana przez wymienne drzwi. Mogą one posiadać różne ukształtowanie, co pozwala na zmianę wymiarów i kształtu przestrzeni roboczej urzą-

dzenia. W ścianach komory i drzwiach zostały wykonane wielkogabarytowe przyłącza przeznaczone do zainstalowania przede wszystkim źródeł plazmy za pośrednictwem odpowiednich adapterów. Duże wymiary przyłączy pozwalają na instalowanie źródeł o nietypowych wymiarach i konstrukcji, np. źródło o zmiennym kierunku emisji lub na regulację odległości źródła od środka komory. Zastosowanie odpowiednich elementów pośrednich pozwala na instalowanie w tych przyłączach dowolnych aparatów technologicznych i pomiarowych lub ich zestawów odpowiednio do potrzeb realizowanych eksperymentów. W komorze wykonano również odpowiednie przyłącza na przepusty obrotowe, prądowe, napięciowe, sterujące, pomiarowe i gazowe. Na rys. 3 przedstawiono urządzenie z zainstalowanymi manipulatorami i śluzą, stanowiącymi temat prezentowanej pracy.

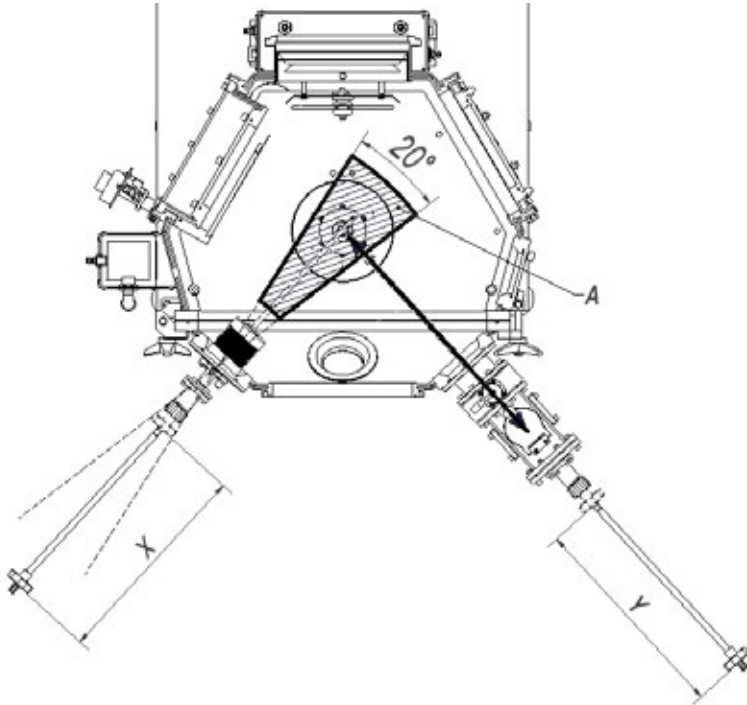


Rys. 3. Modułowa komora próżniowa do badania procesów PVD z zainstalowanymi manipulatorami: 1 – korpus komory, 2 – podstawa, 3 – wymienne drzwi, 4 – przyłącze wielkogabarytowe, 5 – blok przyłączy elektrycznych, 6 – manipulator przestrzenny, 7 – śluzą, 8 – manipulator liniowy

Układ badawczy stanowiska może być dowolnie konfigurowany poprzez zastosowanie odpowiedniego wyposażenia w formie wymiennych modułów.

W komorze wyposażonej w system składający się z manipulatora liniowego ze śluzą próżniową, zainstalowanego w jednym z przyłączy oraz manipulatora przestrzennego zainstalowanego w odpowiednio dobranym innym przyłączy możliwe jest umieszczanie i przemieszczanie elementów obrabianego wsadu

w obszarze pokazanym na (rys. 4). Pozwala to na przeprowadzanie badań procesów osadzania polegających na identyfikacji skutków dowolnego etapu procesu w określonym czasie i określonym obszarze przestrzeni roboczej komory.



Rys. 4. Obszar pracy wykonanego zestawu aparatury w modułowej komorze próżniowej do badania procesów PVD: A – obszar działania manipulatora przestrzennego, X – skok roboczy manipulatora przestrzennego (550 mm), Y – skok roboczy manipulatora liniowego (550 mm)

Konstrukcja manipulatorów pozwala na wykorzystanie ich w dowolnej komorze próżniowej wyposażonej w typowe przyłącza DN 100 ISO, a warunkiem prawidłowego działania jest skoordynowanie zakresu ruchów roboczych z aktywną strefą osadzania urządzenia. Istnieje również możliwość indywidualnego dopasowania zespołów chwytowych manipulatorów do kształtu stosowanych w badaniach próbek czy podłoży poprzez montaż odpowiednio wyprofilowanych szczęk, co zwiększa uniwersalność i niezawodność rozwiązania.

Opracowane i wykonane prototypowe rozwiązania służą i manipulatorów przedstawione w pracy są przystosowane do ręcznej obsługi przez operatora przeprowadzającego eksperyment. Przygotowano również projekty udoskonalonej wersji aparatury wyposażonej w siłowniki pneumatyczne do napędu chwytaków oraz elektryczny napęd zaworu zasuwowego.

Podsumowanie

W Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu został opracowany, wykonany i jest testowany system wymiany i lokalizacji podłoży w specjalnych urządzeniach do badania zaawansowanych technologicznie procesów plazmowego osadzania powłok, poprawiających właściwości użytkowe narzędzi i części maszyn. Jest on rozwiązaniem technicznym znacznie poprawiającym sprawność procesu badawczego dzięki możliwości wyjmowania z wnętrza komory próżniowej próbek podczas obróbki PVD/CVD i poddawania ich ocenie. Możliwość zbadania dowolnego etapu procesu na podstawie oceny jego efektu bez ingerowania w jego przebieg jest najlepszym sposobem opracowania i weryfikacji złożonej, wieloetapowej technologii obróbki realizowanej w zamkniętym urządzeniu. Opracowane rozwiązania techniczne manipulatorów i śluzy próżniowej, dzięki zunifikowanym przyłączom, mogą znaleźć zastosowanie również w innych dziedzinach techniki wykorzystujących środowisko wysokiej próżni.

Praca naukowa wykonana 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., Wierzchoń 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. Mazurkiewicz A., Smolik J., Walkowicz J.: New technologies of surface engineering in the area of industrial implementation. Advances in Manufacturing Science and Technology, 2002, 26, 25–37.
4. Knotek O., Löffler F., Krämer G.: Deposition, properties and performance behaviour of carbide and carbonitride PVD coatings. Surface and Coatings Technology, 1993, 61, 320–325.
5. Smolik J., Zdunek Z.: Investigation of the influence of chemical composition of $Ti(C_xN_{1-x})$ layer on the stresses value in the multilayer coating $TiC/Ti(C_xN_{1-x})/TiN$. Surface and Coatings Technology, 1999, 116–119, 398–403.
6. Vogel J.: Technical paper. An update of PVD TiN and new generation coatings for cutting and forming tools and component wear parts. International Manufacturing Technology Conference, Surface Treatment of Cutting Tools, Chicago Illinois, 1990.

7. Smolik J., Walkowicz J., Tacikowski J.: Influence of the structure of the composite: 'nitrided layer/PVD coating' on the durability of tools for hot working. *Surface and Coatings Technology*, 2000, 125, 134–140.
8. Vetter J.: Vacuum arc coatings for tools: potential and application. *Surface and Coatings Technology*, 1995, 76-77, 719–724.
9. Smolik J., Paszenda Z., Walkowicz J., Marciniak J., Chrzanowski W.: Carbon coatings on implants for traumatology made from the Cr-Ni-Mo steel. 18th European Conference on Biomaterials, Stuttgart (Germany), 2003.
10. Paulino-Sagradi D., Sagradi M., Karimi A., Martin J.L.: Damping capacity of Fe-Cr-X high-damping alloys and its dependence on magnetic domain structure. *Scripta Materialia*, 1988, 39 (2), 131–138.

Recenzent:
Krzysztof ZDUNEK

The system of positioning substrates in PVD devices

Key words

Vacuum chamber, PVD processes, load lock, substrate transporters.

Summary

The article presents technical solutions of positioning substrates in devices for examining and developing PVD technologies. It is composed of a load lock for placing samples in a vacuum chamber and a system of substrate transporters which allow for the identification of the effects of selected process stages.

