

# ZASTOSOWANIE PRÓŻNIOWYCH POMP TURBOMOLEKULARNYCH W PROCESACH NANOSZENIA CIENKICH WARSTW

## APPLICATION OF TURBOPUMPS IN THIN COATING PROCESSES

### STRESZCZENIE

*W artykule przedstawiono dwa najczęściej spotykane systemy pomp próżniowych stosowanych w przemysłowych i laboratoryjnych urządzeniach do nanoszenia cienkich warstw. Porównanie rozwiązań opartych na dwóch różnych typach pomp wskazuje zalety urządzeń z zastosowaniem pomp turbomolekularnych w porównaniu z dotychczas stosowanymi powszechnie pompami dyfuzyjnymi.*

### SUMMARY

*General overview of two main vacuum pumping systems used in industrial and laboratory thin coating processes are presented in the paper. Two solutions based on different types of high vacuum pumps are compared showing some advantages of turbopumps over commonly used oil diffusion pumps.*

Obserwowany w ostatnich latach rozwój różnych gałęzi przemysłu nieustannie stymuluje poszukiwania nowych, zaawansowanych technologii materiałowych. Obok takich gałęzi gospodarki, jak elektronika, przemysł optyczny i oświetleniowy czy medycyna (matryce, implanty, optyka okularowa i precyzyjna, szkło architektoniczne, warstwy odbiciowe, półprzewodniki i sensory, warstwy dekoracyjne), ważną dziedzinę, przed którą stoją coraz to nowe wyzwania, stanowi technologia materiałów narzędziowych. Narzędzia skrawające i elementy maszyn powinny sprostać coraz większym wymaganiom w zakresie właściwości mechanicznych, odporności na zużycie, korozję i wysokie temperatury. We wszystkich wymienionych dziedzinach, równoległe do tradycyjnych metod obróbki powierzchniowej, takich jak: napawanie, obróbka galwaniczna czy cieplno-chemiczna, od lat sześćdziesiątych XX w. uwaga technologów skierowana została w stronę próżniowych technologii osadzania, polegających na pokrywaniu obrabianych materiałów twardymi i odpornymi na zużycie powłokami o grubości od kilku do kilkunastu mikrometrów. W procesach tego rodzaju (fizyczne i chemiczne osadzanie z fazy gazowej, ang. *physical vapor deposition* – PVD, *plasma associated*

*physical vapor deposition* – PAPVD, *low pressure chemical vapor deposition* – LP CVD) wykorzystuje się plazmę jako medium krystalizacji materiałów na powierzchni obrabianego podłoża. Innym kierunkiem jest wykorzystanie technologii próżniowych do modyfikacji powierzchni narzędzi i elementów maszyn. We wszystkich tych metodach obecność zjonizowanych cząstek w atmosferze roboczej, o kontrolowanym składzie i obniżonym ciśnieniu, tworzy środowisko umożliwiające wytworzenie materiałów o właściwościach nieosiągalnych za pomocą innych technologii.

Techniki PVD, a niekiedy również CVD, są ściśle związane z techniką próżniową. Wymagania co do jakości pokrywanych powierzchni oraz parametry stosowanych gazów roboczych lub ich mieszanin (skład, szybkość przepływu, ciśnienia parcjalne składników mieszaniny, ciśnienie całkowite) wymagają uzyskania maksymalnie czystej próżni oraz utrzymywania odpowiedniej, do danego procesu technologicznego, atmosfery gazowej. Czynniki te, obok geometrii układu źródła, rodzaju źródła plazmy czy temperatury, decydują o prędkości procesu nanoszenia, strukturze otrzymywanych powłok i jednorodności produktu końcowego. Dla uzyskania cienkich

<sup>1</sup> SOFTRADE Sp. z o.o., Poznań

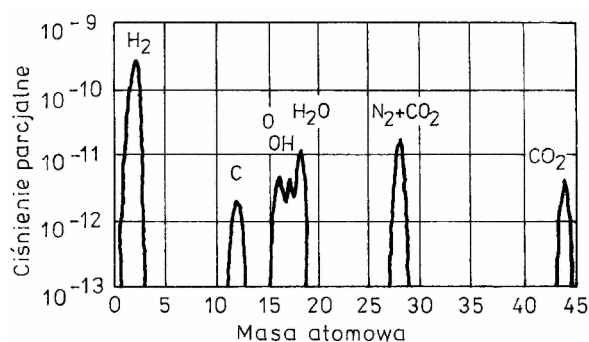
warstw o pożądanej jakości czynniki te muszą być precyzyjnie utrzymywane i kontrolowane.

Pierwotnie, w urządzeniach do osadzania cienkich warstw, zwłaszcza w rozwiązaniach starszego typu, stosowano próżniowe pompy olejowe dyfuzyjne. Posiadają one jednak kilka zasadniczych wad: wsteczny strumień par oleju zanieczyszczający komorę procesową, długi czas rozruchu, duże zużycie energii elektrycznej, konieczność stosowania systemu próżniowych zaworów odcinających, brak kontroli operatora nad pracą pompy, duże koszty utrzymania.

Sytuacja ta zmieniała się w wyniku wprowadzania coraz większych wymagań, co do jakości materiałów. Obecnie obserwuje się tendencję do zastępowania pomp dyfuzyjnych pompami turbomolekularnymi. Ważnym impulsem do szukania nowych rozwiązań konstrukcyjnych było zapotrzebowanie rynku na powłoki wielowarstwowe, gradientowe oraz kompozytowe o zróżnicowanych grubościach i własnościach fizykochemicznych. Ich uzyskanie wymaga zapewnienia kontroli parametrów środowiska procesowego w czasie rzeczywistym, na podstawie analizy jego cech (np. ciśnienia i składu mieszaniny substratów gazowych). Przy zastosowaniu pomp dyfuzyjnych realizacja tych wymagań jest bardzo trudna lub niekiedy wręcz niemożliwa.

Najistotniejszą zaletą, wynikającą z zastosowania pomp turbomolekularnych w procesach typu PVD i LP CVD, jest możliwość uzyskania czystej próżni. W nowoczesnych konstrukcjach, w układach zawieszenia rotora "górne" łożyska kulkowe zastąpiono łożyskami na magnesach stałych, samarowo-kobaltowych. Taki sposób zawieszenia części ruchomych eliminuje miejsca bezpośredniego styku gorącego statora z wirnikiem i ogranicza nagrzewanie się wirnika. Łożysko magnetyczne nie wymaga również stosowania środków smarnych, które wprowadzają zanieczyszczenia do komory roboczej napylarek. Obecność wstecznego strumienia par oleju, tak charakterystyczna dla pomp dyfuzyjnych, została w pompach turbo niemal całkowicie wyeliminowana. Dzięki wysokiemu współczynnikowi kompresji (rzędu  $10^{15}$ ) dla cząstek gazów o dużej masie molekularnej pary oleju, pochodzące od pomp olejowych próżni wstępnej, nie przedostają się do obszaru procesowego. Coraz częściej też rozwiązuje się problem "próżni czystej" stosując suche (bezolejowe) pompy próżni wstępnej, np. membranowe, krzywkowe lub tłokowe. Pozwala na to duża elastyczność obecnie produkowanych pomp turbo co do wartości próżni wstępnej.

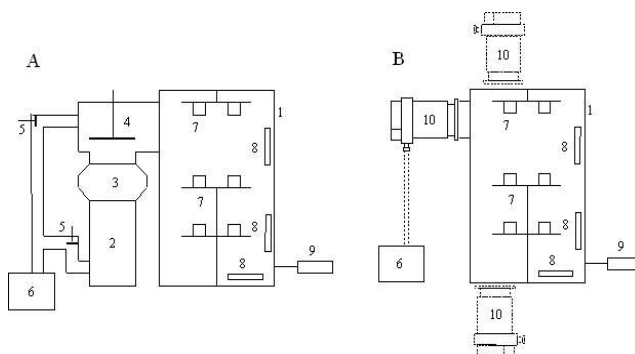
Stopień czystości procesu można zilustrować za pomocą widma masowego zawartości komory próżniowej odpompowanej za pomocą pompy turbo. Przykład pokazano na rys. 1.



Rys 1. Widmo masowe gazów resztkowych w komorze próżniowej pompowanej pompą turbomolekularną

Fig. 1. Residual gas spectrum of a turbopumps in process vacuum chamber

Zastosowanie pomp turbo pozwala na wyeliminowanie wad konstrukcyjnych pomp dyfuzyjnych. Dla przykładu, układ złożony z pompy próżni wstępnej, pompy turbomolekularnej i komory procesowej nie wymaga zaworów rozdzielających oraz systemu typu by-pass. Przykład porównujący oba rozwiązania pokazano schematycznie na rys. 2.



Rys. 2. Ogólny schemat systemu do nanoszenia cienkich warstw metodami PVD i CVD. A – komora procesowa pompowana olejową pompą dyfuzyjną. B – komora procesowa pompowana pompą turbomolekularną: 1 – komora procesowa, 2 – próżniowa olejowa pompa dyfuzyjna, 3 – odrzutnik par oleju, 4 – zawór kłapkowy, 5 – zawory by-pass, 6 – pompa próżni wstępnej, 7 – pokrywane wyroby, 8 – źródła, 9 – system dozowania gazów, 10 – pompa turbomolekularna

Fig. 2. General diagram of PVD and CVD thincoating systems. A – process vacuum chamber with oil diffusion pump, B – process vacuum chamber with turbomolecular pump: 1 – process vacuum chamber, 2 – diffusion pump, 3 – baffle, 4 – butterfly valve, 5 – by-pass valves, 6 – backing pump, 7 – coated products, 8 – plasma sources, 9 – gas feeder, 10 – turbomolecular pump

Poza uproszczeniem konstrukcji stanowiska pompowego, układ pompowy turbo ze sterowaniem daje operatorowi pełną kontrolę nad przebiegiem procesu nanoszenia. Cały system pompowy charakteryzuje się krótkim czasem rozruchu i zatrzymania, a wymagane ciśnienie robocze oraz przepływ gazów atmosfery roboczej w komorze można regulować poprzez zmianę obrotów pompy

turbo. Oprócz pełniejszej kontroli prowadzi to do dużych oszczędności w zużyciu energii. Na rys.3. pokazano zdjęcie stanowiska do nanoszenia warstw PVD, z dwiema pompami turbomolekularnymi.



Rys. 3. Urządzenie do nanoszenia warstw typu TiN. Na komorze procesowej umieszczone są dwie pompy turbomolekularne TPH 2101. Próżnia wstępna wytwarzana jest przez stanowisko pompowe: pompa olejowa łopatkowa i pompa Rootsa

*Fig. 3. TiN coating system. There are two TPH 2101 turbopumps located on the top of process vacuum chamber. Rotary van pump together with a Roots pump are used as the backing pumping system for pre-vacuum generation.*

W procesach wielkoprzemysłowych wymiana pomp dyfuzyjnych na pompy turbo daje wymierne korzyści związane z ochroną środowiska naturalnego. Dla przykładu, w jednym z niemieckich zakładów pokrywającym szkło architektoniczne odbiciowymi warstwami termoizolacyjnymi, zastąpienie pomp dyfuzyjnych pompami turbo zredukowało koszty zakupu, wymiany (utrzymanie ruchu) i późniejszej utylizacji ok. 500 litrów oleju syntetycznego rocznie.

Wśród wielu producentów pomp turbomolekularnych do największych należy niemiecka firma Pfeiffer Vacuum GmbH. Pompy niemieckiego producenta od lat stosowane są w urządzeniach do osadzania cienkich warstw przeznaczonych do różnych celów i produkowanych przez tak znane firmy jak: Von Ardenne, Applied Films, Leybold Optics, Satis, Singulus, Eifeler, Ceme Con, Hauzer, Platiit oraz wielu innych.

W ofercie Pfeiffer Vacuum znajdujemy pompy o wydajnościach pompowania od 10 – 2100 l/s i w różnych wersjach: z łożyskami ceramicznymi kulkowymi, z zawieszeniem magnetycznym, wyko-

nanie specjalne do pracy w atmosferach korozyjnych. Wiele typów pomp turbomolekularnych wykonywanych jest w wersji *drag*, tzn. na jednej osi rotora zamontowany jest stopień pompy molekularnej i turbomolekularnej. Takie rozwiązanie znacznie zwiększa współczynnik kompresji dla pompowanych gazów oraz zmniejsza wartość wymaganej próżni wstępnej do pojedynczych mbar.

Specjalna konstrukcja mocowania łożyska kulkowego dolnego wraz z wkładem smarującym lub pompką olejową, stosowaną dla większych pomp, wymusza przepływ oleju przez łożysko. Olej o bardzo niskiej prężności par smarując łożysko jednocześnie oczyszcza je z ewentualnych zabrudzeń. Pompy przystosowane są również do pracy z gazem buforowym w zależności od wymagań prowadzonego procesu. Podawany gaz buforowy, azot lub argon, chroni łożysko dolne przed zanieczyszczeniami stałymi oraz chłodzi rotor. Prosta, zwarta budowa wraz z zasilaniem i elektroniką sterującą zamontowaną bezpośrednio na korpusie pompy ułatwia projektowanie nowych i modernizację starych urządzeń oraz prace montażowe. Wyposażenie elektroniki sterującej w przyłącza do zdalnego sterownika oraz interfejsy RS 485 i Profibus pozwala na integrację z systemem kontrolno-sterującym całej maszyny.

Firma Pfeiffer Vacuum zaprojektowała specjalny typoszereg pomp do przemysłowego osadzania warstw z fazy gazowej z udziałem plazmy, z zawieszeniem rotora na łożysku kulkowym: TPH 1201/1501, TPH 1801, TPH 2301 oraz z rotorem zawieszonym magnetycznie (lewitującym) HiMag 2400®. Pompy te cechują się: stabilną pracą przy wysokiej wydajności dla mieszanin gazowych, wysoką tolerancją na wahania wartości ciśnienia próżni wstępnej, odpornością na pyły i drobne zanieczyszczenia, odpornością na nagłe zapowietrzenia. W zależności od wykonania mogą one być montowane w różnych pozycjach od pionowej poprzez poziomą aż do pionowej odwróconej kołnierzem pompującym w dół. Odpowiednia konstrukcja mocowania łożyska pozwala na jego szybką wymianę bezpośrednio u klienta bez konieczności demontowania pompy z urządzenia.

Powyżej, w wielkim skrócie, przedstawiono zakres wykorzystania oraz podstawowe zalety pomp turbomolekularnych. Zakres wykorzystania jest stale poszerzany o nowe aplikacje wraz z rozwojem nowych technologii modyfikacji powierzchni i nanoszenia cienkich warstw oraz wszędzie tam, gdzie jest niezbędna czysta próżnia lub też ściśle określona atmosfera gazowa (plazma) o obniżonym ciśnieniu. Równolegle prowadzone są też prace nad ciągłym udoskonalaniem konstrukcji i parametrów pracy pomp turbomolekularnych.

Powyższy artykuł został przygotowany na podstawie materiałów udostępnionych przez firmę Pfeiffer Vacuum GmbH.