

**Adam MAZURKIEWICZ, Jerzy SMOLIK, Artur PIASEK,
Tomasz SAMBORSKI**
Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

**PROJEKT MODUŁOWEGO TYGLA
WIELOPOZYCYJNEGO PRZEZNACZONEGO
DO ODPAROWYWANIA MATERIAŁÓW
METODĄ EB-PVD**

Słowa kluczowe

Metoda EB-PVD, wiązka elektronowa, tygiel wielopozycyjny.

Streszczenie

W artykule przedstawiono problemy dotyczące wykorzystania metody EB-PVD (*electron beam physical vapour deposition*) do odparowywania materiałów o różnych właściwościach cieplnych, w tym: różnych współczynnikach przewodności cieplnej, różnych temperaturach topnienia i parowania. Opisano proces odparowania materiału wiązką elektronową, a także przedstawiono rozwiązania techniczne tygli i urządzeń, umożliwiające wytwarzanie powłok złożonych metodą EB-PVD. Autorzy zaprezentowali nowatorski projekt modułowego tygla wielopozycyjnego, który materiałom o różnych właściwościach cieplnych zapewnia różną intensywność chłodzenia. Umożliwia to efektywne odparowanie różnych materiałów na tym samym etapie procesu technologicznego, co jest podstawą do komponowania powłok złożonych, tj. wieloskładnikowych, kompozytowych i wielowarstwowych.

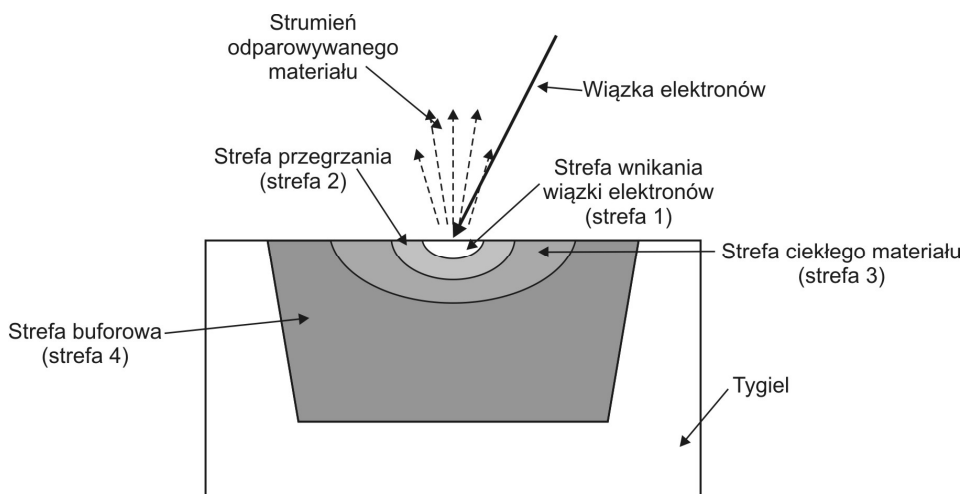
Wprowadzenie

Rozwój opracowań technologicznych w inżynierii powierzchni, a w szczególności rozwój technologii hybrydowych [1–3], polegających na łączeniu różnych metod obróbki powierzchniowej w jednym procesie technologicznym, stworzył nowe możliwości w wytwarzaniu złożonych materiałów powłok. Szczególną rolę w tym obszarze odgrywa metoda odparowania materiałów wiązką elektronową – EB-PVD (*electron beam physical vapour deposition*) [4–5]. Podstawowym zjawiskiem w metodzie EB-PVD jest doprowadzenie materiału umieszczonego w tyglu do stanu parowania poprzez jego bombardowanie wiązką elektronów o dużej energii. Koncentracja wiązki elektronów na małej powierzchni materiału umożliwia uzyskanie wysokich temperatur w strefie bombardowania i w efekcie odparowywanie materiałów trudno topliwych, w tym: metali (W, Mo) oraz materiałów ceramicznych (Al_2O_3). Te właśnie możliwości powodują, że metoda EB-PVD jest coraz częściej wykorzystywana w hybrydowych procesach obróbki powierzchniowej do wytwarzania powłok funkcjonalnych, komponowanych na bazie materiałów ceramicznych, np. powłok z barierą cieplną [6], powłok odpornych na zużycie przez tarcie [7] oraz powłok odpornych na zużycie erozyjne [8]. Z doświadczeń własnych autorów artykułu wynika, że wykorzystanie metody EB-PVD w konfiguracji z metodą rozpylania łukowego (Arc-Evaporation) umożliwia wytwarzanie funkcjonalnych powłok nanostrukturalnych, w tym zarówno kompozytowych, jak i wielowarstwowych [9–10].

1. Odparowywanie materiałów wiązką elektronową

Zjawiska będące wynikiem oddziaływania elektronów skupionych w wiązce elektronowej z ciałem stałym są bardzo złożone. Charakter i intensywność tych zjawisk są silnie uzależnione zarówno od parametrów wiązki, tj. energii elektronów i kąta ich padania, jak i od parametrów ciała stałego, w tym: liczby atomowej pierwiastków składowych oraz jego gęstości. Zjawiska te możemy podzielić na dwie grupy: rozpraszanie sprężyste elektronów wiązki, które następuje bez zmiany ich energii oraz rozpraszanie niesprężyste, które charakteryzuje się częściową lub całkowitą utratą energii przez elektrony pierwotne. Straty energii elektronów rozpraszanych niesprężysto, wskutek zderzeń z elektronami w ciele stałym, mogą inicjować różne zjawiska fizyczne, jak np: emisję elektronów wtórnych, emisję fotonów, emisję elektronów Augera i promieniowania rentgenowskiego lub też przekazywać energię kinetyczną elektronom ciała stałego [11]. Wzbudzone elektrony materiału, wskutek zderzeń z innymi elektronami ciała stałego, rozpraszają zaabsorbowaną energię i przekazują ją w postaci energii cieplnej do sieci krystalicznej bombardowanego materiału [12]. W efekcie następuje szybki i bardzo intensywny wzrost temperatury bombardowanego ciała stałego.

Rozkład temperatur w obszarze bombardowania zależy od warunków rozpraszania elektronów w materiale [13]. Na rys. 1 pokazano schematycznie rozkład temperatur w obszarze padania wiązki elektronowej. Najwyższa temperatura panuje w strefie bezpośredniego wnikania elektronów w materiał (strefa 1). W tej strefie występuje najbardziej intensywne parowanie oraz możliwa jest sublimacja bombardowanego materiału. Bezpośrednio za strefą 1 występuje strefa przegrzanego materiału (strefa 2), w której temperatura materiału również przewyższa temperaturę parowania, ale intensywność procesu parowania jest znacznie mniejsza niż w strefie 1 i maleje wraz ze wzrostem odległości od miejsca padania wiązki. Strefa 2 przechodzi płynnie w strefę 3, w której temperatura bombardowanego materiału jest nadal większa od temperatury topnienia, ale mniejsza od temperatury parowania, tzw. strefa ciekła. Pomiedzy strefą ciekłą a ścianą tygla znajduje się strefa intensywnego chłodzenia (strefa 4), w której temperatura jest mniejsza od temperatury topnienia.



Rys. 1. Schemat rozkładu temperatur w obszarze padania wiązki elektronowej

O intensywności procesu odparowania materiału w wyniku bombardowania wiązką elektronów decyduje wielkość stref 1 i 2, które tworzą tzw. „jeziorko parowania”. Strefy 3 i 4 zabezpieczają tygiel przed przegrzaniem lub nadtopieniem, co w wyniku procesów dyfuzji lub mieszania mogłoby spowodować zanieczyszczenie oparowanego materiału materiałem tygla.

2. Wpływ właściwości materiałów na przebieg procesu ich odparowywania wiązką elektronową

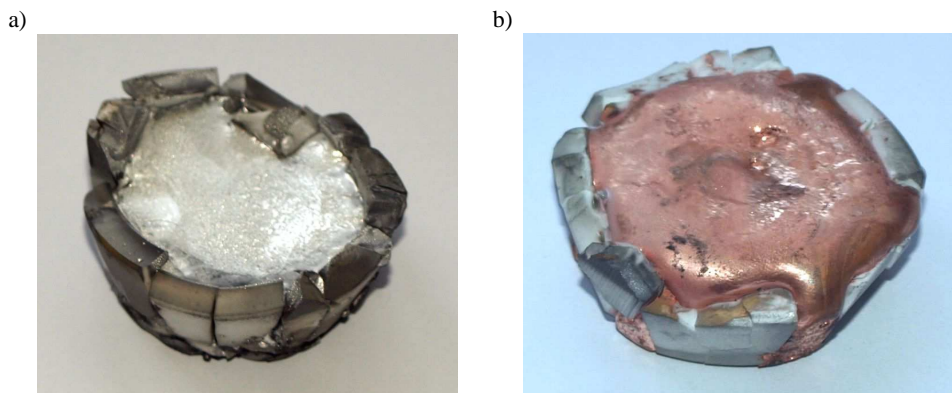
Wielkość poszczególnych stref oddziaływania wiązki elektronów z bombardowanym materiałem zależy zarówno od energii wiązki, jak również od właściwości bombardowanego materiału, w tym: gęstości, ciepła właściwego, temperatur przemian fazowych oraz przewodności cieplnej. Głębokość wnikania elektronów w materiał zwiększa się wraz ze wzrostem napięcia przyspieszającego, natomiast maleje wraz ze wzrostem gęstości bombardowanego materiału [14]. Właściwości materiałów najczęściej stosowanych do osadzania powłok metodą EB-PVD, które istotnie wpływają na przebieg procesu ich odparowania wiązką elektronową pokazano w tabeli 1. Procesowi nagrzewania i odparowywania wiązką elektronów towarzyszy przeciwstawny proces chłodzenia poprzez ścianki tygla. Współzależność tych procesów powoduje, że wielkość stref 1–4 pokazanych na rys. 1, jest również uzależniona od materiału i konstrukcji tygla, które mają znaczący wpływ na intensywność chłodzenia odparowywanego materiału [15].

Materiały o dużym przewodnictwie cieplnym, np. Al, Cu, wymagają konstrukcji tygla zapewniającej niską intensywność odprowadzania ciepła. W przypadku zastosowania tygla miedzianego chłodzonego wodą ich odparowanie wymaga zastosowania dodatkowej izolacji termicznej, oddzielającej ścianki tygla od nagrzewanego wsadu. Na rys. 2 pokazano wsady Al oraz Cu odparowywane z miedzianego tygla chłodzonego wodą przy zastosowaniu izolacji ceramicznej.

Tabela 1. Wybrane właściwości materiałów najczęściej stosowanych do osadzania powłok metodą EB-PVD

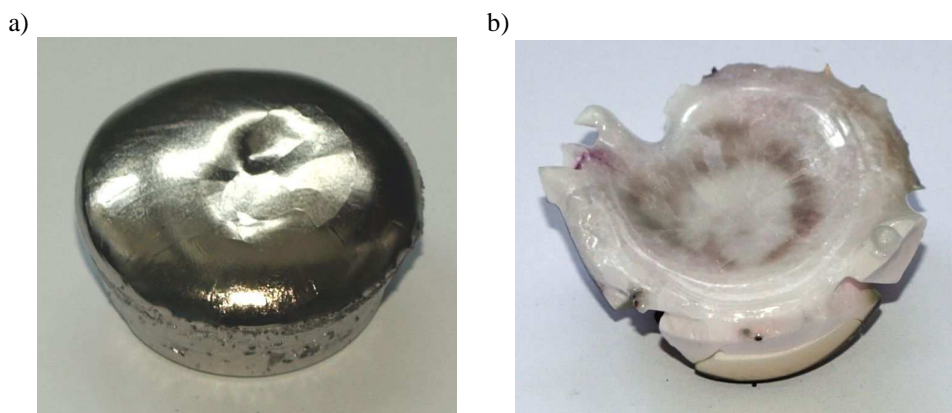
Materiał	Gęstość [g/cm ³]	Przewodnictwo cieplne [W/(m*K)]	Temperatura topnienia [°C]	Temperatura wrzenia [°C] (P = 10 ⁻⁴ Torr)	Zdolność odparowania techniką EB-PVD ^{*)}
Al	2,70	237	660	1010	BD
Al ₂ O ₃	2,42	30	2072	1550	BD
Cr	7,20	93,8	1857	1157	S
Co	8,9	100	1495	1200	BD
Cu	8,92	401	1083	1017	BD
Fe	7,86	80,3	1535	1180	BD
Gd	7,90	10,5	1313	1175	BD
Mg	1,74	156	649	327	S
Mo	10,20	138	2610	2117	BD
Ni	8,90	90,8	1455	1262	BD
Ti	4,50	21,9	1660	1453	BD
W	19,35	174	3410	2757	D
ZrO ₂	5,89	1,8÷3	2700	2200	D

^{*)} BD – bardzo dobra, D – dobra, S – sublimacja.



Rys. 2. Widok aluminium (a) i miedzi (b) po procesie odparowania w miedzianym tyglu chłodzonym wodą przy zastosowaniu izolacji ceramicznej

Materiały o niskim współczynniku przewodnictwa cieplnego i jednocześnie wysokiej temperaturze topnienia i wrzenia, np. Ti, Gd, Ni, Al_2O_3 , z powodzeniem można odparowywać w miedzianych tyglach chłodzonych wodą. Proces odprowadzania ciepła do ścianek tygla jest na tyle mały, że dobierając odpowiednio moc wiązki można prowadzić długotrwałe procesy odparowywania bez obawy przed przegrzaniem ścianek tygla. Przykładowe wsady Ti oraz Al_2O_3 po procesie odparowywania bezpośrednio w tyglach miedzianych chłodzonych wodą pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Widok tytanu (a) oraz Al_2O_3 (b) po odparowaniu w miedzianym tyglu chłodzonym wodą

Materiały trudnotopliwe, np. W, Mo, charakteryzujące się wysoką temperaturą topnienia i wrzenia, dużym współczynnikiem przewodności cieplnej oraz dużą gęstością wymagają w procesie odparowania niskiej intensywności odprowadzania ciepła oraz stosowania dużych wartości mocy wiązki. Szczególnym rodzajem materiałów są te, które podczas procesu bombardowania wiązką

elektronów ulegają sublimacji, np. Cr, Mg. W przypadku obu wymienionych grup materiałów uzyskanie dużej efektywności procesu parowania wymaga specjalnych zabiegów technologicznych, polegających na przemieszczaniu wiązki względem odparowywanego materiału. Przykładowe wsady: wolframu jako materiału trudnotopliwego oraz Cr jako materiału sublimującego, po procesach odparowywania bezpośrednio w tyglach miedzianych chłodzonych wodą pokazano na rys. 4.

Analiza procesu odparowania różnych materiałów metodą wiązki elektronowej pozwoliła podzielić odparowywane materiały na cztery różne grupy, w zależności od ich właściwości, tj.: materiały o dużym współczynniku przewodności cieplnej, materiały o małym współczynniku przewodności cieplnej, materiały trudnotopliwe oraz materiały sublimujące, a także wskazać wymagania dotyczące właściwości tygli, które materiałom z danej grupy zapewnią najbardziej odpowiednią dynamikę procesu chłodzenia.

a)



b)

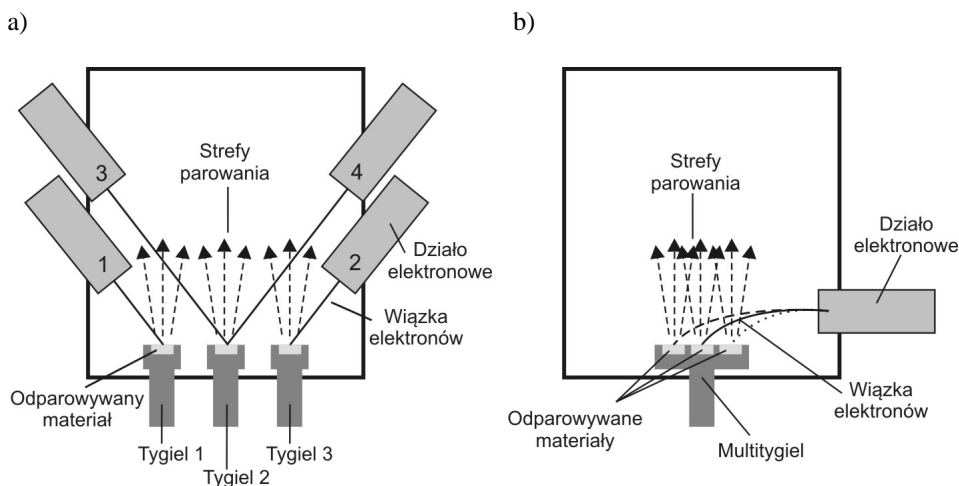


Rys. 4. Widok wolframu (a) oraz chromu (b) po odparowaniu w miedzianym tyglu chłodzonym wodą

W przypadku materiałów o dużym współczynniku przewodności cieplnej, w celu zapewnienia jak najbardziej efektywnego procesu ich odparowywania metodą wiązki elektronowej, wskazane jest stosowanie tygli charakteryzujących się niskim przewodnictwem cieplnym. W przypadku materiałów o małym współczynniku przewodnictwa cieplnego wskazane jest natomiast zapewnienie szybkiego odprowadzania ciepła z nagrzewanego wsadu przez ściany tygla, aby nie dopuścić do ich przegrzania. Odparowywanie materiałów trudnotopliwych, wymaga z kolei stosowania tygli zapewniających małą intensywność chłodzenia, ale jednocześnie odpornych na działanie wysokiej temperatury. Odparowanie materiałów sublimujących wymaga stosowania tygla o konstrukcji pozwalającej na ciągłą zmianę położenia strefy działania wiązki elektronowej, np. poprzez wprowadzenie ruchu wsadu lub ruchu wiązki elektronowej.

3. Rozwiązania techniczne wytwarzania powłok złożonych metodą EB-PVD

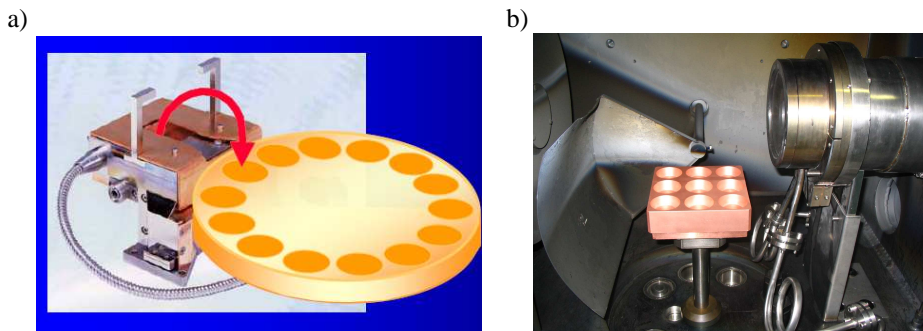
Możliwości osadzania powłok złożonych, w tym: wieloskładnikowych oraz wielowarstwowych, determinuje konstrukcja urządzeń EB-PVD, która musi umożliwiać odparowywanie różnych materiałów w jednym procesie technologicznym. W praktyce stosowane są w tym celu dwa różne rozwiązania konstrukcyjne. Jednym z nich są stanowiska wyposażone w większą liczbę dział elektronowych i większą liczbę tygli [16] (rys. 5a) oraz stanowiska z jednym działem elektronowym wyposażone w tygiel wielopozycyjny specjalnej konstrukcji [17] (rys. 5b). Zaletą urządzeń wyposażonych w kilka dział elektronowych jest możliwość indywidualnego sterowania parametrami wiązki dla każdego odparowywanego materiału. Poszczególne materiały są odparowywane z oddzielnych tygli o indywidualnych systemach chłodzenia. Wadą takiego rozwiązania jest natomiast bardzo duży koszt urządzenia oraz trudności konstrukcyjne wynikające z konieczności wyeliminowania wzajemnego wpływu systemów odchylenia poszczególnych dział elektronowych, konieczności stosowania rozbudowanego systemu sterowania pracą poszczególnych dział elektronowych oraz systemu zabezpieczeń przed promieniowaniem rentgenowskim.



Rys. 5. Schemat urządzenia EB-PVD wyposażonego w cztery działa elektronowe

Rozwiązaniem, które pozwala na wyeliminowanie konieczności stosowania kilku dział elektronowych, jest rozwiązanie z wykorzystaniem tygla wielopozycyjnego. Stosowane są dwa warianty rozwiązań konstrukcyjnych tygla wielopozycyjnego: tygiel wielopozycyjny obrotowy oraz stacjonarny. Tygiel wielopozycyjny obrotowy przystosowany jest do współpracy ze stacjonarnym układem odchylenia wiązki elektronowej. Materiały umieszczone w poszczególnych gniazdach tygla podawane są do strefy odparowania przez odpowiednio

zaprogramowany jego obrót (rys. 6a). Odparowywanie materiałów z tygła wielopozycyjnego stacjonarnego jest realizowane przez zaprogramowane przełączanie wiązki elektronowej pomiędzy kolejnymi gniazdami (rys. 6b).



Rys. 6. Schemat urządzenia EB-PVD wyposażonego w multitygiel: a) obrotowy, b) wielopozycyjny

W obu rozwiązaniach konstrukcyjnych tygła wielopozycyjnego warunki chłodzenia wszystkich odparowywanych materiałów, umieszczonych w poszczególnych gniazdach są jednakowe, co uniemożliwia zapewnienie wymaganych warunków chłodzenia w przypadku odparowywania materiałów o różnych właściwościach cieplnych.

4. Projekt modułowego tygła wielopozycyjnego

W celu stworzenia możliwości technicznych do różnicowania intensywności chłodzenia w poszczególnych gniazdach tygła wielopozycyjnego, autorzy artykułu opracowali projekt konstrukcyjny wielopozycyjnego tygła modułowego.

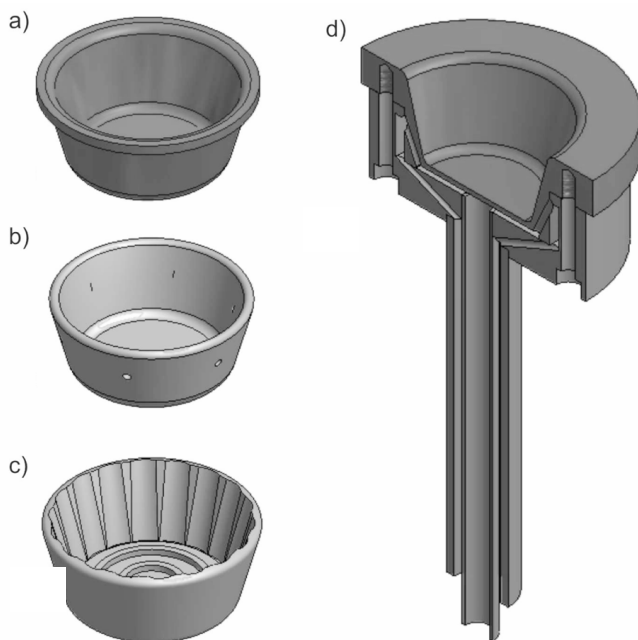
Koncepcja modułowego tygła wielopozycyjnego powstała poprzez podział tygła wielopozycyjnego na cztery moduły, zgodnie z przeprowadzonym powyżej podziałem materiałów na cztery główne grupy, tj.: materiały o dużym współczynniku przewodności cieplnej, materiały o małym współczynniku przewodności cieplnej, materiały trudnotopliwe, materiały sublimujące.

W celu odparowania materiałów o małym współczynniku przewodnictwa cieplnego (np. Ti, Gd, Ni, Al_2O_3), które wymagają intensywnego odprowadzania ciepła ze ścianek tygła zaprojektowano typowy tygiel miedziany chłodzony bezpośrednio wodą (rys. 7a). Miedź ze względu na dużą przewodność cieplną ($401 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) skutecznie odprowadza ciepło od roztopionego wsadu nagrzanego do temperatury $1700\div 1800^\circ\text{C}$, co umożliwia prowadzenie długotrwałych procesów osadzania bez groźby przegrzania tygła.

Dla materiałów o dużym współczynniku przewodności cieplnej (np. Al, Cu) oraz niskiej temperaturze topnienia, które wymagają tygła charakteryzującego się

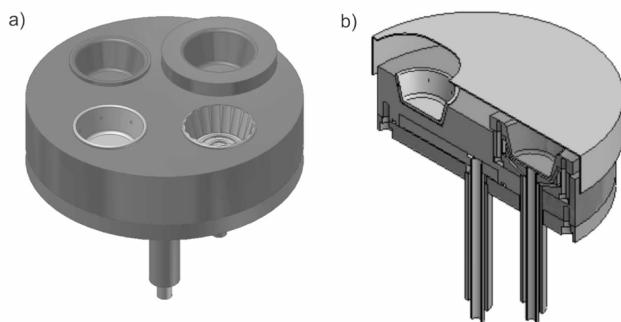
małą przewodnością cieplną, zaprojektowano tygiel wykonany z materiału ceramicznego (Al_2O_3 , ZrO_2 , BN) pokazany na rys. 7b.

Dla materiałów trudnotopliwych (np. W, Mo), charakteryzujących się dużą przewodnością cieplną i jednocześnie wysoką temperaturą topnienia ($2600 \div 3400^\circ\text{C}$), wymagających konstrukcji tygla o ograniczonym przewodnictwie cieplnym, zaprojektowano tygiel grafitowy (rys. 7c), którego wewnętrzna powierzchnia została pokryta powłoką z barierą cieplną na bazie ZrO_2 o grubości $\approx 150 \mu\text{m}$. Niski współczynnik przewodnictwa cieplnego ($24 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$), wysoka temperatura topnienia (3600°C) oraz dodatkowa bariera cieplna na powierzchni wewnętrznej ($\text{NiCoCrAlY}/\text{ZrO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3$) umożliwiają pracę tygla w temperaturach powyżej 3500°C .



Rys. 7. Elementy modułowego tygla wielopozycyjnego: (a) tygiel miedziany bezpośrednio chłodzony wodą, (b) tygiel ceramiczny, (c) tygiel grafitowy ograniczający powierzchnię styku odparowywanego materiału z chłodzonym tygłem, (d) tygiel obrotowy

Dla materiałów sublimujących (np. Cr, Mg), które wymagają stosowania tygla o konstrukcji pozwalającej na ciągłe przemieszczanie odparowywanych obszarów materiału w strefie działania wiązki elektronowej, zaprojektowano tygiel obrotowy chłodzony wodą (rys. 7d). Wprowadzenie obrotu tygla pozwala na równomierne odparowywanie materiału z całej powierzchni wsadu. Całość konstrukcji stanowi okrągły blok miedziany, z wyznaczonymi czterema gniazdami zlokalizowanymi po obwodzie tygla (rys. 8a).



Rys. 8. Korpus miedziany modułowego tygla wielopozycyjnego: (a) widoczne moduły przeznaczone do odparowywania różnych materiałów, (b) przesłona obrotowa

Gabaryty zewnętrzne oraz umiejscowienie gniazd dopasowane zostało do możliwości technologicznych układu odchylenia wiązki elektronowej wykorzystywanego w urządzeniu Specjal EB-PVD, zaprojektowanym i wytworzonym w Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu. Woda chłodząca doprowadzana jest do tygla poprzez centralną magistralę umiejscowioną w osi tygla i rozprowadzona kanałami chłodzącymi wewnątrz miedzianej podstawy. Tygiel jest wyposażony w obrotową przesłonę zasłaniającą niewykorzystywane podczas procesu osadzania gniazda tygla w celu uniknięcia zanieczyszczenia osadzonym materiałem (rys. 8b).

Podsumowanie

Metoda odparowywania materiałów poprzez bombardowanie wiązką elektronową (EB-PVD) umożliwia odparowanie materiałów trudnotopliwych, dzięki czemu stwarza unikalne możliwości w konfigurowaniu powłok funkcjonalnych. Główną wadą metody EB-PVD jest natomiast istotne ograniczenie w procesach odparowywania różnych materiałów w jednym procesie technologicznym. Realizacja takich procesów wymaga drogich rozwiązań technicznych, jak np. kilku dział elektronowych i kilku tygli bądź też świadomych ograniczeń jakościowych poprzez odparowywanie kilku materiałów z jednego tygla wielopozycyjnego i przy zastosowaniu systemu dynamicznego odchylenia wiązki elektronowej. Zdaniem autorów artykułu bardzo skutecznym technicznie i jednocześnie atrakcyjnym ekonomicznie rozwiązaniem wydaje się być wykorzystanie w tym zakresie wielopozycyjnego tygla modułowego. Dzięki zróżnicowanej konstrukcji poszczególnych gniazd szybkość chłodzenia umieszczonych w nich materiałów dostosowana jest do ich właściwości cieplnych.

Jednocześnie autorzy artykułu wskazują na możliwość modyfikowania przedstawionego rozwiązania w kierunku zapewnienia zróżnicowanej szybkości chłodzenia poszczególnych gniazd tygla o takiej samej konstrukcji. Jest to moż-

liwe poprzez rozdzielenie kanałów chłodzenia poszczególnych tygli i indywidualne sterowanie szybkością przepływu medium chłodzącego w każdym z nich.

Praca naukowa wykonana w ramach realizacji Programu Strategicznego pn. „Innowacyjne systemy wspomagania technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki” w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka.

Bibliografia

1. Hogmark S., Jacobson S., Larsson M.: Design and evaluation of tribological coatings, *Wear* 246 (2000) 20–33.
2. Donet C., Erdemir A.: Historical developments and new trends in tribological and solid lubricant coatings, *Surface and Coatings Technology* 180–181 (2004) 76–84.
3. Smolik J., Mazurkiewicz A.: The development of surface hybrid technologies as a result of practical industrial applications, *Problemy Eksploatacji* 3 (2010) 105–114.
4. Haynes J.A., Lance M.J., Pint B.A., Wright I.G.: Characterization of commercial EB-PVD TBC systems with CVD (Ni, Pt)Al bond coatings, *Surface and Coatings Technology* 146–147 (2001) 140–146.
5. Movchan B.A., Yakowchuk K.Y.: Graded thermal barrier coatings, deposited by EB-PVD, *Surface and Coatings Technology* 188–189 (2004) 85–92.
6. Mazurkiewicz A., Smolik J.: Development of novel nano-structure functional coatings with the use of the original hybrid device, *Materials Science Forum* Vol. 674 (2011) 1–9.
7. Movchan B.A., Marinski G.S.: Gradient protective coatings of different application produced by EB-PVD, *Surface and Coatings Technology* 100–101 (1998) 309–315.
8. Smolik J., Mazurkiewicz A.: The deposition of Ni/Cr-Cr₃C₂ composite coatings by Arc-EB hybrid technology, *Materials Science Forum* Vol. 674 (2011) 71–80.
9. Wolf E.D., Singh J., Naramsimhan K.: Synthesis and characterization of multilayered TiC/TiB₂ coatings deposited by ion beam assisted, electron beam–physical vapor deposition (EB–PVD), *Surface and Coatings Technology* 165 issue 1 (2003) 8–25.
10. Richert M., Mazurkiewicz A., Smolik J.: Chromium carbide coatings obtained by the hybrid PVD methods, *Archives of Material Science and Engineering* vol. 43, issue 1, November 2010, 145–152.
11. Burakowski T.: Wiązka elektronowa i możliwości jej wykorzystania do poprawy własności powierzchni, *Mechanik* 8–9 (1995) 281–285.

12. Szymański H., Friedel K., Słwko W.: Urządzenia elektronowiązkowe, WNT, 1990.
13. Oczó K.: Kształtowanie materiałów skoncentrowanymi strumieniami energii, WUPR, Rzeszów 1988.
14. Vutova K., Vassilieva V., Mladenov G.: Simulation of the heat transfer process through treated metal, molted in a water-cooled crucible by an electron beam, Vacuum vol. 48 n. 2 (1997) 143–148.
15. Metzner Ch., Goedicke K., Hoetzsch G., Scheffel B., Heiness J.-P.: Electron beam-PVD for enhanced surface properties on metallic strips and sheets, Surface and Coatings Technology 94–95 (1997) 663–668.
16. Prabhu V., Indraneel V., Sohyung Cho, Jogender S.: Rapid manufacturing of rhenium components using EB-PVD, Rapid Prototyping Journal, vol. 11 (2005) 66–73.
17. Sielanko W., Czopik A., Jędrzejczyk M., Kulabko A., Krawczyk S., Kozłowski M.: Odchylenie wiązki elektronów o dużej mocy w urządzeniach EB-PVD, Problemy Eksploatacji 1 (2007) 137–144.

Recenzent:
Michał SZOTA

Multi-position modular crucible for the evaporation of materials by EB-PVD

Key words

EB-PVD, electron beam, multi-position crucible.

Summary

The article presents problems concerning the use of the EB-PVD method (electron beam physical vapour deposition) for the evaporation of materials with different thermal properties including different coefficients of thermal conductivity, and different melting points and evaporation temperatures. The evaporation process of material by electron beam is described and the technical solutions for crucibles and devices that enable the production of composite coatings by EB-PVD are presented. The authors present an innovative design of a multi-position modular crucible that provides different cooling intensities for materials with different thermal properties. This enables the efficient evaporation of various materials in the same technological process, which is essential for composing compound coatings, i.e. multi-component, composite and multi-layer.