



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2011 00729**

(22) Data de depozit: **25.07.2011**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30.09.2014** BOPI nr. **9/2014**

(41) Data publicării cererii:
30.01.2013 BOPI nr. **1/2013**

(73) Titular:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE
ȘI DEZVOLTARE PENTRU FIZICĂ ȘI
INGINERIE NUCLEARĂ
"HORIA HULUBEI", STR.REACTORULUI
NR.30, MĂGURELE, IF, RO**

(72) Inventatori:

• **MATEESCU ALICE-ORTANSA,**
*STR.ION MIHALACHE NR.187, BL.4, ET.6,
AP.28, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;*
• **MATEESCU GHEORGHE,**
*STR.NUȚȘOARA NR.6, BL.42, SC.E, ET.1,
AP.70, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO*

(56) Documente din stadiul tehnicii:

**JPH 06259724 (A); JPS 63109131 (A);
JPH 03107807 (A); US 6423419 B1**

(54) **MATERIAL MULTISTRAT DE ACOPERIRE CU PROPRIETĂȚI
TRIBOLOGICE ȘI PROCEDEU DE OBTINERE A ACESTUIA**



RO 128094 B1

1 Invenția se referă la un material de acoperire cu straturi multiple, având proprietăți
tribologice și la un procedeu de obținere, în vid, a acestuia, prin realizarea unor depunerii,
3 în vid, a unor straturi subțiri, multiple.

Acoperirile tribologice, realizate conform invenției, se adresează, în primul rând, com-
5 ponentelor din industria auto, aerospațială și militară, fiind realizate pentru îmbunătățirea pro-
prietăților tribologice ale pieselor metalice, supuse frecării (a cuplelor de frecare), ce pro-
7 voacă, prin uzură, zgomote și încălzire exagerată, distrugerea înainte de termen a acestora,
dar pot fi utilizate și în multe alte domenii ale construcției de mașini.

9 Sunt cunoscute o multitudine de metode și de materiale, pentru realizarea, în vid, a
acoperirilor multiple cu proprietăți tribologice, pentru cuplele de frecare, care se diversifică
11 continuu. Piese mecanice, supuse frecării, lucrează în medii diferite (atmosfera uscată sau
umedă, vacuum, medii lubrifiante lichide etc.) și pentru îmbunătățirea rezistenței la uzură,
13 sunt acoperite cu straturi subțiri, tribologice, care, în afară de un coeficient de frecare - CF
(static și dinamic) cât mai redus și care să nu fie influențat negativ de anumiți factori ai
15 mediului de lucru (temperatură, umiditate, presiune, prezența gazelor corozive etc.) sau de
sarcina de apăsare a cuplei de frecare, trebuie să prezinte și:

17 - duritate ridicată și tenacitate/compresibilitate bună (care să permită sarcini de lucru
ridicate);

19 - rezistență la coroziune și la oxidare termică la temperaturi înalte sau la prezența
umidității în mediul de lucru;

21 - aderență la substrat cât mai ridicată.

Sarcina de apăsare a cuplei de frecare și factorii de mediu au o mare influență asupra
23 cuplelor de frecare și reduc drastic durata de utilizare a acestora. Spre exemplu, în vid, unde
coeficientul de frecare al cuplelor de frecare crește sensibil față de coeficientul de frecare
25 în mediul ambiant, iar utilizarea lubrifiantilor este drastic limitată, s-au dezvoltat acoperirile
lubrifiante, uscate (dry lubricant coatings), cu un singur strat subțire sau cu straturi subțiri,
27 multiple.

Soluția radicală de reducere a frecării a constituit-o mult timp utilizarea lubrifiantilor
29 uscați de top, cu coeficientul de frecare în aer față de oțel - $CF_{\text{static/dinamic}} < 0,1...0,4$, dintre
care fac parte:

31 - teflonul (Poli-Tetra-Fluor-Etilena = PTFE) - ca marcă comercială DuPont - cu
coeficientul de frecare de 0,05...0,08 și temperatura maximă de lucru de 288°C;

33 - compușii metalelor tranziționale din grupa a 6-a a Tabelului periodic al elementelor
(Mo/W) cu elemente din grupa a 16-a a Tabelului periodic (denumite "chalcogenide"),
35 precum: sulful - S, seleniul - Se și telurul - Te, cu formula generală: MX_2 (M = Mo/W și X =
S/Se/Te). Cele mai utilizate materiale lubrifiante uscate din această categorie sunt bisulfura
37 de molibden (MoS_2) cu CF = 0,15 static și 0,06 dinamic și bisulfura de wolfram (WS_2), cu
 $CF_{\text{static}} = 0,07$ și $CF_{\text{dinamic}} = 0,03$;

39 - grafitul sau carbonul de tip diamant (Diamond Like Carbon-DLC), de tipul: a-C
(carbon amorf); a-C:H (carbon amorf hidrogenat); ta-C (carbon amorf tetraedal) sau ta-C:H
41 (carbon amorf hidrogenat, tetraedal), cu CF = 0,01...0,1/0,5;

43 - carburile și nitruurile metalelor tranziționale precum: TiN cu CF = 0,4, TiCN cu CF =
0,3, TiAlN cu CF = 0,3 5, CrN cu CF = 0,45;

45 - borura de magneziu și aluminiu ($AlMgB_{14}$), cunoscută și sub denumirea de BAM,
este un compus chimic (aliaj ceramic) din aluminiu, magneziu și bor, care depus, împreună
cu diborura de titan (TiB_2), asigură unul dintre cei mai scăzuți coeficienți de frecare dinamici
47 (CF = 0,02), dar și o duritate foarte mare (40...46 GPa), fiind în scara Mohs după diamant,
carbonitrura de bor cubică (c- BC_2N) și nitru de bor cubică (c-BN).

RO 128094 B1

Se cunoaște, de exemplu, un material cu proprietăți tribologice, din cererea de brevet internațională **WO 2006/020619**, din 2006, care este un material compozit cu proprietăți tribologice, superioare, care include un prim polimer, care este un film de transfer, și un al doilea polimer, amestecat cu primul polimer. Se menționează că primul polimer este PTFE (teflonul) și al doilea polimer este o polyaryletherketonă.

Mai este cunoscut, tot din domeniul utilizării singulare a materialelor lubrifiante, uscate, de top, brevetul **RU 20091444010**, un material cu proprietăți îmbunătățite, un material compozit pe bază de carbură de siliciu, ranforsată cu fibre de carbon. Metoda de producere a materialului compozit implică anumite etape pentru formarea unei piese: întărirea, carbonizarea și impregnarea cu siliciu, înainte de laminare, pachetul cu armătură de fibră de carbon fiind tratat cu o suspensie ce conține particule de carbură de siliciu. Procedeele de obținere este laborios și necesită mult timp.

Dezavantajele esențiale ale utilizării singulare (fără a fi în combinație cu alte materiale) a materialelor lubrifiante uscate de top precum WS_2 , MoS_2 , BAM, C, ca materiale tribologice, sunt:

- duritatea materialelor lubrifiante de top este mult mai redusă decât a combinației prezentate în invenție și de aceea sarcinile admise la materialele lubrifiante uscate de top sunt limitate la maximum 300.000 psi;

- coeficientul de frecare al materialelor lubrifiante de top, deși este foarte scăzut, este totuși influențat de condițiile de mediu și, în special, de temperatură și de umiditate.

Există și soluții îmbunătățite, referitoare la aderență, la toate metalele de interes tehnic, precum și la rezistența la oxidare termică, chiar dacă sunt considerate ridicate, așa cum se cunoaște și în cazul acoperirilor în vid cu produsul comercial MoST (MoS_2 + Metal), brevetat de compania Teer Cotings Ltd, (vezi brevet **GB 2303380**, din 19.02.1997, "Methods for Deposition of Molybdenum Sulphide"), care tratează depunerea de bisulfură de molibden, într-un strat, pe obiectul care urmează să fie tratat printr-un proces, pentru îmbunătățirea proprietăților tribologice. Procedeele utilizate sunt de depunere fizică din vapori (PVD), sau chimic, de depunere de vapori (CVD).

Bisulfura de molibden se aplică la mai multe părți glisante, pentru a îmbunătăți profilurile de rezistență, datorită proprietăților sale superioare de alunecare și de faptul că poate menține un coeficient de frecare redus, chiar într-o atmosferă de aer de până la câteva sute de grade Celsius.

Se cunoaște depunerea de bisulfură de molibden pe un strat tare, cum ar fi o nitrură sau o carbonitrură, care au rezistență excelentă la uzură, putând fi produs un strat de acoperire multistrat cu proprietăți excelente de alunecare, care are o rezistență mare la uzură. De asemenea, prin încorporarea unui element de metal în bisulfura de molibden, se îmbunătățește aderența dintre straturi, dar și rezistența la frecare (**JP-A-2000-001768**).

Cu toate acestea, bisulfura de molibden are dezavantajul de a fi o substanță extrem de moale, situație în care, atunci când a format un strat, nu are întotdeauna suficientă aderență cu obiectul de tratat. Din acest motiv, dacă un strat de bisulfură de molibden este aplicat pe o parte glisantă, acoperirea este sensibilă la o utilizare îndelungată. În plus, bisulfura de molibden, de asemenea, are dezavantajul că este extrem de higroscopică, ceea ce determină ca performanța de lubrifiere să se deterioreze. Cererea de brevet japoneză, menționată mai sus, **JP-A-2000-001768**, descrie unele măsuri împotriva unor astfel de probleme, și anume, că bisulfura de molibden, în cazul în care încorporează un element de metal, se întărește și aderența se va îmbunătăți cu siguranță față de atunci când este într-un singur strat. Cu toate acestea, soluția de încorporare a unui element metalic nu oferă o

RO 128094 B1

1 puternică aderență, pentru a fi aplicată la o parte care este supusă puternic alunecării, iar
în cazul în care raportul dintre elementul de metal este prea mare, proprietățile excelente de
3 lubrifiere a disulfurii de molibden se deteriorează.

De asemenea, pentru mediile de lucru dure/agresive ale cuplelor de frecare (cu umi-
5 ditate ridicată, temperatură de lucru ridicată, conținut mare de gaze corozive, presiuni scă-
zute etc.), s-au dezvoltat acoperiri tribologice, multistrat, fără însă a se ține cont de toate
7 cerințele esențiale/de bază ale acoperirilor tribologice, și anume:

- aderență la substrat;
- 9 - coeziunea dintre straturi ridicată, pentru a se preveni desprinderea de pe substrat
sau "alunecarea" între straturi;
- 11 - duritate;
- tenacitate ridicată a întregului ansamblu, pentru a se permite sarcini de apăsare
13 ridicate ale cuplelor de frecare;
- porozitate redusă;
- 15 - stabilitate termică la temperaturi ridicate și rezistență la coroziune, pentru a se
preveni oxidarea termică sau corodarea cuplelor de frecare, mai ales la temperaturi ridicate
17 și în prezența gazelor corozive;
- coeficient de frecare cât mai redus, pentru a se preveni încălzirea excesivă și uzura
19 accelerată a cuplelor de frecare.

Problema tehnică, pe care o rezolvă invenția, o constituie stabilirea unei structuri a
21 unui material de acoperire a unui substrat metalic și în prevederea unor elemente tehnice
de depunere succesivă, pe suprafața unei piese metalice, a unui strat dur și a unui strat cu
23 proprietăți lubrifiante, astfel încât să se asigure o rezistență, în timp, la solicitări mecanice
și la coroziune chimică, a materialului de acoperire depus, și o bună aderență a materialului
25 la substrat și a coeziunii dintre straturi, pentru a se preveni desprinderea de pe substrat sau
"alunecarea" între straturi.

27 Materialul multistrat cu proprietăți tribologice, conform invenției, rezolvă problema teh-
nică menționată, prin aceea că, pentru atingerea unei grosimi totale, uzuale, de 0,4...5 μm,
29 ca grosime a acoperirilor clasice cu materiale multistrat cu proprietăți complementar-cu-
mulative, conține patru straturi, cu grosimi individuale ale fiecărui strat: $100 \text{ nm} < h_i < 1250$
31 nm și o grosime totală de $0,6 \text{ μm} < H < 5 \text{ μm}$, obținute prin depunere de tip magnetron
într-un singur ciclu tehnologic de lucru, fiecare strat fiind alcătuit din:

- 33 - un material dur, incompresibil și cu microduritatea Vickers mai mare de 10 GPa sau
superdur, superincompresibil și cu microduritatea Vickers mai mare de 40 GPa și care
35 prezintă legătură chimică covalentă, pentru stratul inițial;
- un material cu tenacitate și compresibilitate ridicată, proprietăți ce asigură înmagazi-
37 narea energiei la care sunt supuse straturile subțiri, tribologice, pentru stratul al doilea;
- un material cu legătură ionică, cu proprietăți de stabilitate termică și chimică ridicată,
39 pentru stratul al treilea, intermediar;
- un material cu coeficient de frecare cât mai scăzut, în special, material lubrifiant,
41 uscat, cu coeficient de frecare foarte redus, pentru stratul final.

Procedeul de obținere, în vid, a materialului multistrat cu proprietăți tribologice,
43 conform invenției, constă într-o depunere de tip magnetron, într-un singur ciclu tehnologic
de lucru, cu o instalație pentru depuneri de straturi subțiri, în vid, cu patru magnetron, a
45 celor patru straturi:

- un prim strat, prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de material
47 dur sau superdur, tip BN;
- al doilea strat, prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de material cu
49 tenacitate și compresibilitate ridicată, tip TiC sau TiN;

RO 128094 B1

- al treilea strat, prin pulverizare magnetron standard, din țintă de material cu legătură ionică și stabilitate ridicată, tip oxid metalic/semimetalic: Al_2O_3 etc.;	1
- un al patrulea strat, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de material lubrifiant, solid, tip WS_2 .	3
Avantajele esențiale ale utilizării materialelor cu straturi tribologice, multiple, cu proprietăți complementar-cumulative, conform invenției, sunt:	5
- duritate ridicată, tenacitate mare, rezistență la coroziune și la oxidare termică ridicate, coeficient de frecare cât mai redus;	7
- se utilizează metode nepoluante și eficiente economic, de tip PVD sau IPVD (Ionized PVD), ce permit realizarea succesivă de pelicule lipsite de porozitate, cu o bună aderență și cu o compoziție dorită;	9
- permite cumularea proprietăților straturilor constituente;	11
- permite cumularea sinergică a proprietăților straturilor constituente și obținerea de acoperiri tribologice cu calități extrem de ridicate;	13
- realizarea de acoperiri tribologice cu coeficient de frecare ultrascăzut ($CF < 0,05$);	15
- realizarea de acoperiri tribologice cu un domeniu funcțional foarte larg de temperaturi de lucru: de la -188 până la $1316^{\circ}C$.	17
Invenția este prezentată pe larg, în continuare, prin niște exemple de straturi multiple cu proprietăți tribologice și a procedurii de realizare, în legătură și cu fig. 1...3, care reprezintă:	19
- fig. 1, schema triunghiului legăturilor chimice și a proprietăților complementar-cumulative, pentru principalele materiale complexe, cu utilizări în realizarea acoperirilor tribologice;	21
- fig. 2, schema componentei structurale a multistraturilor tribologice fără structură nanometrică, cu grosimi individuale ale straturilor componente mai mari de 100 nm și grosime uzuală, totală, de $0,4...4$ μm , în patru straturi diferite, cu compoziție constantă a fiecărui strat și proprietăți complementar - cumulative;	23
- fig. 3, schema componentei structurale a multistraturilor tribologice, nanostructurate, din pachete repetitive de câte patru straturi cu proprietăți complementar - cumulative și cu structură nanometrică, cu grosimi ale straturilor componente de $10...100$ nm, sau tip superlattice, cu grosimi ale straturilor componente de $2...10$ nm.	25
Potrivit invenției, alegerea materialelor cu proprietățile complementar - cumulative, enumerate anterior, pentru realizarea acoperirilor tribologice, multiple, se face din:	27
- materialele simple (metale sau nemetale) din Tabelul periodic al elementelor (precum Al, Ti, W, Mo, C, Si etc.), pe baza proprietăților fizice și chimice ale acestora;	29
- materialele complexe, pe baza legăturilor chimice și a proprietăților predominante ale acestora, prezentate schematic și sintetic în fig. 1 (triunghiul legăturilor chimice și al proprietăților complementar-cumulative pentru principalele materiale complexe, cu utilizări în realizarea acoperirilor tribologice).	31
Alegerea materialelor pentru realizarea acoperirilor tribologice, multiple (simple sau compuse) se face și pe baza proprietăților complementar-cumulative, prezentate anterior, dar ținând cont și de:	33
- condițiile de mediu ale cuplei de frecare: temperatură, umiditate, presiune, prezența gazelor corosive etc.;	35
- sarcina de apăsare a cuplei de frecare;	37
- prețul de cost al materialului utilizat și al metodei de realizare a acoperirii.	39
Materialul multistrat cu proprietăți tribologice, având proprietăți complementar-cumulative și grosimi totale, uzuale, de $0,4...4$ μm (ca grosime a acoperirilor clasice de multistraturi cu proprietăți complementar-cumulative, depuse prin procedee tip PVD/IPVD), poate conține:	41
	43
	45
	47

RO 128094 B1

1 - numai patru straturi cu grosimi individuale mai mari de 100 nm și proprietăți complementar - cumulative (exemplul 1, fig. 2);

3 - pachete repetitive de câte patru straturi cu proprietăți complementar-cumulative, cu structură nanometrică, ce se repetă succesiv, pentru realizarea grosimii optime (uzual în domeniul 0,4...4 μm), cu grosimi individuale mai mici de 100 nm, sau de tip superlattice (adică cu grosimi individuale mai mici de 10 nm) și cu proprietăți complementar-cumulative, sinergice, exemplul 2, fig. 3.

Pentru materialul cu straturi tribologice, multiple, din patru straturi subțiri fără structură nanometrică, prezentate în fig. 2, ca și pentru straturile tribologice, materialul din pachete de câte patru straturi subțiri cu grosime nanometrică (clasică sau superlattice), prezentate în fig. 3, potrivit invenției, se realizează într-un singur ciclu tehnologic prin depuneri succesive, într-o instalație dotată cu minimum patru surse de pulverizare de tip magnetron, ce utilizează metode tip "Physical Vapor Deposition" (pulverizare magnetron standard sau de tip reactiv, în radiofrecvență (RF), în curent continuu (cc), sau cc pulsat) sau procedee tip "Ionised PVD" (pulverizare magnetron în impuls de mare putere sau evaporare în arc catodic filtrat).

Potrivit invenției, alegerea materialelor pentru cele patru straturi ale fiecărui pachet din fig. 3, ce se repetă, sau ale stratului tribologic, multiplu, cu patru straturi, din fig. 2, se face astfel:

19 - pentru stratul inițial 1, potrivit invenției, se pot utiliza materiale dure (ce sunt incompresibile și au microduratea Vickers mai mare de 10 GPa) sau superdure (ce sunt superincompresibile și au microduratea Vickers mai mare de 40 GPa), și care, conform fig. 1, prezintă legătură chimică covalentă.

23 Un material este considerat dur, dacă rezistă la deformare plastică (redată prin gradul de compresibilitate acceptat al acestuia) și acest lucru este asigurat de legăturile covalente pe distanțe scurte între atomii constituenți.

După cum se știe diamantul este materialul cunoscut cu cea mai mare duritate Vickers (80...115 GPa). Din categoria materialelor superdure, posibil de utilizat, mai fac parte carbonitrura de bor cubică: c-BC₂N (76 GPa), nitrura de bor cubică: c-BN (45...50 GPa, diborura de magneziu și aluminiu, cunoscută și sub numele de materialul BAM: AlMgBi₄ + TiB₂, (40...46 GPa), carbura de bor: B₄C (30 GPa), precum și nanocompozitele de tipul: nc-MeN/a-Si₃N₄ (Me = Ti, V), nc-TiN/a-BN/a-TiB₂, sau nc-(Ti_{1-x}Al_x)N/a-Si₃N₄ ce asigură microdurateți H > 50 GPa.

33 Din categoria materialelor dure, posibil de utilizat, fac parte și: tetraborura de wolfram: WB₄ (36...40 GPa), diborura de osmiu: OsB₂ (37 GPa), diborura de titan: - TiB₂ (30...33 GPa), carbura de wolfram: WC (23...30 GPa), diborura de Rheniu: ReB₂ (20...48 GPa), carburile și nitrurile materialelor tranziționale (TiN, TiC, TiCN etc.), precum și acoperirile multifuncționale, nanostructurate, ce asigură microdurateți Vickers: 20 GPa < HV < 35 GPa.

Pentru stratul intermediar 2, cu proprietăți de tenacitate și compresibilitate ridicate, potrivit invenției, se vor utiliza materiale cu tenacitate și compresibilitate ridicate, proprietăți ce asigură înmagazinarea energiei la care sunt supuse straturile subțiri, tribologice.

41 Un material este considerat tenace dacă, sub acțiunea unei solicitări, se deformează foarte mult, absorbind o mare cantitate de energie, înainte de a se rupe.

43 Așa cum se prezintă în fig. 1, materialele cu legături metalice precum: TiN, TiC, TiAlN, TiAlCN, WC, CrN etc. au tenacitate ridicată și sunt recomandate a fi utilizate.

45 Ca material cu compresibilitate ridicată și proprietăți lubrifiante foarte bune, care să acumuleze energia la care sunt supuse straturile subțiri, tribologice, este recomandat teflonul (PTFE), dar problemele de aderență scăzută, la aceasta, a următorului strat și de curgere

RO 128094 B1

sub presiune nu-l recomandă, potrivit invenției, de a fi folosit ca strat intermediar, singular, în straturile subțiri, multiple, ci numai ca material dopant, pentru materialele cu legături metalice.	1
Așadar, potrivit invenției, pentru al doilea strat (stratul 2), cu tenacitate și compresibilitate ridicate, se recomandă utilizarea și a unor materiale noi (ca, de exemplu: TiN + PTFE; hBN + Ti), obținute prin metode clasice de depunere a straturilor subțiri în vid, de tip PVD sau IPVD, folosind:	3
- doparea cu teflon a carburilor, a nitrurilor și a carboniturilor metalelor tranziționale (ca, de exemplu: TiN + PTFE; TiCN + PTFE; TiAlN + PTFE);	5
- doparea cu un metal a materialelor lubrifiante de top (ca, de exemplu: hBN + Ti; WS ₂ + Ti; WS ₂ + W; WS ₂ + C etc.).	7
Pentru stratul intermediar 3, cu proprietăți de stabilitate termică și chimică ridicate, potrivit invenției, se utilizează materiale cu legătură ionică, care au stabilitate termică și chimică ridicată precum oxizi metalici/semimetalici de tipul: Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , Y ₂ O ₃ etc.	9
Pentru stratul final 4, cu coeficient de frecare cât mai scăzut, se utilizează materiale lubrifiante, uscate, cu coeficient de frecare foarte redus precum: BAM (AlMgB ₄ + TiB ₂) - cu coeficient de frecare de 0,02; MX ₂ (unde M = Mo/W și X= S/Se/Te) precum WS ₂ - cu coeficient de frecare dinamic de 0,03, sau MoS ₂ cu coeficient de frecare dinamic de 0,06; carbon tip diamant de tipul a-C (carbon amorf), a-C:H (carbon amorf hidrogenat); ta-C (carbon amorf tetraedal) sau ta-C:H (carbon amorf hidrogenat, tetraedal), cu coeficient de frecare dinamic de 0,01...0,1/0,5; nitrura de bor-hBN, cu coeficient de frecare dinamic de 0,15, sau combinații ale acestor materiale între ele (WS ₂ + C; MoS ₂ + C; hBN + WS ₂ etc.) sau cu alte materiale.	11
Aderența la substrat ca și aderența între straturi este asigurată prin utilizarea procedeelor tip PVD, dar mai ales a celor de tip IPVD (care sunt în fapt procedee de placare ionică, datorită gradului ridicat de ionizare a materialului de depunere, de peste 90%), care prin energia ridicată a particulelor în timpul depunerii asigură o foarte bună aderență la substrat, o bună coeziune între straturi și o porozitate foarte redusă a straturilor.	13
Pulverizarea de tip magnetron este cea mai potrivită (metoda tip PVD), pentru depunerea simultană sau succesivă, în concentrațiile dorite și cu o bună aderență la substrat sau la un strat intermediar, a straturilor subțiri, tribologice, ce fac obiectul invenției.	15
Pulverizarea magnetron cu ionizare (Ionised Magnetron Sputtering), recomandată în invenție a fi utilizată la realizarea multistraturilor tribologice, este un procedeu nou de pulverizare magnetron (tip IPVD), ce utilizează, pentru producerea materialului ionizat, un magnetron clasic (Catod de pulverizare Penning) și o sursă de putere în impuls (High Power Impulse Magnetron Sputtering), care, datorită gradului foarte înalt de ionizare al materialului de depunere (peste 90%) asigură, față de pulverizarea magnetron standard, realizarea de pelicule dense (fără porozitate) și cu aderență îmbunătățită la substrat.	17
Evaporarea în arc catodic (Cathodic Arc Evaporation) este un al doilea procedeu tip IPVD, recomandat potrivit invenției, pentru realizarea multistraturilor tribologice, iar evaporarea în arc catodic filtrat (Filtered Cathodic Arc Evaporation), este o nouă metodă, care are avantajul, față de evaporarea clasică în arc catodic, că elimină apariția "stropilor" în timpul depunerii.	19
Aderența la substrat, ca și aderența dintre straturi, conform invenției, se asigură și prin alegerea corespunzătoare a materialelor pentru straturile depuse. Este cunoscut faptul că materialele cu legături metalice au o bună aderență la substraturile metalice, și de aceea, pentru o bună aderență la substrat, se recomandă, pentru stratul inițial, utilizarea materialelor dure cu legătură metalică precum: TiN, TiC, TiCN, TiAlN, TiAlNC etc.	21

RO 128094 B1

1 Duritatea și tenacitatea sunt la fel de importante pentru straturile subțiri, tribologice.
2 Straturi subțiri super dure (cu duritate de la 40 la 115 GPa) au fost raportate în diverse lucrări
3 de specialitate, dar utilizarea cu bune rezultate în practică este încă redusă.

4 Rezistența la coroziune și la corodare este asigurată atât prin realizarea de pelicule
5 fără porozitate (prin utilizarea metodelor IPVD), dar și prin alegerea materialelor cu legături
6 ionice (ce prezintă o bună stabilitate termică și chimică) precum Al_2O_3 , ZrO_2 , Y_2O_3 etc.

7 Materialul tribologic, multistrat, în toate cele trei variante prezentate anterior (fără
8 structură nanometrică, cu structură nanometrică clasică, cu structură superlattice), este
9 obținut printr-o metodă de depunere în vid din faza fizică de vapori (uzual prin metode tip
10 PVD - Physical Vapor Deposition, sau pentru a obține caracteristici de cea mai bună calitate,
11 prin metode tip IPVD - Ionized Physical Vapor Deposition).

12 Așa cum rezultă de mai sus, pentru realizarea straturilor subțiri, multiple, cu pro-
13 prietăți tribologice, se pot utiliza o multitudine de combinații de materiale (simple sau
14 compuse), de structuri de straturi (grosimi de straturi intermediare, număr de pachete de
15 câte patru straturi repetitive) și de metode de depunere a straturilor subțiri în vid.

16 Din multitudinea de combinații posibile de: materiale utilizabile ($TiN + Al_2O_3 + C +$
17 WS_2 , $TiAlN + BN + Al_2O_3 + WS_2$ etc.), procedee de depunere a straturilor subțiri în vid (tip
18 PVD sau IPVD) și structuri de straturi multiple (cu patru straturi cu grosimi individuale $h_t >$
19 100 nm , multiplu de pachete de câte patru straturi cu grosimi individuale: $10\text{ nm} < h_t <$
20 100 nm , multiplu de pachete de câte patru straturi cu grosimi individuale $2\text{ nm} < h_t < 10\text{ nm}$),
21 se dau mai jos trei exemple semnificative de realizare a materialelor multistrat cu proprietăți
22 tribologice, realizate prin Pulverizare Magnetron Standard/Reactivă și folosind, în toate cele
23 trei cazuri, aceleași patru materiale cu proprietăți complementar - cumulative:

24 A. Material multistrat, tribologic, multiplu, din patru straturi succesive, cu grosimi
25 individuale ale fiecărui strat: $100\text{ nm} < h_t < 1250\text{ nm}$ și grosime totală: $0,6\text{ }\mu\text{m} < H_t < 5\text{ }\mu\text{m}$,
26 (fig. 2), care este obținut prin depunere de tip magnetron (standard sau reactiv) într-un singur
27 ciclu tehnologic de lucru, cu o instalație pentru depuneri de straturi subțiri în vid, prevăzută
28 cu patru magnețoane:

29 - stratul 1: strat dur din c-BN cu $HV = 45...50\text{ GPa}$ și grosime de $150...1250\text{ nm}$,
obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;

30 - stratul 2: strat tenace din TiCN, cu $HV = 38...32\text{ GPa}$ și grosime de $150...1250\text{ nm}$,
obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiC sau TiN;

31 - stratul 3: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de
32 $150...1250\text{ nm}$, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al_2O_3 ;

33 - stratul 4: strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de $150...1250\text{ nm}$,
34 obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS_2 , comercială.

35 B. Material multistrat, tribologic, multiplu, nanostructurat, cu grosime totală de
36 $0,4...2\text{ }\mu\text{m}$, fig. 3, care este realizat din cinci pachete repetitive, de câte patru straturi, adică
37 din 20 de straturi succesive cu grosimi individuale de $20...100\text{ nm}$, și obținut prin depunere
38 de tip magnetron (standard sau reactivă), într-un singur ciclu tehnologic de lucru, cu o
39 instalație pentru depuneri de straturi subțiri, în vid, prevăzută cu patru magnețoane, după
40 cum urmează:

41 *Pachetul 1*

42 - stratul 1: strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50\text{ GPa}$ și grosime de $20...100\text{ nm}$, obținut
43 prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;

44 - stratul 2: strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32\text{ GPa}$ și grosime de $20...100\text{ nm}$,
45 obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;

RO 128094 B1

- stratul 3: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al_2O_3 ;	1
- stratul 4: strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS_2 .	3
<i>Pachetul 2</i>	5
- stratul 5: strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;	7
- stratul 6: strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;	9
- stratul 7: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al_2O_3 ;	11
- stratul 8: strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS_2 .	13
<i>Pachetul 3</i>	
- stratul 9: strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;	15
- stratul 10: strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;	17
- stratul 11: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al_2O_3 ;	19
- stratul 12: strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS_2 .	21
<i>Pachetul 4</i>	23
- stratul 13: strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;	25
- stratul 14: strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;	27
- stratul 15: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al_2O_3 ;	29
- stratul 16: strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS_2 .	31
<i>Pachetul 5</i>	
- stratul 17: strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;	33
- stratul 18: strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizarea magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;	35
- stratul 19: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al_2O_3 ;	37
- stratul 20: strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de 20...100 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS_2 , disponibilă comercial.	39
	41
C. Strat tribologic, multiplu, nanostructurat, cu structură superlattice și proprietăți sinergice, cu grosime totală de 0,5...1 μm , în exemplul 3 de realizare, care este realizat din 25 pachete repetitive de câte patru straturi, adică din 100 de straturi succesive cu grosimi individuale ($h_1...h_4$) de 5...10 nm și este obținut prin depunere de tip magnetron (standard sau reactivă) într-un singur ciclu tehnologic de lucru, cu o instalație pentru depuneri de straturi subțiri, în vid, prevăzută cu patru magnetroane, după cum urmează:	43
	45
	47

RO 128094 B1

1 *Pachetul 1*

3 - stratul **1**: strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;

5 - stratul **2**: strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;

7 - stratul **3**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al₂O₃, cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al₂O₃;

9 - stratul **4**: strat lubrifiant, uscat, din WS₂, cu CF = 0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS₂.

11 *Pachetul 2*

13 - stratul **5**: strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;

15 - stratul **6**: strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;

17 - stratul **7**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al₂O₃, cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al₂O₃;

19 - stratul **8**: strat lubrifiant, uscat, din WS₂, cu CF = 0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS₂.

21 *Pachetul 3*

23 - stratul **9**: strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;

25 - stratul **10**: strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;

27 - stratul **11**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al₂O₃, cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al₂O₃;

29 - stratul **12**: strat lubrifiant, uscat, din WS₂, cu CF = 0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS₂.

31 *Pachetul 4*

33 - stratul **13**: strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;

35 - stratul **14**: strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;

37 - stratul **15**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al₂O₃, cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al₂O₃;

39 - stratul **16**: strat lubrifiant, uscat, din WS₂, cu CF = 0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS₂.

41 *Pachetul 5*

43 - stratul **17**: strat dur, din c-BN, cu HV ~ 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;

45 - stratul **18**: strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;

47 - stratul **19**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al₂O₃, cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al₂O₃;

49 - stratul **20**: strat lubrifiant, uscat, din WS₂, cu CF = 0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS₂.

51 *Pachetul 6*

53 - stratul **21**: strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;

RO 128094 B1

- stratul 22 : strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;	1
- stratul 23 : strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al ₂ O ₃ , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al ₂ O ₃ ;	3
- stratul 24 : strat lubrifiant, uscat, din WS ₂ , cu CF = 0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS ₂ .	5
<i>Pachetul 7</i>	7
- stratul 25 : strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;	9
- stratul 26 : strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;	11
- stratul 27 : strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al ₂ O ₃ , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al ₂ O ₃ ;	13
- stratul 28 : strat lubrifiant, uscat, din WS ₂ , cu CF = 0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS ₂ .	15
<i>Pachetul 8</i>	
- stratul 29 : strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;	17
- stratul 30 : strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;	19
- stratul 31 : strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al ₂ O ₃ , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al ₂ O ₃ ;	21
- stratul 32 : strat lubrifiant, uscat, din WS ₂ , cu CF = 0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS ₂ .	23
<i>Pachetul 9</i>	25
- stratul 33 : strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;	27
- stratul 34 : strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;	29
- stratul 35 : strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al ₂ O ₃ , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al ₂ O ₃ ;	31
- stratul 36 : strat lubrifiant, uscat, din WS ₂ , cu CF=0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS ₂ .	33
<i>Pachetul 10</i>	
- stratul 37 : strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;	35
- stratul 38 : strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;	37
- stratul 39 : strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al ₂ O ₃ , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al ₂ O ₃ ;	39
- stratul 40 : strat lubrifiant, uscat, din WS ₂ , cu CF=0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de WS ₂ .	41
<i>Pachetul 11</i>	43
- stratul 41 : strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă sinterizată de BN;	45
- stratul 42 : strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din țintă de TiN sau TiC;	47

RO 128094 B1

- 1 - stratul **43**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al_2O_3 ;
- 3 - stratul **44**: strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS_2 .
- 5 *Pachetul 12*
- 7 - stratul **45**: strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată;
- 9 - stratul **46**: strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din ținta de TiN sau TiC;
- 11 - stratul **47**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al_2O_3 ;
- 13 - stratul **48**: strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS_2 .
- 15 *Pachetul 13*
- 17 - stratul **49**: strat dur, din c-BN cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de BN;
- 19 - stratul **50**: strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizarea magnetron reactivă, din ținta de TiN sau TiC;
- 21 - stratul **51**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al_2O_3 ;
- 23 - stratul **52**: strat lubrifiant, uscat, din WS_2 cu $CF = 0,05$ și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS_2 .
- 25 *Pachetul 14*
- 27 - stratul **53**: strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de BN;
- 29 - stratul **54**: strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizarea magnetron reactivă, din ținta de TiN sau TiC;
- 31 - stratul **55**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din țintă de Al_2O_3 ;
- 33 - stratul **56**: strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF=0,05$ și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS_2 .
- 35 *Pachetul 15*
- 37 - stratul **57**: strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de BN;
- 39 - stratul **58**: strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din ținta de TiN sau TiC;
- 41 - stratul **59**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al_2O_3 ;
- 43 - stratul **60**: strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF=0,05$ și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS_2 .
- 45 *Pachetul 16*
- 47 - stratul **61**: strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de BN;
- stratul **62**: strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizarea magnetron reactivă, din ținta de TiN sau TiC;
- stratul **63**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al_2O_3 ;

RO 128094 B1

- stratul 64 : strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS_2 .	1
<i>Pachetul 17</i>	3
- stratul 65 : strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de BN;	5
- stratul 66 : strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă din ținta de TiN sau TiC;	7
- stratul 67 : strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al_2O_3 ;	9
- stratul 68 : strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS_2 .	11
<i>Pachetul 18</i>	
- stratul 69 : strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de BN;	13
- stratul 70 : strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din ținta de TiN sau TiC;	15
- stratul 71 : strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al_2O_3 ;	17
- stratul 72 : strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS_2 .	19
<i>Pachetul 19</i>	21
- stratul 73 : strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de BN;	23
- stratul 74 : strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizarea magnetron reactivă, din ținta de TiN sau TiC;	25
- stratul 75 : strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al_2O_3 ;	27
- stratul 76 : strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS_2 .	29
<i>Pachetul 20</i>	
- stratul 77 : strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de BN;	31
- stratul 78 : strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizarea magnetron reactivă, din ținta de TiN sau TiC;	33
- stratul 79 : strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al_2O_3 ;	35
- stratul 80 : strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS_2 .	37
<i>Pachetul 21</i>	39
- stratul 81 : strat dur, din c-BN, cu $HV = 45...50$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de BN;	41
- stratul 82 : strat tenace, din TiCN, cu $HV = 38...32$ GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din ținta de TiN sau TiC;	43
- stratul 83 : strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al_2O_3 , cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al_2O_3 ;	45
- stratul 84 : strat lubrifiant, uscat, din WS_2 , cu $CF = 0,05$ și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS_2 .	47

RO 128094 B1

1 *Pachetul 22*

3 - stratul **85**: strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de BN;

5 - stratul **86**: strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizarea magnetron reactivă, din ținta de TiN sau TiC;

7 - stratul **87**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al₂O₃, cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al₂O₃;

9 - stratul **88**: strat lubrifiant, uscat, din WS₂, cu CF = 0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS₂.

11 *Pachetul 23*

13 - stratul **89**: strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de BN;

15 - stratul **90**: strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizarea magnetron reactivă, din ținta de TiN sau TiC;

17 - stratul **91**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al₂O₃, cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al₂O₃;

19 - stratul **92**: strat lubrifiant, uscat, din WS₂, cu CF = 0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS₂.

21 *Pachetul 24*

23 - stratul **93**: strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de BN;

25 - stratul **94**: strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din ținta de TiN sau TiC;

27 - stratul **95**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al₂O₃, cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al₂O₃;

29 - stratul **96**: strat lubrifiant, uscat, din WS₂, cu CF = 0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS₂.

31 *Pachetul 25*

33 - stratul **97**: strat dur, din c-BN, cu HV = 45...50 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de BN;

35 - stratul **98**: strat tenace, din TiCN, cu HV = 38...32 GPa și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron reactivă, din ținta de TiN sau TiC;

37 - stratul **99**: strat rezistent la temperatură și coroziune, din Al₂O₃, cu grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta de Al₂O₃;

39 - stratul **100**: strat lubrifiant, uscat, din WS₂, cu CF = 0,05 și grosime de 5...10 nm, obținut prin pulverizare magnetron standard, din ținta sinterizată de WS₂.

41 Ordinea primelor trei straturi (**1**, **2** și **3**) ale pachetului de patru straturi pentru acoperirile tribologice fără structură nanometrică, respectiv, ale pachetelor repetitive de patru straturi, pentru acoperirile nanostructurate, poate fi modificată, fără efecte semnificative asupra proprietăților tribologice ale întregului ansamblu, dacă se asigură, prin efectul de sinergie cumulativ al proprietăților straturilor componente și prin procedeele de tip PVD sau IPVD utilizate, cele patru cerințe de bază, esențiale, ale acoperirilor tribologice, prezentate anterior.

RO 128094 B1

Revendicări

1. Material multistrat de acoperire, cu proprietăți tribologice, cuprinzând minimum un strat dintr-un material cu stabilitate chimică și termică ridicată, tip oxid metalic sau semimetalic, un strat din material dur, tip nitrură metalică și un strat lubrifiant, **caracterizat prin aceea că** este format din minimum un pachet de patru straturi cu grosimi individuale ale fiecărui strat de 100...1250 nm și grosime totală de 0,2...5 μm, obținute prin depunere de tipul în câmp magnetron, într-un singur ciclu tehnologic de lucru, și care sunt alcătuite din:
 - un material dur, incompresibil și cu microduritatea Vickers mai mare de 10 GPa, sau superdur, superincompresibil și cu microduritatea Vickers mai mare de 40 GPa, și care prezintă legătura chimică covalentă, tip BN, pentru primul strat (1);
 - un material cu tenacitate și cu compresibilitate ridicate, tip TiC/TiN +PTFE, pentru al doilea strat (2);
 - un material cu legătură ionică, cu proprietăți de stabilitate termică și chimică ridicate, tip oxid metalic sau semimetalic, pentru al treilea strat (3) intermediar;
 - un material cu coeficient de frecare scăzut, în special, material lubrifiant, uscat, cu coeficient de frecare foarte redus, tip WS₂, MoS₂, pentru al patrulea strat (4).
2. Material multistrat, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** materialul stratului inițial (1) al unui pachet de straturi este de tip superdur, și anume: diamantul, carbonitrura de bor cubică: c-BC₂N, nitrura de bor cubică: c-BN, diborura de magneziu și aluminiu: AlMgBi₄-TiB₂, carbura de bor: B₄C sau un nanocompozit de tipul: MeN/a-Si₃N₄ (Me = Ti, V), nc-TiN/a-BN/a-TiB₂ sau nc-(Ti_{1-x}Al_x)N/a-Si₃N₄.
3. Material multistrat, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** materialul stratului inițial (1) al unui pachet de straturi este de tip dur, și anume: tetraborura de wolfram: WB₄, diborura de osmiu: OsB₂, diborura de titan: TiB₂, carbura de wolfram: WC, diborura de rheniu: ReB₂, o carbură, o nitrură sau o carbonitrură a unui material tranzițional: TiN, TiC, ZrN, ZrC, TiCN, ZrCN, sau o acoperire multifuncțională, nanostructurată, ce asigură microdurități Vickers: 20 GPa < HV < 35 GPa.
4. Material multistrat, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** materialul stratului (2) unui pachet de straturi este un material cu legături metalice, și anume: TiN, TiC, TiAlN, TiAlCN, WC, CrN, ZrN sau ZrC.
5. Material multistrat, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** materialul stratului intermediar (3) al unui pachet de straturi este de tipul unui oxid metalic sau semimetalic, și anume: oxid de aluminiu - Al₂O₃, de zirconiu - ZrO₂ sau oxid de ytriu - Y₂O₃.
6. Material multistrat, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** materialul stratului (4) unui pachet de straturi este de tipul unui material lubrifiant, uscat, și anume: borura de magneziu și aluminiu, depusă împreună cu diborura de titan (AlMgB₁₄ + TiB₂), un compus al unui metal tranzițional din grupa a 6-a a Tabelului periodic al elementelor (Mo/W) cu un material din grupa a 16-a a Tabelului periodic, cu formula generală: MX₂ (M = Mo/W și X= S/Se/Te), bisulfura de molibden sau de wolfram (MoS₂/WS₂), grafitul sau carbonul de tip diamant, de tipul carbon amorf, carbonul amorf hidrogenat, carbonul amorf tetradedal, carbonul amorf hidrogenat și tetraedal, sau o carbură sau o nitrură a unui metal tranzițional precum: TiN, TiCN, TiAlN, CrN.
7. Material multistrat, conform uneia dintre revendicările de la 1 la 6, **caracterizat prin aceea că** este realizat din cinci pachete repetitive, nanostructurate, de câte patru straturi (1...4) cu grosime totală de 0,4...2 μm, cele 20 de straturi succesive, având grosimi individuale de 20...100 nm, fiind obținute prin depunere de tip în câmp magnetron.

RO 128094 B1

1 8. Material conform uneia dintre revendicările de la 1 la 6, **caracterizat prin aceea**
2 **că** este realizat cu structura superlattice, din 25 pachete nanostructurate, repetitive, de câte
3 patru straturi, cu grosime totală de 0,5...1 μm , cele 100 de straturi succesive având grosimi
4 individuale (h_1 ... h_4) de 5...10 nm, fiind obținute prin depunere de tip în câmp magnetron,
5 într-un singur ciclu tehnologic de lucru.

6 9. Procedeu de obținere a unui material multistrat de acoperire, cu proprietăți
7 tribologice, conform revendicării 1, prin depunere, în vid, a unor straturi succesive, incluzând
8 minimum un strat din material dur precum nitrura de bor, și restul acoperirii cuprinzând: oxid
9 metalic/semimetalic, o nitrură metalică tip TiN sau/și o sulfură tip MoS_2/WS_2 , **caracterizat**
10 **prin aceea că** depunerea menționată este de tipul în câmp magnetron și este realizată
11 într-un singur ciclu tehnologic de lucru, cu o instalație prevăzută cu patru magnetron, pentru depunerea, în vid, a minimum unui ansamblu de patru straturi subțiri, și anume:

12 - un strat (1) de material dur precum nitrura de bor (BN), depus prin pulverizare
13 magnetron standard, din țintă sinterizată;

14 - un strat (2) de material tenace precum TiC/TiN + PTFE, depus prin pulverizarea
15 magnetron reactivă;

16 - un strat (3) de material cu stabilitate chimică și termică ridicată precum Al_2O_3 , depus
17 prin pulverizare magnetron standard;

18 - un strat (4) de material lubrifiant precum WS_2 , MoS_2 , depus prin pulverizare magne-
19 tron standard, din țintă sinterizată.

20 10. Procedeu conform revendicării 9, **caracterizat prin aceea că** este realizat, prin
21 depunere simultană, din patru ținte de pulverizare, a straturilor subțiri (1...4), în mod ciclic,
22 repetitiv, până la realizarea unui ansamblu tip multiplu de pachete de câte patru straturi
23 subțiri (1...4) cu grosimi individuale $10 \text{ nm} < h_t < 100 \text{ nm}$, sau multiplu de pachete de câte
24 patru straturi subțiri (1...4) cu grosimi individuale $2 \text{ nm} < h_t < 10 \text{ nm}$.

(51) Int.Cl.
C23C 14/06 (2006.01);
C23C 14/35 (2006.01);
B32B 15/04 (2006.01)

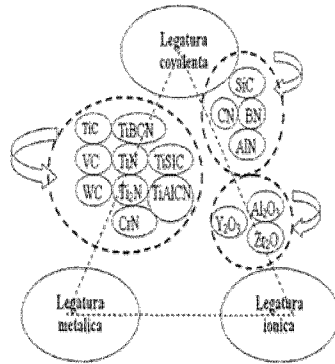


Fig. 1

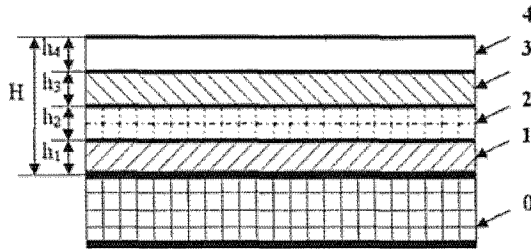


Fig. 2

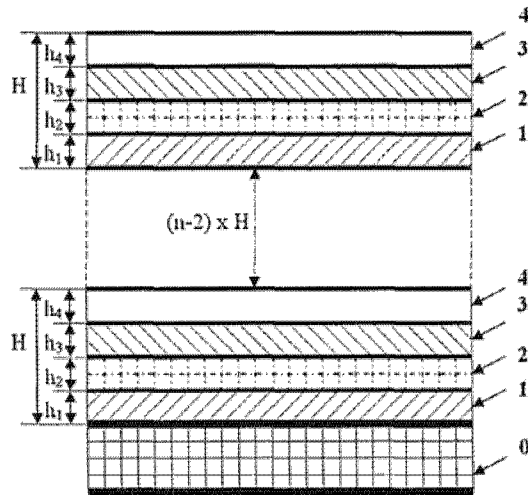


Fig. 3



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
 Tipărit la: Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
 sub comanda nr. 661/2014