

# STUDIUL ASUPRA PERFORMANTELOR CARBURILOR METALICE ACOPERITE PRIN PROCEDURELE PVD ȘI CVD FOLOSITE LA AȘCHIEREA METALELOR

Gh. Mareș

Universitatea Transilvania din Brașov, Romania

## INTRODUCERE

Depunerile din fază gazoasă, așa numitele metode PVD (Physical Vapour Deposition) constau în transformarea metalelor ușoare în vapori și depunerea acestora prin anumite procedee speciale pe suprafață. Procedeele precizate mai sus pot să cuprindă și cuplarea cu gaze (exemplu cu carburi, nitruri, boruri, etc.) care necesită folosirea unor fenomene electrice speciale. Procedeele PVD (Physical Vapour Deposition) au la bază fenomene cum ar fi: vaporizarea (sublimarea) metalelor sau a compozitelor (aliajelor) acestora, pulverizarea catodică în vacuum, ionizarea gazelor și vaporilor de metal, etc.

Metodele chimice de realizare a stratului superficial au la bază diverse procese chimice cum ar fi: reacții chimice, difuziune și acoperiri chimice. În ultimii ani s-au desfășurat cercetări intense având ca temă posibilitatea realizării de depuneri pe suprafața pieselor metalice sau chiar plastice din fază de vapori, așa numitele procedee CVD (Chemical Vapour Deposition).

## 1. PARTICULARITĂȚI ALE PROCEDURELOR PVD ȘI CVD

Particularitatea generală a procedurii PVD constă în cristalizarea vaporilor, rezultați, cel mai frecvent, în atmosferă de plasmă. Vaporii de metal sau compozite ale acestora, se depun pe suprafața rece sau încălzită până la 200...500<sup>0</sup> C, ceea ce permite acoperirea stratului de bază călit sau revenit fără pericolul diminuării durității. Cuplarea prin adeziune are un caracter mai slab întrucât suprafața acoperită este mai puțin fină.

Procedura CVD are la bază posibilitatea realizării de vapori ai unor metale care apoi, în anumite condiții, difuzează în stratul superficial al materialului de prelucrat. Prima variantă a metodei este cea neactivată, adică cea care se desfășoară în mediu gazos necesar și la presiune atmosferică. Mediul gazos conține elemente de difuzie halogene, adică elemente care se pot combina direct cu metalele, dând săruri ( fluor, clor, brom, etc.), precum și alte elemente precum azot, carbon,

hidrogen sau gaze inerte (ex. argon). Atomii de metal (ex. Br, Cr, Ti, Ta, Al) rezultă din compuși chimici (ex. BrCl<sub>3</sub>, CrCl<sub>12</sub>, TiCl<sub>14</sub>, Al<sub>2</sub>Cl<sub>3</sub>) în urma unor reacții chimice de disociere.

Un alt component al stratului poate să fie din interiorul materialului de bază, spre exemplu carbonul – în cazul straturilor carburate, sau din atmosferă - azotul sau oxigenul – în cazul straturilor nitrurate, respectiv oxidate. Metodele CVD fără activare, așa cum s-a menționat, se desfășoară la presiune atmosferică motiv pentru care se numesc generic APCVD (Atmospheric Pressure Chemical Vapour Deposition). Metoda APCVD reclamă temperaturi înalte, indispensabile pentru descompunerea gazelor (900 - 1100<sup>0</sup> C), fapt ce limitează domeniul de aplicare al ei. În mod obișnuit după procesul de termodifuziune este necesar în continuare aplicarea unui tratament termic (călire, revenire), ceea ce determină modificarea dimensiunilor și apariția deformațiilor suprafeței

Perfecționarea metodelor tradiționale CVD se direcționează spre micșorarea temperaturii până la 500 - 600<sup>0</sup> C, în următoarele moduri:

a) stabilirea judicioasă a mediului gazos și alegerea temperaturii, de valori mai mici, care să permită desfășurarea în condiții optime a reacțiilor chimice:

b) diminuarea presiunii până la valori de 10 – 500Pa; aceste metode se numesc LPCVD (Low Pressure CVD);

c) activarea electrică a mediului gazos cu ajutorul descărcării ionice sau a unui câmp de înaltă frecvență; metodele se numesc generic activate sau activate la temperaturi reduse în plasmă PACVD (Plasma Assisted CVD).

Diferențele dintre metodele APCVD, LPCVD, PACVD, sunt prezentate în tabelul 1.

Micșorarea presiunii determină intensificarea procesului de difuziune al gazelor în sensul creșterii vitezei de formare a stratului, în timp ce temperatura stratului se micșorează. Micșorarea temperaturii stratului de difuziune oferă posibilitatea procedurii CVD să fie aplicat la acoperirea părții active a sculelor. În acest caz procesul de difuziune a unor elemente dure în stratul superficial conduce la durificarea acestuia fără a se semnala apariția deformațiilor. De asemenea,

**Tabelul 1.**

Metoda	APCVD	LPCVD	PACVD
Procedul de încălzire al piesei	Încălzire prin rezistență a camerei active	Încălzire prin rezistență sau descărcări ionice	1) Încălzire prin descărcări ionice sau descărcări în câmp de IF; 2) Încălzire prin rezistență
Temperatura [ °C ]	900 - 1100	880	500
Presiunea	Atmosferică	10 – 500 Pa	3 – 13 Pa
Mediul gazos	TiCl <sub>4</sub> +CH <sub>4</sub> +H <sub>2</sub> ; TiCl <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> +H <sub>2</sub>	TiCl <sub>4</sub> +H <sub>2</sub> +(TiC) TiCl <sub>4</sub> +H <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> (TiC, TiCN, TiN)	TiCl <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> (TiC); TiCl <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> (TiN).

temperatura și presiunea scăzută permite practicarea metodei CVD la acoperirea cu straturi de TiC pe carburi metalice sau pe materiale plastice, care lucrează la temperaturi înalte. Straturile unice sau compozite (compuse din câteva straturi suprapuse, exemplu carbură de crom Cr<sub>3</sub>C<sub>7</sub> și carbură de titan TiC, a căror grosime nu depășește grosimea de 0,01 – 0,02 mm, asigură creșterea durabilității sculelor pentru prelucrare la rece (poansoane, matrițe, valțuri, etc.) în medie de 1,5 – 5 ori.

## 2. COMPARAREA PROPRIETĂȚILOR STRATULUI DEPUȘ PRIN PVD ȘI CVD

Aderența acoperirilor rezistente la uzură realizate prin procedeele PVD și PACVD este determinată în principal de modul în care este prelucrată în prealabil suprafața. Această cerință trebuie realizată la generarea suprafețelor când se impune ca acestea să fie deosebit de curate și frecvent manipulate. Una din dificultăți constă în implicarea a trei faze diferite ale procesului de existență a piesei, și anume:

- Execuția prealabilă a sculei (piesei);
- Realizarea acoperirii propriu-zise a acesteia;
- Condiții de exploatare a sculei.

*Proiectarea procesului de acoperire* trebuie să fie o practică curentă care combină eficient cele trei faze menționate mai sus. Principalele obiective care trebuie să fie avute la proiectare sunt:

- reducerea costului potențial cauzat, de neuniformitatea calității urmărite;
- o mai mare cunoaștere a proceselor de prelucrare în relație cu caracteristicile suprafeței;
- optimizarea acestor procese în dependență de PVD și PACVD;
- reducerea operațiilor post tratament astfel încât să poată fi obținută productivitatea dorită;
- o mai mare eficiență a relației cu beneficiarii sculelor acoperite prin PVD și PAPVD;
- exploatarea sculelor acoperite prin PVD și PAPVD este puternic influențată de utilizarea lubrifierii; prin aceasta crește durabilitatea și se reduce numărul de schimbări.

Pentru compararea proprietăților stratului obținut prin procedeele PVD și CVD se consideră următorii parametri și caracteristici:

- Microduritatea stratului;
- Uzura și durabilitatea sculei;
- Fisurile din rețeaua stratului;
- Tendința de exfoliere prematură;
- Forțele de adeziune;
- Rugozitatea suprafeței;
- Luciul suprafeței;
- Culoarea așchilor rezultate în urma prelucrării;
- Zone cu pete lucioase.

Acoperirea prin procedul Physical Vapour Deposition (PVD) este un procedeu deosebit de eficient în domeniul plăcuțelor așchietoare din carburi metalice. Proprietăți bune se obțin și prin acoperirea plăcuțelor așchietoare prin procedul Chemical Vapour Deposition (CVD). Diferențele dintre plăcuțele acoperite prin procedul PVD și cele acoperite prin procedul CVD constau în proprietățile mecanice, modul de realizare al muchiei așchietoare, grosimea acoperirii, natura tensiunilor remanente și costul acoperirii.

La acoperirea plăcuțelor din carburi metalice cu TiN sau TiC prin procedul CVD se constată deformări plastice superficiale, atât la nivelul craterului de pe fața de degajare cât și pe tăiș. Microscopic, se pune în evidență prezența fazei  $\eta$  de carburi, precum și existența unor pori, după diverse prelucrări. Aceste aspecte sunt neînsemnate la acoperirea plăcuțelor din cermet (ceramică+metal) cu TiC prin procedul CVD.

Microduritatea acoperirii prin PVD este mult mai mare decât a acoperirii prin CVD la temperatura camerei, însă la temperatura de 1000 °C microduritatea stratului are aproximativ aceleași valori indiferent de procedeu.

Tensiunile remanente din stratul superficial sunt de întindere în cazul acoperirii prin CVD și de compresiune în cel obținut prin PVD.

Limitele acoperirii prin procedul CVD a carburilor metalice, folosite la execuția sculelor așchietoare, sunt următoarele:

- Fisurile sunt prezente în structura acoperirii și chiar în interiorul zonei craterului, unde au formă alungită, și astfel protejează tăișul așchietor de apariția structurii “mozaic”;
- Tăișurile așchietoare care au fost șlefuite prezintă o mai bună adeziune și din acest motiv forțele de așchiere sunt de valori mai reduse, însă șlefuirea este mult mai puțin importantă la sculele neacoperite. Șlefuirea influențează în sens pozitiv luciul suprafeței, în special la strunjire;
- Culoarea așchiilor rezultate la prelucrarea cu plăcuțe acoperite prin CVD este albăstrie, ceea ce denotă o temperatură mai mare a acestora.

Acoperirea prin procedeul CVD a carburilor metalice micșorează rezistența la forfecare și la ciupire a tășurilor așchietoare ale sculei, mai cu seamă la așchiera discontinuă, deși se îmbunătățește mult rezistența la uzură. În general, rezistența la forfecare a carburilor metalice neacoperite este redusă (~1,0GPa), însă la cele acoperite prin procedeul Chemical Vapour Deposition (CVD) apar după răcire și microfisuri și tensiuni interne în stratul depus. Conținutul de cobalt și mărirea grăunților de carbură de wolfram (WC) din stratul superficial al plăcuței din carburi metalice acoperite prin CVD diminuează formarea și propagarea fisurilor.

Avantajele acoperii plăcuțelor prin procedeul PVD sunt:

- Absența fisurilor în interiorul stratului acoperit;
- Nu este necesară șlefuirea înainte de utilizare;
- Așchiile sunt de culoare cenușiu luminos, consecință a unei temperaturi mai reduse a procedeului;
- Nu apar exfolieri premature ale stratului depus și toate cele trei sau patru tășuri ale unei plăcuțe se pot utiliza până la epuizarea rezervei de uzură;
- Pentru acoperiri dure, rezistente la uzură, frecare redusă se folosește procedeul PVD la temperaturi relativ joase (200-500°C);
- Timpul mediu de acoperire pentru grosimi între 1 - 5μm este 4 ore.

*Obiective științifice și tehnologice referitoare la procedeele de depunere:*

O mare cantitate de informații despre cum trebuie să se pretrateze suprafața este disponibilă acum ca principiu pentru procesul necesar de pretratare în relația cu procesul de acoperire prin PVD. Principiile pentru șlefuire, prelucrare prin electro-descărcări în imersie, prelucrarea prin electro-descărcări cu sârmă, prelucrare electro-chimică, metode de curățire a oțelurilor, carburilor și cermeților sunt cunoscute în literatura de specialitate. De asemenea, influența acestor tratamente asupra performanțelor așchietoare ale sculelor acoperite folosite la prelucrarea prin strunjire, frezare, alezare, etc. este remarcabilă.

Creșterea performanțelor așchietoare a sculelor acoperite prin aceste procedee și diminuarea prețului acestora se pot realiza pe următoarele căi:

- pentru operația de acoperire se recomandă a se pregăti numai suprafața utilă a sculei sau piesei;
- producătorii de scule (proiectanți și executanți) trebuie să adapteze corect procedeul de acoperire prin PVD sau PACVD scopului urmărit care să influențeze favorabil performanțele și costul

sculei. Proiectantul de scule acoperite trebuie să precizeze riguros modul optim de pregătire a suprafeței, alegerea materialului, geometriei și toleranțelor în concordanță cu procedeul de acoperire (PVD și PACVD);

- utilizatorii de scule acoperite trebuie să aibă calificarea necesară specifică exploatarii cât mai rațională a acestor scule.

În sensul ideilor menționate mai sus cercetători, proiectanți și executanți de scule așchietoare acoperite au elaborat standardul internațional "Preparation of steel substrates before application of paint and related products- Tests for the assessment of surface cleanliness" (ISO 8502-3).

### **3. CONSIDERENTE TEHNICO-ECONOMICE PRIVIND PROCEDEELE DE ACOPERIRE PRIN PVD ȘI PACVD**

#### **3.1. Materiale folosite la acoperire**

Materiale ceramice, carburi metalice (ex. carbura de titan (TiC), carbura de wolfram (WC) nitruri (ex. nitrura de titan (TiN), carbo-nitrura de titan (TiCN) nitrura dublă de aluminiu și titan (TiAlN); nitrura de crom (CrN), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), aluminiu-oxid-nitrură (ALON) etc.).

#### **3.2. Prețul**

Prețul nu depinde de volumul de producție (acoperirea unei freze costă la fel de mult ca și pentru 1000 de freze). Parametrii cu influența mare asupra prețului sunt:

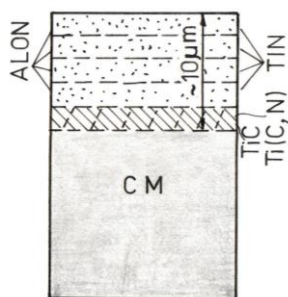
- Mărimea părții;
- Complexitatea formei;
- Protejarea suprafeței acive;
- Gradul de strălucire

### **4. PLĂCUȚE AȘCHietoARE ACOPERITE CU STRATURI MULTIPLE**

Materialul părții active al plăcuței așchietoare este "Widalon TK15" care este caracterizat de performanțe așchietoare ridicate.

Acest material rezultă în urma depunerii chimică din vapori (CVD) prin combinarea straturilor de "ALON" (aluminiu-oxid-nitrură), (figura 1), cu straturi de carbură și nitrură. Această acoperire cu straturi multiple permite așchiera cu viteze foarte mari de așchiere, în special la prelucrarea fontei.

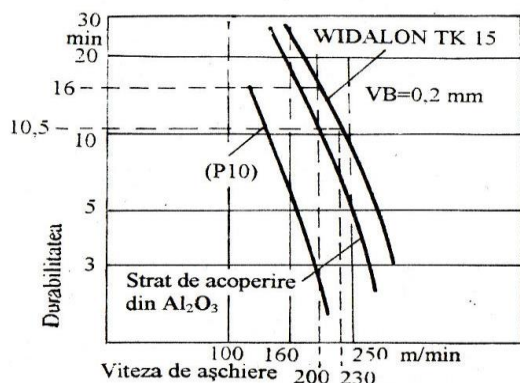
Plăcuțele acoperite cu straturi multiple au o rezistență mărită la abraziune, deformare plastică și o depunere minimă pe tășul așchietor. Acoperirea inițială este din carbură de titan (TiC), care



**Figura 1.** Acoperirea plăcuței așchietore cu straturi multiple.

constituie un strat dur, rezistent la uzură, care aderă foarte bine la carbura de wolfram. Substratul format din oxid de aluminiu oferă o bună stabilitate chimică la temperaturi ridicate și o rezistență mare la uzură prin abraziune. Stratul superficial din nitrură

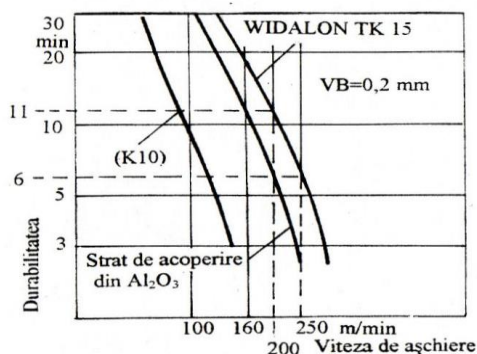
wolfram. Al doilea strat depus compus din oxid de aluminiu oferă o bună stabilitate chimică la temperaturi ridicate și o rezistență mare la uzura prin abraziune. Stratul superficial compus din nitrură de titan (TiN) are un coeficient de frecare scăzut, fapt ce contribuie la reducerea substanțială a depunerii de metal pe tăiș. Această variantă este recomandată la prelucrarea pieselor acoperite cu strat gros de oxizi rezultați de la operația anterioară (forjare, sudare, etc.). Plăcuțele astfel acoperite permit viteze și avansuri de așchiere mari, în timp ce uzura tăișului așchietor este foarte mică.



**Figura 2.** Diagrama T-v pentru strunjirea oțelului carbon ( $\sigma_r = 76 \text{ daN/mm}^2$ ); Plăcuță reversibilă SNMA;  $\alpha = 75^\circ$ . Secțiunea stratului de așchiere  $2 \times 0,25 \text{ mm}^2$ .

de titan (TiN) are un coeficient de frecare scăzut, care contribuie la diminuarea depunerii pe tăiș.

Durabilitatea sculelor cu tășuri din carburi metalice acoperite cu straturi multiple este mai mare cu aproximativ 50% în raport cu cele neacoperite. În figura 2 se prezintă diagrama durabilitate – viteză (T – v) pentru strunjirea oțelului carbon, iar în figura 3 diagrama T – v pentru strunjirea fontei cenușii.



**Figura 3.** Diagrama T – v pentru strunjirea fontei cenușii (160 HB). Plăcuță reversibilă SNMA;  $\alpha = 75^\circ$ ; Secțiunea stratului de așchiere  $2 \times 0,25 \text{ mm}^2$ .

Un prim strat format din carbură de titan (TiC) asigură duritate și rezistență la uzură mare și o aderență foarte bună la sustratul din carbură de

## 5. CONCLUZII

Plăcuțele așchietore acoperite cu un înveliș din carbură de titan (TiC), sunt foarte rezistentă la uzură și au un material de bază deosebit de tenace. Aceste plăcuțe sunt recomandate pentru o gamă vastă de prelucrări, de la degroșare până la finisarea avansată a fontelor, oțelurilor carbon și aliate, oțelurilor inoxidabile, precum și a materialelor neferoase și nemetalice.

Plăcuțele acoperite cu un strat de nitrură de titan (TiN), fixat pe un strat de carbură ameliorată, au o rezistență mai mare. Se recomandă la prelucrarea materialelor menționate la plăcuțele menționate mai sus. Rezistența mare la formarea craterelor la uzură și la formarea ciupiturilor fac ca această plăcuță să fie adecvată la prelucrarea materialelor cu strat superficial defect (arsuri puternice, acoperire cu țunder) precum și la așchiera discontinuă.

Plăcuța acoperită cu oxid de aluminiu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) se comportă foarte bine la temperaturi înalte, la viteze mari de așchiere fiind recomandată la prelucrarea oțelurilor și fontelor greu așchiabile, dar și la așchiera oțelurilor aliate, a oțelurilor de scule, a fontelor nodulare și maleabile.

## Bibliografie

1. Venkatesh, V.C. Performance Studies of Uncoated, CVD-Coated and PVD-Coated Carbides in Turning and Milling. Manufacturing Technology, CIRP ANNALS, Vol. 40/1/1991.
2. Katayama, S., Effect of Microcracks in CVD-Coated Layer on Traverse Rupture Strength and Chipping Resistance. Manufacturing Technonogy, CIRP Annals, Vol. 40/1/1991, pag. 57.
3. Mareș, Gh. Cercetări cu privire la durabilitatea plăcuțelor din CMS titanizate la strunjirea oțelului RUL-IV. Conferința "TEHNOMUS VIII", Suceava, Mai 1995, pag.234 – 239.

Recomandat spre publicare: 11.01.2008