

CONSIDERAȚII TEORETICE REFERITOARE LA ACOPERIREA SCULELOR AȘCHIETOARE PRIN DEPUNERI PVD, CVD și PCD

Gh. Mareș

Universitatea Transilvania din Brașov, Romania

INTRODUCERE

Plăcuțele indexabile constituie un exemplu de eficiență în așchiera metalelor. Cu toată varietatea mare de forme, mărimi și dimensiuni, aceste tipuri de scule cu cost efectiv mai ridicat, asigură performanțe așchietoare ridicate pentru o gamă mare de materiale.

La prelucrarea metalelor prin așchiere procesul de uzare al sculei așchietoare există și depinde de mai mulți factori printre care în primul rând se situează materialul piesei.

Mecanismele de uzare a părții active a sculei includ: uzarea abrazivă pe fațetă și fața de degajare a sculei, crater de uzură pe fața de degajare, cauzată de interacțiunea chimică dintre așchie și suprafața de degajare, depunerea pe tăiș și striatiunile cauzate de așchie.

Depunerea de vapori prin metode fizice (**Physical Vapor Deposition**), PVD cuprinde un grup de tehnologii folosite pentru acoperirea sculelor așchietoare, scule pentru presare la rece, acoperiri decorative, etc.

În ultimii ani se aplică și depuneri din fază de vapori pe cale chimică, așa numitele procedee CVD (**Chemical Vapour Deposition**). Procedeele CVD are la bază posibilitatea realizării de vapori ai unor metale care apoi, în anumite condiții, difuzează în stratul superficial al materialului de prelucrat.

Acoperirea cu diamant a plăcuțelor din carburi metalice sinterizate se recomandă în special pentru păstrarea geometriei părții active și a fragmentatorilor de așchii.

Metodele chimice de realizare a stratului superficial au la bază diverse procese chimice cum ar fi: reacții chimice, difuziune și acoperiri chimice.

1. ACOPERIREA PRIN PROCEDUREL PVD

1.1. Considerente teoretice

Procedeele PVD (**Physical Vapour Deposition**) au la bază fenomene fizice cum ar fi:

vaporizarea (sublimarea) metalelor sau a compozitelor (aliajelor) acestora, pulverizarea catodică în vacuum, ionizarea gazelor și vaporilor de metal, etc.

Particularitatea generală a acestor procedee 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 °C, ceea ce permite acoperirea stratului de bază fără pericolul diminuării durității. Cuplarea prin adeziune are un caracter mai slab întrucât suprafața acoperită este mai puțin fină.

Principalele cercetări care se desfășoară în vederea aplicării diverselor variante ale tehnologiilor prin metode PVD sunt:

1. Stabilirea zonelor de obținere și ionizare a vaporilor de material necesar pentru realizarea acoperiri în condiții optime;
2. Alegerea procedeeului optim de obținere a vaporilor de metal (compozite);
3. Stabilirea procedeeului optim de depunere a vaporilor de metal;
4. Introducerea sau nu a unor procese de activare a depunerii pe stratul superficial.

Procedeele principale de obținere a vaporilor de metal, sau compozite ale acestuia sunt:

- a. Sublimarea termică a materialului sau a compozitei acestuia prin descărcare în arc continuu sau cu impulsuri;
- b. Evaporarea termică a materialului;
- c. Pulverizare ionică (catodică sau anodică).

Procedeele de depunere a vaporilor dezvoltate până în prezent sunt:

- a. Sedimentarea din vapori. Procedeele constă în depunerea vaporilor de metal sau compozite ale acestuia, neionizați sau ionizați slab, obținuți pe calea vaporizării termice prin metode activate. La acest procedee ionizarea vaporilor are loc în altă zonă decât cea în care vaporii se obțin;
- b. Placarea ionică. Este procedeele de depunere a ionilor de metal sau compozite obținuți prin metoda evaporării sau sublimării termice cu grad mare de ionizare, comparativ cu metodele activate folosite în cazul sedimentării din vapori.

- c. Pulverizarea – reprezintă procedeul de depunere a ionilor de metal ionizați, obținuți prin pulverizarea electrodului metalic de către ionii unui gaz inert (adesea argon), obținuți la rândul lor prin descărcare ionică.

1.2. Materiale folosite pentru acoperire:

- Carburi (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), etc.).

1.3. Produse tipice pentru acoperiri PVD:

- Scule așchietoare în special cele de rotație;
- Scule de presare la rece, etc.

2. PROCESE DE ACTIVARE

În prezent se aplică următoarele procedee de activare a procesului de depunere a ionilor:

1. Folosirea gazelor reactive, cum ar fi azotul, hidrocarburi, oxigenați, amoniac, etc., care favorizează reacțiile cu vaporii de metal obținându-se astfel combinații de tipul TiN, VC, Al₂O₃, etc. (metode neactivate). Acestea determină o anumită creștere a durității suprafeței acoperite;
2. Activarea proceselor de ionizare a gazelor și vaporilor de metal prin aplicarea unor procese fizice suplimentare cum ar fi: descărcări în arc, folosirea de câmpuri electrice sau magnetice constante sau variabile, izvoare suplimentare de emisie de electroni, încălziri locale intense, sau combinații dintre aceste, în scopul intensificării fenomenelor de bază (metode activate).

Principali parametri fizici ai tehnologiilor PVD sunt:

- temperatura procesului (30 – 600)⁰C;
- presiunea (vacuum), (0,1 – 100) Pa;
- energia particulelor (0,01 – 1000) eV;
- viteza de depunere a stratului (0,01 – 75) μm.

În ultimii ani tehnologiile PVD se utilizează tot mai mult la acoperirea părții active a sculelor așchietoare și a sculelor pentru presare la rece. După realizarea depunerii se obține o microduritate a stratului de ~ 2000 HV, o înaltă rezistență la uzură (coeficientul de frecare sub 0,06), o scăzută conductibilitate termică și o rezistență la oxidare mare, până la 600⁰ C.

Alegerea celei mai bune metode PVD este dependentă de următorii factori ai procedeului: caracteristicile materialului ce urmează a fi depus; necesarul (existența) de material de depunere; rata de depunere; caracteristici limită impuse de substrat, cum ar fi temperatura maximă la depunere, mărimea și precizia depunerii; adeziunea dintre depunere și substrat; proprietățile în adâncimea stratului (distribuția și adâncimea depunerii ex. adâncimea maximă, distribuția neuniformă la o anumită adâncime); puritatea materialului de depunere; echipamentul necesar și disponibilitatea lui; costul întregului proces tehnologic de acoperire; considerente ecologice.

Tabelul 1 prezintă date comparative între metodele PVD, iar în tabelul 2 – proprietățile stratului depus prin pulverizare magnetică

Tabelul 1. Metode de acoperire folosind procedeul PVD

Metoda →	Condensare din vapori	Placarea ionică	Pulverizare
Principiul procesului →	Vaporizarea metalului (+ reacția chimică)	Vaporizarea metalului+ descărcare în câmp	Pulverizare+ descărcare în câmp
Temperatura [⁰ C]	200 - 600	150 - 600	150 – 500
Presiunea [Pa]	0,15	0,1 - 100	0,01 - 10
Energia particulelor [eV]	0.01 – 1	5 – 1000	1 – 1000
Viteza formării stratului [μ m/min]	1 - 75	1 - 25	0,01 – 0,65 (0,4 – 2 la particule magnetizate)
Tensiunea [KV]	Fără tensiune (0,5KV se aplică pentru modi – ficarea structurii stratului)	0,5 - 5	3 – 4
Grosimea stratului	Mică	Medie	Mare
Adeziunea stratului	Slabă	Bună	Foarte bună

Tabelul 2. Proprietățile stratului depus prin pulverizare magnetică.

Strat	Viteza de depunere $\mu\text{m}/\text{min}$	Temperatura procesului [$^{\circ}\text{C}$]	Micro-duritatea [HV]	Temperatura maximă a procesului	Adeziunea [N]
TiN	0,06	400 - 500	2500 - 2800	550	35 - 75
TiC	0,065	450 - 550	2800 - 3700	400	
CrN	0,065	200 - 350	2000 - 2200	650	50
WN	0,055	280 - 300	2500 - 4000	400	20 - 55
Cr	0,130	100 - 150	500 - 700	600	80
TiAl	0,065	400 - 500	2200 - 2300	700	45 - 60
TiCN	0,065	350 - 400	3500 - 4500	450	

2.1. Avantaje și dezavantaje ale acoperirii PVD:

2.1.1. Avantaje

- Acoperirile PVD sunt întotdeauna mai dure și mai rezistente la coroziune decât cele prin electroplacare. Mai mult, acoperirile au o mai bună rezistență la temperatură și la șoc, au o excelentă rezistență abrazivă și sunt atât de durabile încât nu necesită protecție suplimentară.

- Acoperirile PVD pot fi folosite la așchiera materialelor foarte dure (63HRC).

- Acoperirile PVD pe scule așchietoare conduce și la **reducerea necesarului de fluide de așchiere**. Costul fluidului de așchiere, în prezent, reprezintă aproximativ 15% din costul total al prelucrării. Vitezele înalte de așchiere și așchiera uscată determină valori mari ale temperaturii tășului așchietor. Acoperire PVD cu TiAlN are o foarte mare stabilitate termică, înaltă duritate și rezistență la oxidare. Aceste acoperiri se folosesc la așchiera uscată sau cu răcire limitată.

- Capacitatea de utilizare în viitor a materialelor de acoperire de tip anorganic și organic pentru diverse tipuri de substraturi, care necesită un anumit grad de finisare.

2.2.2. Dezavantaje

- Tehnologiile specifice pot impune restricții: ex. transferul **line-ofsight** este imposibil la alezaje ;

- Aceste tehnologii se desfășoară la temperaturi și în condiții de vacuum și deci reclamă protecția personalului ;

- Necesită sistem de răcire pentru îndepărtarea căldurii ;
- Alegerea tehnologiei PVD necesită experiență multă și/sau experimentări ;
- Cost mare.

3. ACOPERIREA PRIN PROCEDEUL CVD

Metodele chimice folosite pentru realizarea stratului superficial au la bază diverse procese chimice cum ar fi: reacții chimice, difuziune și acoperiri chimice.

Acoperirea prin procedeul Chemical Vapour Deposition (CVD) cu un film de diamant a evoluat foarte mult în ultimi ani. Două dintre cele mai promițătoare aplicații sunt: depunerea de filme subțiri pe plăcuțe așchietoare și acoperirea cu filme subțiri pentru instalații rezistente la temperatură și uzură.

Până când procesele CVD-diamond au devenit practice, furnizorii au avut un anumit tip de scule cu diamant disponibile, și anume: Polycrystalline Diamond (PCD). Acoperirea PCD care conține cristale de diamant și liat – cobalt, a fost și este folosită în prelucrarea metalelor. Segmente din PCD sunt lipite pe tășul așchietor al plăcuțelor de carburi. Uzual, numai anumite tășuri așchietoare primesc precizia profilului și aceasta datorită unui fir plasat într-o cavitate din plăcuță și ca urmare a unei descărcări electrice între acesta și mașină. Geometria tășurilor așchietoare realizate prin acoperire PCD este limitată, însă tehnologia filmelor subțiri obținute prin CDV, este complementară și se recomandă la realizarea părții active a sculelor așchietoare prevăzute cu plăcuțe din carburi metalice.

Depunerea unei pelicule de diamant, pe un substrat de carburi metalice, aliajele cele mai folosite la așchiere cu diamant, se justifică mai ales atunci când se proiectează pe partea activă a sculei fragmentatori de așchii care au geometria lor specifică. Aceste tipuri de scule așchietoare au o mare varietatea de forme, mărimi și dimensiuni, și deși au cost efectiv mai ridicat, asigură performanțe așchietoare ridicate pentru o gamă mare de materiale supuse prelucrării. Potențialul pentru așchiera materialelor neferoase cu diamant este vast. Materialele care se pretează foarte bine la prelucrarea cu aceste scule sunt: aluminiu (în special aliajul cu mult Si de tipul Al390), alama, cuprul, bronzul, compozitele din fibre, titanul, ceramica, grafitul, laminate călite. Viteza mare de așchiere și durabilitatea mare a sculelor sunt

indicatori economici care propulsează dezvoltarea procedeelelor de acoperire.

Materialul de bază, sau substratul, pentru cele mai multe plăcuțe acoperite cu diamant sunt carburile cu wolfram, asemănător plăcuțelor din carburi acoperite cu nitru de titan (TiN) sau carbură de titan (TiC).

Succesul efectuării practice a depunerii unei pelicule de diamant pe plăcuțe din carburi metalice constă în adeziunea puternică dintre aceste elemente mai ales la depunerea prin CVD. Plăcuțele din carburi sunt executate din doi ingrediente principali, carbură și cobalt, care sunt amestecate împreună în diverse procente și apoi sunt sinterizate. Carburile folosite la execuția plăcuțelor sunt sub formă de granule (pulberi), cu toate că grăunții individuali sunt foarte mici. Pentru acoperirea cu diamant, mărimea grăunților și rugozitatea stratului superficial influențează mult performanțele așchietoare. Cobaltul este elementul de "cementare" a grăunților de carbură. El conferă caracteristici așchietoare cu privire la duritate și tenacitate.

Cobaltul, ca și liant, se reține împreună cu particulele de carbură în substratul inserat și crează o problemă în realizarea unei înalte adeziuni între acoperirea de diamant și cobalt, pe suprafață, cauzând reacția cu gazele folosite în procesul CVD și formând grafit în locul diamantului. Suprafețele de grafit sunt mai slabe decât diamantul și chiar mai mult grafitul micșorează filmul total, creând potențialul pentru insuficiența inserției.

Reducerea întâmplătoare a cobaltului, în special format în substratul de carbură (conținutul de Co mai mic de 6%) este o metodă folosită pentru plăcuțele de carburi acoperite cu diamant.

Ideal, o bună adeziune rezultă la tășurile așchietoare care se uzează în substratul de carbură. Dacă filmul de diamant aderă rău, el va fi sfărâmat sau exfoliat, el eliminându-se.

Rata de depunere variază în funcție de metoda CVD folosită, dar 1μm/oră, sau chiar mai mare pentru suprafețe de 10cm² este considerată acceptabilă pentru producție. În mod uzual sunt necesare grosimi de 25μm când urmează finisarea. Grosimea filmului este controlabilă, totuși filme mai groase sau mai subțiri pot fi depuse în funcție de aplicație.

3.1. Avantaje si dezavantaje ale acoperii CVD

3.1.1. Avantaje

Performanțele caracteristice ale plăcuțelor acoperite cu diamant prin procedeul CVD sunt comparabile cu cele PCD. "În multe aplicații, plăcuțele acoperite prin CVD pot să înlocuiască

direct plăcuțele PCD, întrucât geometria părții active (fragmentatorii de așchii) permite lucrul cu avansuri, viteze și adâncimi de așchiere mult mai mari".

- Diamantul nu este numai cel mai dur material de pe pământ, dar el are un coeficient foarte mic de frecare (conductivitatea termică este mai mică de câteva ori decât a cuprului). De aici decurg avantajele majore ale așchierii metalelor cu diamante;

- Flexibilitatea, în proiectarea plăcuțelor acoperite cu film de diamant este un mare avantaj. Astfel plăcuțele din carburi metalice pot fi proiectate cu geometria optimă și prevăzută cu fragmentatorii de așchii ;

- Filmul de diamant ajută, deasemenea, la curgerea așchiei. Din cauză că diamantul are un coeficient redus de frecare, așchiile se deplasează pe diverse direcții pe fața sculei, fără piedici ;

- Plăcuțele din carburi metalice au mai multe tășuri așchietoare. Întrucât toate tășurile 3(trei), 4(patru), 5(cinci),etc sunt acoperite, toate sunt utilizabile;

- Plăcuțele acoperite cu diamant prin procedeul CVD se uzează uniform.

3.1.2 Dezavantaje

- Probabil, principalul neajuns al plăcuțelor acoperite cu film de diamant este lipsa rezilienței. Filmul de diamant, realizat prin CVD, este casant atunci când depunerea se face pe un substrat sărac în cobalt;

- În același timp, sculele diamantate se utilizează limitat la așchiera materialelor neferoase. Totuși, experimentele implicând folosirea gazelor super-răcite injectate pe interfața dintre sculă și diamant conduce la rezultate încurajatoare.

Bibliografie

1. *Chris Koepfer. Diamond-Coated Carbide Inserts, 15 Iulie, 2003.*
2. *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.*