

Vergelijkende beschouwing slijtvaste lagen op basis van CVD- en PVD-procédé's

STAPS Advanced Technologies B.V., Tilburg

Samenvatting

Onder de oppervlaktetechnieken neemt het chemisch (CVD) en fysisch (PVD) opbrengen van onder andere TiC (titaancarbid) en TiN (titaannitride) als slijtvaste lagen een bijzondere plaats in.

Hoewel het principe van deze processen al vele tientallen jaren bekend is, is het op economische schaal aanbrengen van lagen op stalen gereedschappen en onderdelen door middel van het CVD- en PVD-procédé pas de laatste jaren tot ontwikkeling gekomen.

In dit artikel worden de eigenschappen van de aan te brengen lagen besproken en met elkaar vergeleken. Tevens worden de procédé's en hun toepassingsmogelijkheden behandeld.

Inleiding

Moderne gereedschapssystemen en componenten zijn als gevolg van hoge productieprestaties aan grote slijtage onderhevig. Niettemin worden van het gereedschap toch hoge standtijden verwacht, zodat de stilstandduur van de betrokken machine zo veel mogelijk wordt bekort. Daarom moeten slijtvaste lagen gemakkelijk kunnen worden toegepast.

Deze eisen hebben het onderzoek op het gebied van de tribologie de laatste jaren sterk bevorderd. Er wordt dan ook voortdurend onderzoek verricht om de standtijd van gereedschappen te verlengen. Van bijzonder belang daarvoor zijn behandelingen van en procédé's voor de oppervlakken van de gereedschappen.

Twee bijzonder effectieve processen zijn ongetwijfeld het chemisch (CVD) en het fysisch (PVD) opbrengen van onder andere TiC (titaancarbid) en TiN (titaannitride), respectievelijk een combinatie daarvan.

Het CVD-procédé wordt al meer dan vijftien jaar voor het aanbrengen van slijtvaste lagen op hardmetalen snijgereedschappen toegepast. Het opbrengen van CVD- en PVD-lagen op staal is daarentegen een ontwikkeling van de laatste jaren.

Vergelijking van slijtvaste lagen

Slijtvaste lagen worden in het algemeen slechts in zeer geringe dikten (2 tot 12 μm) opgebracht, maar zijn uitermate hard. Door het opbrengen van

TiC (titaancarbid) en/of TiN (titaannitride) ontstaat een beschermingsfilm tussen gereedschap en werkstuk. Door de geringe dikte bieden de – in principe brosse – lagen uitstekend weerstand aan spanningen en vervormingen op het oppervlak van stalen gereedschappen. TiN is chemisch zeer stabiel, dit leidt tot vermindering van adhesie met "vreemde" materialen. Hierdoor wordt ook de slijtage vermindert en kunnen hogere snijnelheden mogelijk zijn. Een van TiC/TiN-lagen voorzien snelstaalgereedschap heeft niet alleen de taaiheid van staal, maar ook een oppervlaktehardheid, die groter is dan die van hardmetaal, zie tabel 1.

TiN is goudkleurig en heeft een hardheid van 2.300 tot 3.000 HV. In verband met zijn lage adhesieve eigenschappen is TiN vooral geschikt voor stempels, matrijzen, koudvervormende gereedschappen en snijgereedschappen.

TiC heeft een matgrijze kleur, heeft een hardheid van 3.000 tot 3.800 HV en is het best geschikt als bescherming tegen abrasieve slijtage. Speciaal bij gereedschappen en onderdelen die aan abrasie zijn blootgesteld, laat TiC uitstekende resultaten zien.

TiC- en TiN-lagen zijn in lucht oxydatie vast tot ca. 300°C. Het is daarom belangrijk gereedschappen met dergelijke slijtvaste lagen afdoende te koelen, omdat anders de voordelen van het aanbrengen van lagen al snel verloren gaan. Wanneer de verhitting niet constant is, zoals bijvoorbeeld bij warmvormende gereedschappen, die intermitterend aan warmte worden blootgesteld, lijden de lagen geen schade.

De bij het CVD-proces afgezette slijtvaste lagen bestaan in de regel uit een aantal lagen, waarbij TiC vaak als verbindingsslaag tussen het substraat en de opeenvolgende lagen wordt toegepast. Op het TiC wordt achtereenvolgens Ti(C,N) en daarna TiN opgebracht. Zulke combinaties maken het mogelijk de voordelen van de afzonderlijke lagen te verenigen.

Een snijgereedschap bijvoorbeeld, krijgt door de TiN-laag betere glijeigenschappen aan het oppervlak. De TiC-laag daarentegen beschermt tegen de slijtage die door abrasie wordt gevormd.

Aluminiumoxyde (Al_2O_3) is doorzichtig, heeft een hardheid van ongeveer 2.500 HV en is chemisch neutraal. Omdat geen verdere oxydatie meer mogelijk is, wordt het bij voorkeur daar toegepast, waar hoge temperaturen een extra belasting betekenen. Al_2O_3 wordt in de eerste plaats op hardmetalen snijgereedschappen voor hoge snijnelheden opgebracht.

CVD-procédé

CVD (Chemical Vapour Deposition) is een procédé dat bij normale druk of onderdruk plaatsvindt, in het alge-

Tabel 1 Vergelijking van oppervlaktehardheden

Titaancarbid (TiC)	3.800 HV
Titaannitride (TiN)	3.000 HV
Aluminiumoxyde (Al_2O_3)	2.500 HV
Chroomcarbide (Cr_2C_3)	2.200 HV
Hardmetaal	maximaal 1.800 HV
Hardchroom	1.200 HV
Koud verwerkt staal (gehard)	770 HV

Tabel 2 Keuze van slijtvaste lagen volgens het CVD-procédé

Laag-type	Hardheid HV	Dikte μm	Proces-temperatuur °C	Eigenschappen	Mogelijke toepassingen
SiC	-6 000	300 +	1 000-6 000	Extreem harde laag die goed hecht op hardmetaal en grafiel Uitermate corrosievast	Bescherming tegen corrosie Productie van "vrijstaande" voorwerpen als boren e d
TiC	-3 800	- 6	1 000	Harde laag die goed hecht op hardmetaal en staal Wordt vaak als verbindingslaag tussen substraat en verdere lagen toegepast Goede bescherming tegen abrasie	Hardmetalen snijgereedschappen, stalen gereedschappen zoals schroefwalswangen, etc , waar goede glij-eigenschappen van de laag niet beslist nodig zijn
TiN	-3 000	- 4	950	Goudkleurige harde laag die vaak op TiC opgebracht wordt Geringe wrijvingsweerstand	Hardmetalen snijgereedschappen, stalen gereedschappen zoals stempels, ontbraammatrijzen en andere koudverwerkingsgereedschappen
Al ₂ O	-2 500	- 3	1 050	Chemisch en metallurgisch zeer stabiel, geen verdere oxydatie meer mogelijk	Hardmetalen snijgereedschappen voor toepassing bij hoge snij snelheden
Cr ₂ C ₃	-2 200	-12	1 000	Niet zo hard als TiC en TiN, daarentegen taai en corrosievast	Hardmetaal en staal, gereedschappen die aan zowel slijtage als corrosie resp wisselende belasting en hoge temperatuur zijn blootgesteld
PBN (pyrolytisch borium-nitride)		-2 mm	1 600	Goede warmtegeleidingseigenschappen, geringe elektrische geleidingseigenschappen ook bij hoge temperaturen Chemisch neutraal, bestand tegen zuren en zouten	Productie van buisjes, componenten voor ovens met hoge bedrijfstemperatuur en andere "vrijstaande" componenten

meen bij temperaturen tussen 800 en 1050°C

Voor de lagen worden opgebracht ondergaan de gereedschappen verschillende behandelingen Daartoe behoort in de eerste plaats een grondige reiniging, maar ook het ontbramen, polijsten en andere voorbereidingen dragen ertoe bij dat de standtijd aanzienlijk kan worden verlengd Gereedschappen zonder slijtvaste lagen die normaliter gepolijst worden gebruikt, moeten voor het aanbrengen van de lagen eveneens gepolijst zijn, omdat de CVD-laag het oppervlak waarop deze wordt aangebracht in hoge mate reproduceert In vele gevallen kan alleen door het achteraf polijsten van de laag een belangrijke verbetering van de standtijd worden bereikt.

De gereedschappen die zijn voorbereid voor het opbrengen van lagen, worden op daarvoor bestemde draagfreems gelegd Wanneer de charge vol is, wordt de reactiekamer gesloten en op proces temperatuur gebracht Daarna worden (bij TiC) titaantetrachloride (TiCl₄) en methaan (CH₄) in de reactor gevoerd Waterstof (H₂) dient daarbij als draaggas voor het verdampte TiCl₄ Methaan (CH₄) wordt direct ingevoerd In sommige gevallen kan voor de vorming van TiC gebruik worden gemaakt van de zich in het staal bevindende koolstof en behoeft geen methaan te worden toegevoerd In het algemeen wordt bij gereedschapstalen gebruik gemaakt van koolstof uit het substraat Als het echt niet anders kan, wordt CH₄ gedoseerd

Om titaannitride (TiN) te produceren wordt - in plaats van methaan - stikstof (N₂) gebruikt De door de reactie ontstane gassen worden aan het einde van de reactor afgevoerd en geneutraliseerd

Al naar gelang het gekozen proces, laagdikten en materiaalsamenstelling duurt een cyclus voor het opbrengen van lagen tussen 8 en 15 uur Een gangbaar proces voor het opbrengen van twee lagen (TiN + TiC) verloopt ongeveer als volgt drie tot zes uur verwarmen, drie uur voor het opbrengen van de la(a)g(en) en zes tot acht uur afkoelen, een en ander afhankelijk van soort laag, materiaal, etc De dikte van de laag wordt hoofdzakelijk bepaald door de tijd die aan het opbrengen van de laag wordt besteed De totale standaard cyclustijd voor gereedschapstaal is ca 22 uur

Harden vóór het CVD-proces is niet altijd noodzakelijk Omdat het aanbrengen van CVD-lagen boven de ontlaattemperatuur plaatsvindt, moet hardbaar staal na de behandeling nogmaals gehard worden Deze warmtebehandeling dient te worden uitgevoerd in een vacuumhardingsoven, zodat de slijtvaste laag niet oxideert Bij stalen gereedschappen met zeer nauwe toleranties moeten speciale maatregelen genomen worden met betrekking tot de afwerking respectievelijk de warmtebehandeling (maatverandering/vervorming)

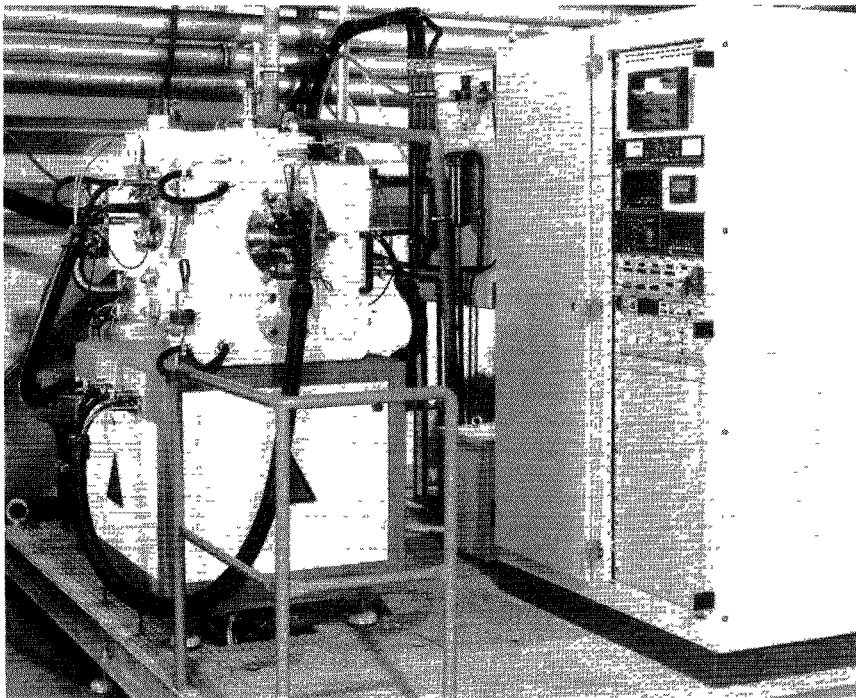
Snelstaalgereedschappen met een tolerantie van $\pm 0,03$ mm of meer zijn in het algemeen zeer goed geschikt voor het aanbrengen van CVD-lagen De hierboven genoemde speciale behandelingen zijn bij hardmetaal natuurlijk niet nodig, omdat de structuur ervan bij de heersende proces temperatuur niet verandert

Tabel 2 geeft enkele voorbeelden van CVD-afscheidingslagen die mogelijk zijn

PVD-procédé

Het PVD (Physical Vapour Deposition)-procédé is een andere, sterk in betekenis toenemende, techniek voor het opbrengen van dunne lagen. In tegenstelling tot CVD is PVD een hoogvacuum-proces Daarbij komen de hechting en de groei van de laag niet tot stand door warmte, maar door het bombarderen van het gereedschapsoppervlak met ionen Daarom bestaat een PVD-installatie hoofdzakelijk uit drie componenten

- vacuumrecipient,
- vacuum-pompsysteem,



Figuur 1.

- elektrische eenheid voor het opwekken en de handhaving van het plasma

Belangrijke verschillen ten opzichte van het CVD-procédé zijn temperatuur en tijdsduur van het aanbrengen van de lagen. De toepassing van het plasma maakt procestemperaturen beneden 500°C mogelijk. De zuivere aanbrengduur is alleen in speciale gevallen langer dan een uur. Duurder dan bij het CVD-procédé is het chargeren van de werkstukken. Hierbij moet zowel rekening worden gehouden met de onderlinge afmetingen en geometrie van de werkstukken als met de verschillende plasma-intensiteiten. Dit vereist in het algemeen een beweging (draaien) van de werkstukken. De dragers van de werkstukken zijn daardoor gecompliceerder en het nuttige volume wordt - vergeleken met een CVD-installatie - kleiner.

Net zoals bij de chemische afzetting (CVD) ondergaan de werkstukken ook bij het PVD-proces zekere voorbehandelingen. Een grondige reiniging neemt daarbij een belangrijke plaats in, want bij de lage aanbrengtemperatuur hangt de hechting in versterkte mate af van een bijzonder schoon oppervlak. Terwijl bij het CVD-proces met betrekkelijk eenvoudige reinigungsapparatuur wordt gewerkt, moet bij het PVD-proces dure apparatuur worden toegepast. De daarvoor ge-

schikte reinigungsinstallatie en de benodigde know-how zijn daarom van grote betekenis. Maar ook het ontbramen, het polijsten en eventueel afronden van de randen zijn effectieve voorbehandelingen om goede resultaten te bereiken.

Bij het aanbrengen van PVD-lagen op staal wordt de ontlaattemperatuur normaliter niet bereikt. De werkstukken behoeven daarom *nadien* niet aan een warmtebehandeling te worden onderworpen. Zelfs zijn werkstukken geschikt die enge maattoleranties

hebben. Behalve staal en hardmetaal kan een belangrijk grotere verscheidenheid aan substraten van een PVD-laag worden voorzien.

Figuur 1 toont een PVD-installatie.

PVD en CVD vullen elkaar aan

De kosten voor het aanbrengen van een slijtvaste laag bewegen zich voor beide procedés tussen ongeveer 20 en 100% van de prijs van het onderdeel. Enkele aantrekkelijke punten van het CVD-proces zijn goede verdeling van de laagdikte, alsmede de mogelijkheid zelfs in gaten en holten een regelmatige laagsamenstelling te krijgen.

Een verschil is ook dat met CVD meer, verschillende, lagen kunnen worden aangebracht en PVD daarentegen in het algemeen uit een enkele laag bestaat.

Zoals al vermeld kan de hoge proces-temperatuur van CVD een probleem inhouden bij het aanbrengen van een slijtvaste laag op stalen gereedschappen. Er is in feite een aantal gevallen, waarin het aanbrengen van lagen door middel van het CVD-proces niet mogelijk is. Bij stalen gereedschappen met enge toleranties verdient PVD meestal de voorkeur.

Het CVD-procédé is met name geschikt voor het gelijkmatig bedekken van zeer gecompliceerde vormen en onderdelen die zijn voorzien van diepe holten of boringen met dunne wanden die van een slijtvaste laag moeten worden voorzien.

Het PVD-procédé is bijzonder aange-

Tabel 3 Richtlijnen voor toepassingen van volgens het CVD- dan wel PVD-procédé opgebrachte lagen

CVD	PVD
Hardmetalen gereedschappen en aan abrasieve slijtage onderhevige onderdelen	Stalen gereedschappen en aan slijtage onderhevige onderdelen met nauwe toleranties (3 micron of minder)
Stalen gereedschappen en aan slijtage onderhevige onderdelen met betrekkelijk grote toleranties ($\pm 0,03$ mm of meer)	Snijgereedschappen die scherpe snijkanten moeten hebben (minder neiging tot versterkte laagopbouw aan de randen)
Koudvormende gereedschappen van staal en hardmetaal	Substraten die niet aan hoge temperaturen mogen worden blootgesteld
Staal met een temperatuurvastheid tot ca 1 050°C	Decoratieve lagen (goudkleurig)
Toepassingen die een zekere slijtage-reserve vereisen of toepassingen die de vervaardiging van vrijstaande onderdelen beogen	

past aan die onderdelen waaraan hoge eisen worden gesteld met betrekking tot de oppervlaktestandheid

Op dit moment vullen CVD en PVD elkaar dus aan, hoewel er op het ogenblik al verdere ontwikkelingen aan de gang zijn. Bij CVD wordt getracht de procestemperatuur te verlagen. PVD-technici daarentegen leggen zich er onder meer op toe met een betere benutting van de reactor en gunstiger installaties economischer oplossingen te bereiken. Met betrekking tot de huidige situatie kunnen de richtlijnen in tabel 3 bij de proceskeuze van nut zijn.

Veel koudvervormende gereedschappen maken de beste resultaten met een CVD-laag mogelijk. De iets grotere laagdikte alsmede het voordeel van de uit een aantal lagen bestaande slijtvaste laag maken hier het CVD-proces tot een ideale oplossing. Veel koudvervormende gereedschappen kunnen zodanig ontworpen worden, dat ze voor het aanbrengen van slijtvaste lagen door middel van het CVD-proces geschikt zijn. De standtijd van stempels die van een slijtvaste laag zijn voorzien, is vaak vijf tot acht maal zo groot als bij gereedschap zonder dergelijke lagen.

Tabel 4 Toepassingsvoorbeelden PVD/CVD met standtijden

Werkstuk	Laagtype	Toepassing	Standtijd	
			zonder slijtvaste laag	met slijtvaste laag
Boren	TiN, PVD	Boren van koolstof-arm staal	1 000 h	4 000 h
Stansgereedschap	TiN, PVD	Plaatstansen	3 000 h	9 000 h
Snijmesses	TiN, PVD	Snijden van weefsels met opstaande pool	1 week	8 weken
Ontbraammatrizen	TiC/TiN, CVD	Snijden van zeskant schroefkoppen	25 000 h	200 000 h
Stempels	TiC/TiN, CVD	Koudvervormende persen	25 000 h	200 000 h
Schroefwalswangen	TiC/TiN, CVD	Schroefwalsen in bouten van koolstof-arm staal	500 000 h	2 000 000 h

Zoals vermeld is de PVD-methode in eerste instantie voor werkstukken met enge toleranties geschikt. Daarom lenen snelstalen snijgereedschappen zich het best voor dit proces. Zo wordt de standtijd van bijvoorbeeld een boor door het aanbrengen van slijtvaste lagen volgens het PVD-proces minimaal drie tot vier maal zo lang.

Tabel 4 toont enkele PVD-/CVD-toepassingen met de bereikte verbeteringen van de standtijden.

Tabel 5 toont voor een aantal praktijkgevallen de met PVD verkregen prestatieverhoging, hetgeen aanzienlijke besparingen geeft.

Tabel 5 Prestatievergelijking tussen gereedschap zonder slijtvaste laag en met slijtvaste laag volgens PVD aangebracht.

	Spiraalboor	Ruimer	Beitel	Mantelfrees	Omvormstempel	Kunststof spuitgietsvorm en -gereedschap
Gereedschapsgrootte (mm)	8 Ø x 117	30 Ø x 1 200	150 Ø x 26	60 Ø x 110	70 Ø x 8	25 x 25 x 25
Gereedschapmateriaal	HSS	ASP	HSS	DMo5	1.2080	RAB 1
Werkstukmateriaal	42 CrMo4 veredeld 1 000 N/mm ²	staal	BZ 80	C45, C60	staal	bakeliet
Prestatie ongecoat	34 doorboringen 30 mm plaat v _c = 25 m/min s = 0,09 mm	na 2 000 stuks slijpen	na 214 stuks slijpen	v = 80 m/min	6 000 delen maximaal	48 000 schoten, daarna zichtbare slijtage, na 150 000 schoten werktuig rijp voor de schroot
Prestatie gecoat	219 doorboringen 30 mm plaat v _c = 25 m/min s = 0,09 mm	na 16 000 stuks slijpen	na 918 stuks slijpen	achtvoudige standtijd tot de eerste naslijpbeurt, na de eerste naslijpbeurt drie- tot viervoudige standtijd	50 000 delen, werktuig nog in gebruik	300 000 schoten zonder tekenen van slijtage