

## VÆRD AT VIDE OM...

## 03 PVD-PROCESSER

**PVD – et utal af muligheder**

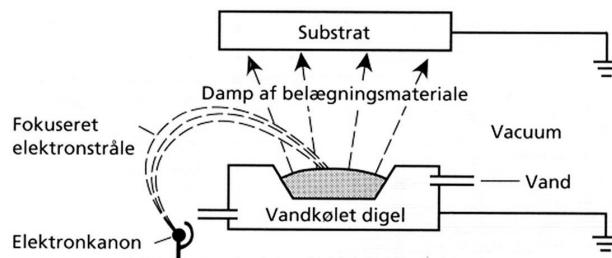
PVD er en tør belægningsproces og er den engelske forkortelse af **Physical Vapour Deposition**, men forkortelsen anvendes også på dansk. Forkortelsen er en fællesbetegnelse for en række belægningsprocesser, som bygger på en fysisk fordampning og efterfølgende udfældning af en overfladebelægning. PVD-processer opdeles ofte efter tre forskellige hovedprincipper, som adskiller sig ved måden materialet fordampes på, nemlig: vakuumfordampning, arc-fordampning og sputtering.

Ved rigtigt valg af PVD-proces kan utroligt mange forskellige materialer udfældes som tynde overfladebelægninger. Ud over de hårde slidstærke keramiske belægninger, som bruges til tribologiske formål, bruges PVD-belægninger til så forskellige formål som antirefleksbehandling af brilleglas, metallisering af plastfolie til emballage og til dekorative belægninger på vandhaner, dørgreb og smykker.

**Vakuumfordampning**

Fordampning i højvakuum er den simpleste af PVD-processerne og har været kendt siden starten af 1900-tallet. Ved denne metode opvarmes belægningsmaterialet under vakuum til det fordamper. Opvarmningen kan ske ved elektrisk opvarmning eller ved hjælp af en elektronstråle. Da der er langt mellem gaspartiklerne i højvakuum, er der stor sandsynlighed for, at belægningsmaterialet vil bevæge sig direkte til emnet og kondensere på overfladen uden at støde sammen med andre partikler. Under disse trykforhold er den frie middelvejlængde mellem 1 – 100 m. Dette betyder, at en partikel i gennemsnit kan bevæge sig over denne strækning uden at støde ind i en anden partikel. På baggrund heraf betegnes processen som værende en sigtelinieproces, hvor der kun kommer belægning på de områder, der kan ses direkte fra kilden.

For at gøre belægningen mere homogen og sprede belægningsområdet kan kammeret tilføres en inaktiv gas, f.eks. argon, ved meget lavt tryk.



Herved vil nogle partikler af belægningsmaterialet støde sammen med argonatomerne og ændre retning, hvilket medfører en spredning af belægningen. Dette har dog omkostninger i form af, at partiklerne har mindre energi, når de rammer overfladen.

Som supplement til den inaktive gas kan der tilføjes en reaktiv gas, som oftest er kvælstof, en kulbrinte eller ilt, hvilket giver mulighed for dannelse af keramiske forbindelser såsom nitrider, karbider og oxider. På denne måde kan der ved kemisk reaktion dannes hårde belægninger, som er hårdere end det fordampede udgangsmateriale alene. For eksempel kan metallisk titan fordampes i en atmosfære af kvælstof og argon, hvorved der opnås deponering af et hårdt TiN-lag (titannitrid).

**Arc-fordampning**

Betegnelsen arc er det engelske udtryk for gnist, hvorfor processen også kunne benævnes gnistfordampning. Ved arc-fordampning sker fordampningen ved, at små gnister springer rundt på metalkilden, kaldet targetmaterialet. Arc-fordampning minder i princippet meget om vakuumfordampning, men med færre begrænsninger til placeringen af metalkilden, fordi der ikke er noget smeltet metal, da energien i gnisterne er så stor, at materialet fordamper med det samme. Der er stadig tale om sigtelinieprocesser, men det er meget lettere at få ensartede belægninger på komplicerede geometrier, når man kan placere fordampningskilderne på kammervæggene eller i loftet.

## VÆRD AT VIDE OM...

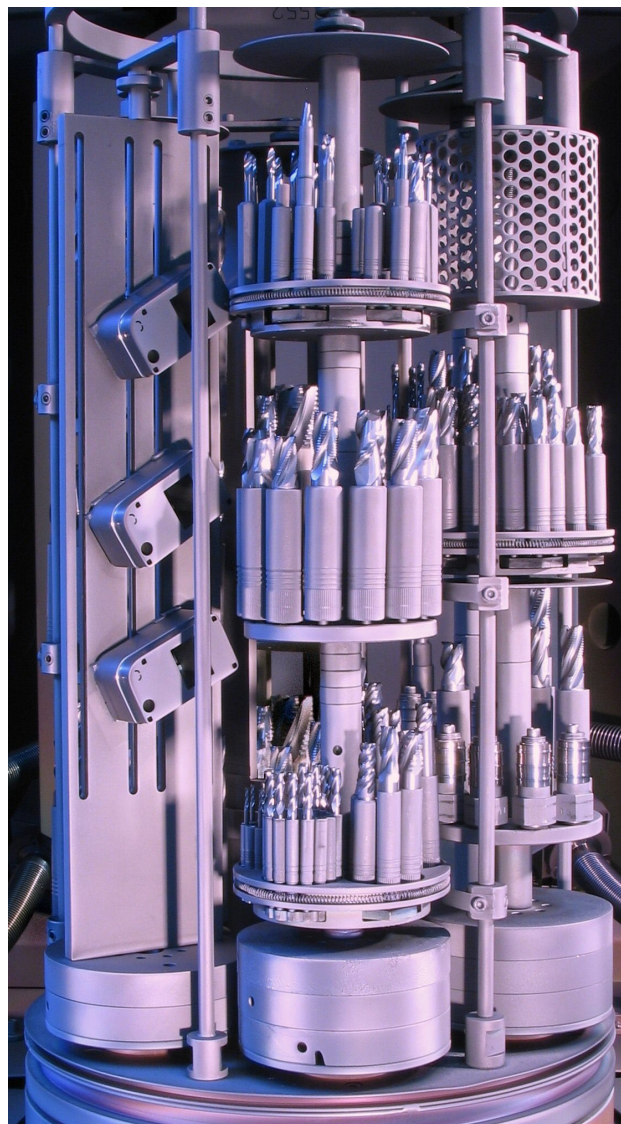
## 03 PVD-PROCESSER

På minussiden skal det bemærkes, at der under arc fordampning kan opstå sprøjt med små dråber af smeltet metal. Disse vil danne såkaldte droplets på de emner, der belægges. Ruheden af den færdige belægning vil derfor oftest være følbart højere end ved de øvrige processer, og processen kan af denne grund være uegnet i forhold til visse typer anvendelse.

**Sputtering**

Denne metode adskiller sig fra de to øvrige PVD-metoder ved ikke direkte at være en fordampningsproces, men rettere en forstøvningsproces. Ved sputtering udnyttes det, at atomer med høj energi ved kollision med en fast overflade vil løsrive atomer eller molekyler fra overfladen som resultat af impulsoverførsel. På denne måde dannes atomer eller molekyler ”støv” af det faste stof, som skal bruges til belægning.

Til beskyddning af overfladen anvendes ioner af ædelgasser, primært argon og krypton, da de ikke reagerer med den beskyttede overflade eller de løselvne partikler. Ædelgassen benævnes også arbejdsgassen, da den ikke direkte deltager i kemiske reaktioner i processen. Ionbombardementet udføres i et plasma ved højt vakuum. I plasmaet er etableret et elektrisk felt med en spændingsforskel, hvilket betyder, at frie elektroner i plasmaet accelereres. Ved accelerationen kolliderer de frie elektroner med atomer af ædelgassen, hvorved der fjernes en elektron fra det neutrale atom. Dette medfører en ionisering af ædelgassen til f.eks.  $Ar^+$ -ioner, der accelereres mod den negativt ladede katode, som udgøres af targetmaterialet. Argonionerne har en så høj kinetisk energi, at partikler af targetmaterialet forstøves ved kollisionen. Partiklerne kan derefter kondensere på emneoverfladen, med en belægning som resultat.

**Magnetron sputtering**

Der findes en forbedret variant af sputtering-teknikken, hvor det elektriske felt er suppleret med et magnetfelt. Magnetfeltet forøger elektronernes frie middelvej, fordi de kommer til at bevæge sig i

## VÆRD AT VIDE OM...

## 03 PVD-PROCESSER

spiralbaner. Den længere vej gennem plasmaet øger sandsynligheden for at elektronen støder ind i et ædelgas-atom og øger på den måde ioniseringen og dermed fordampningshastigheden. Denne teknik benævnes magnetron sputtering og det er den metode, som anvendes i Tribologicerets PVD-anlæg.

Tribologicerets PVD-overfladebelægninger giver derfor den højeste sikkerhed for glatte overflader uden droplets og samtidig god vedhæftning til overfladen.

Generelt for alle Tribologicerets PVD-teknikker gælder det, at det er lavtemperaturprocesser som kan køres ved temperaturer mellem 150 - 480 °C.

Princippet for DC-magnetron sputtering er vist på nedenstående skitse. PVD-processen foregår i et vakuumkammer med roterende substratbord i centrum og flere targets (metalkilder) placeret langs

kammerets vægge. Substratbordet er roterende emneholdere, opbygget efter et planetgearsystem, som sikrer at emnerne opnår en homogen lagtykkelse. Dynamiske emneholdere er en vigtig del af sigtelinieprocesser med henblik på at opnå homogene lagtykkelser.

Der kan tilføres reaktiv gas som supplement til arbejdsgassen, hvilket i de fleste tilfælde gøres i form af kvælstof, eller kulstofholdige gasser. Dette kaldes reaktiv sputtering og giver mulighed for deponering af keramiske belægninger med meget stor hårdhed. Metalkilden, som også benævnes target, kan være titan, krom, bor eller aluminium, som kombineret med de reaktive gasser giver en bred vifte af slidstærke nitrider, karbonitrider eller borider ( $\text{TiN}$ ,  $\text{TiCN}$ ,  $\text{CrN}$ ,  $\text{TiAlN}$ ,  $\text{TiB}_2$ ). Som en specialitet kan man fordampe rent kulstof og få det deponeret som det der hedder "diamantlignende kulstof" (f.eks. DLC-TR).

