



UV-Excimerlaser zur gepulsten Laserabscheidung von Hartschichten

Dr. Ralph Delmdahl¹, Michael Pfeifer², Prof. Dr. Steffen Weißmantel²

¹Coherent, ²Hochschule Mittweida

Beschichtungen aus diamantartigem Kohlenstoff (DLC) sind von hohem Wert für Anwendungen, in denen es auf Reibungsreduzierung, Abriebfestigkeit und Nutzungsdauer stark beanspruchter Produkte, wie Kraftfahrzeugmotoren oder Werkzeug-Maschinen, ankommt. Konventionelle Beschichtungstechnologien lassen sich nur in begrenztem Umfang für sehr dünne DLC-Schichtdicken anwenden. DLC-Filme werden deshalb bisher lediglich als optische Designelemente eingesetzt. Die gepulste Laserabscheidung (Pulsed Laser Deposition, PLD) mit dem Excimerlaser erzeugt dagegen haltbare DLC-Schichten für industrielle Anwendungen.

Industrielle DLC-Beschichtungen

Kohlenstoffschichten existieren in unterschiedlicher Form. Der superharte amorphe Kohlenstoff (taC), besteht zu einem großen Anteil aus sp³-gebundenen und zu einem kleineren Teil aus sp²-gebundenen Kohlenstoffatomen. Je höher der sp³-Bindungsanteil desto größer die Schichthärte und desto kleiner der Reibungskoeffizient der Schicht.

Als superharte Schichten gelten Schichten mit einer Härte ab 50 GPa. Die Obergrenze bildet Diamant mit einer Härte von 100 GPa. Ab einer Schichthärte von 50 GPa, entsprechend einem sp³-Bindungsanteil von über 50% werden DLC-Schichten zur Reibungs- und Verschleißverminderung in industriellen Anwendungen interessant.

Im Gegensatz zu den nur 0,1 µm dünnen Designschichten erfordern DLC-Verschleißschichten eine Schichtdicke im Bereich von ein bis zwei Mikrometern. Um einen hohen sp³-Bindungsanteil zu erhalten, muss die Schichtabscheidung unter hohem Energie- und Impulseintrag

erfolgen, was z.B. beim Ionenstrahl-Sputtern ab einer Schichtdicke von etwa 0,2 µm zu signifikanter Druckeigenspannung in der DLC-Schicht und damit zur leichten Filmablösung vom Bauteil führt.

Abscheidung spannungsfreier Kohlenstoffschichten

In einem an der Hochschule Mittweida entwickelten alternierenden PLD-Annealing-Ansatz zur Abscheidung spannungsfreier DLC-Verschleißschichten werden hohe Temperaturen im Beschichtungsprozess vermieden.

In einer Vakuumkammer erfolgt die gepulste Laserabscheidung (PLD) einer ca. 0,1 µm taC-Schicht auf dem Substrat durch die Ablation eines Graphittargets bei einer Laserwellenlänge von 248 nm. Die dabei induzierte Druckspannung wird in einem Zwischenschritt durch Laser-Annealing bei kleiner Fluenz 0,15 mJ/cm² in Zyklen von jeweils 50 nm Schichtdicke bei geringem Wärmeinput und gleichbleibendem sp³-Anteil abgebaut.

Mit Hilfe dieses alternierenden Laser-Beschichtungsverfahrens lassen sich gut haftende superharte DLC-Filme mit über zwei Mikrometer Schichtdicke erzeugen.

Die erforderlichen Laserfluenzen im UV-Bereich für die Ablation des Graphit-Targets und für das Laser-Annealing liefert der Excimerlaser aufgrund seiner hohen Pulsenergie von 1.000 mJ. Die auf das Substrat zufliegenden Teilchen in der PLD-Plasmafackel können durch hohe Laserfluenz von etwa 12 J/cm² auf mittlere kinetische Energien von über 30 eV gebracht werden. Diese hohen kinetischen Energien lassen sich nicht mit anderen Beschichtungsmethoden wie dem Thermischen Verdampfen oder der Ionenstrahlzerstäubung erreichen.

Sie sind jedoch entscheidend für die Bildung eines hohen sp³-Anteils in der aufwachsenden DLC-Schicht. Der maximale sp³-Bindungsanteil von 85% wird bei Laserfluenzen im Bereich von über 10 J/cm² erhalten (Abbildung 1)

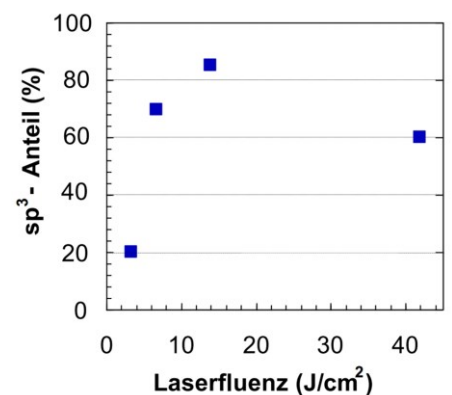


Abb.1: Spektroskopisch bestimmter sp³-Anteil des DLC-Films als Funktion der Laserfluenz.



Abb. 2: Seitenansicht des Excimerlasers im Betrieb einer PLD-Beschichtungsanlage.

Excimerlaser LEAP mit hoher UV-Pulsenergie

Der Hochleistungs-Excimerlaser LEAP von Coherent findet zunehmend Einsatz in PLD-Beschichtungsanlagen (Abbildung 2).

Die LEAP-Serie ist für einen großen UV-Leistungsbereich bei den UV-Wellenlängen 248 nm und 308 nm ausgelegt. Das LEAP-Laserdesign ermöglicht einen stabilen Dreischichtbetrieb bei hoher Betriebsintensität mit hohen Laserfluenzen und Pulsraten bis 300 Hz für die industrielle PLD-Produktion.

Der an der Hochschule Mittweida entwickelte PLD-Laser-Annealing-Ansatz zur Erzeugung spannungsfreier, mikrometerdicker DLC-Schichten, liefert alle von der Werkzeugindustrie geforderten, physikalischen Eigenschaften bis zu einer Schichtdicke von 5 μm und mit Oberflächenrauigkeiten von unter 30 nm. Die Betriebsdauer von Werkzeugen mit solchermaßen erzeugten Beschichtungen einer Schichthärte von über 60 GPa und mit einem Reibungskoeffizienten von unter 0,2 lassen sich um ein Vielfaches verlängern.

Abbildung 3 zeigt anhand von Mikroskopaufnahmen die signifikante Verschleißreduzierung eines von einer 2 μm dicken DLC-Schicht geschützten Wolframcarbid-Hartmetallbohrers nach 200 Bohrzyklen im Vergleich zu einem unbeschichteten Werkzeug.

Anlagenkonzept für die Schicht-erzeugung im Industriemaßstab

Das Anlagenkonzept zur industriellen DLC-Beschichtung beruht auf je zwei Hochleistungs-Excimerlasern. Es werden zwei LEAP-Laser für den Materialabtrag und zwei LEAP-Laser für die Schichtentspannung in Verbindung mit einem In-Line-Design für eine dreiteilige Beschichtungskammer verwendet. Die Durchsatzskalierung geschieht, bei gegebenem Kammerkonzept, im Wesentlichen über die Anzahl und die Ausgangsleistung der eingesetzten Excimerlaser, welche im Bereich von 80 W bis zu 300 W kommerziell verfügbar sind.

Nach der DLC-Beschichtung werden die Bauteile zur Entladekammer transportiert, in der nach Bedarf eine weitere Nachbearbeitung in Form von Laser-Mikrostrukturierung oder Lasermarkierung vorgenommen werden kann. Basierend auf den Labordaten, lässt sich für eine solche Hochraten-Beschichtungsanlage ein Flächendurchsatz von etwa 0,5 m^2 pro Stunde und Mikrometer Schichtdicke errechnen.

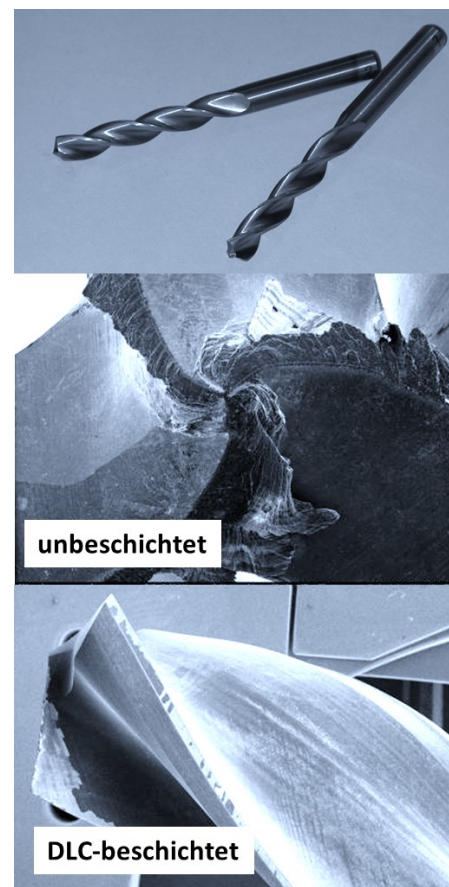


Abb. 3: Hartmetallbohrer nach 200 Bohrzyklen ohne und mit DLC-Schicht.