

KONSTRUKTION

Werkstofftechnik



Stunden statt Minuten halten diamantbeschichtete Gleitringe von Burgmann Industries im Trockenlauf durch (Bilder: Autor)

Bauteile aus kristallinem Diamant zeigen null Verschleiß

Überzüge aus Diamant – härter geht's nicht

Jetzt ist es möglich, kristallinen Diamant künstlich herzustellen. Wo immer solche Beschichtungen eingesetzt werden, gehören Verschleißprobleme der Vergangenheit an, etwa bei trockenlaufenden Pumpen oder abrasiv belasteten Düsen. Doch auch die Chemie profitiert.

Die meisten Menschen kennen Diamant als Edelstein. Vielen ist vielleicht noch seine extrem hohe Härte bekannt, weswegen er zum Schneiden von Glas verwendet wird. Diamant kann aber noch weit mehr, wenn ihn die Diacon GmbH in Erlangen als dünne CVD-Schicht abscheidet (CVD = Chemical Vapour Deposition). Rein materialwissenschaftlich betrachtet besticht kristalliner Diamant durch außergewöhnliche physikalische Eigenschaften: Mit 10 000 HV bietet er die höchste Härte aller bekannten Materialien und damit eine sehr hohe Verschleißbeständigkeit. Zugleich besitzt er die höchste Wärmeleit-

fähigkeit mit 2000 W/Km (bei Raumtemperatur). Bisher ließen sich diese Eigenschaften jedoch nur mit natürlichen Diamanten nutzen. Seit einigen Jahren erzeugt Diacon jedoch künstlich dünne Schichten auf verschiedensten Bauteilen und macht damit das volle Potenzial des Materials zugänglich.

Leider wird kristalliner Diamant häufig mit Diamond Like Carbon (DLC) verwechselt, einer amorphen Kohlenstoffschicht. Obwohl beide Schichten aus Kohlenstoff bestehen, sind ihre Eigenschaften sehr unterschiedlich: DLC erreicht bei weitem nicht die Härte von echtem Diamant und kann aufgrund seiner niedrigen Abscheidetemperatur von 250 °C keine sehr haft-

festen Bindungen zum Substrat aufbauen. Demgegenüber schränkt die relativ hohe Beschichtungstemperatur von kristallinem Diamant (etwa 800 °C) das Spektrum der beschichtbaren Materialien ein. So lassen sich Aluminium und Stahl nicht beschichten, dafür jedoch alle Elemente, die eine deutlich höheren Schmelzpunkt als 600 °C besitzen und bei Beschichtungstemperatur stabile Carbide ausbilden. Zu den Materialien, die sich mit Diamant beschichten lassen, gehören zum Beispiel Silicium, Wolfram, Titan und ihre Carbide.

Das Grundprinzip für das Beschichten eines Bauteiles ist relativ einfach. Wasserstoff und Methan werden in einer Vakuumkammer bei etwa 10 mbar Unterdruck vermischt und durch eine Energiequelle angeregt. Dies funktioniert am besten mit 2000 °C heißen Wolframdrähten, mit denen sich auch komplex geformte Bauteile homogen beschichten lassen. Durch die Spaltung von Wasserstoff und die damit einhergehende Anregung des Methans bilden sich kleine Diamantkristalle auf der etwa 800 °C heißen Bauteiloberfläche. Nach einiger Zeit besteht die Oberfläche aus unzähligen solcher Kristalle, von denen jeder einzelne die gleichen herausragenden Eigenschaften wie Naturdiamant hat. Die Form der Diamantkristalle und die Oberflächenrauheit lassen sich dabei in weiten Grenzen einstellen.

Ein großes Anwendungsfeld für kristalline Diamantschichten sind alle Bauteile, die mechanischem Verschleiß unterworfen sind. Exemplarisch seien hier drei genannt, die Diacon beschichtet hat und die sich bereits im Einsatz befinden: Extreme Verbesserungen erreichen Diamantbeschichtungen zum Beispiel bei Gleitringdichtungen oder -lagern aus Siliziumkarbid. Solche Bauteile finden sich in beinahe jeder

	Diamant	DLC
Härte [HV]	10 000	2000 – 4000
E-Modul [GPa]	1140	220
Thermische Leitfähigkeit [W/Km]	2000	100

Im Vergleich zu „diamantähnlichen“ Schichten DLC bietet kristalliner Diamant eine vielfach höhere Härte – und damit höhere Verschleißbeständigkeit (Quelle: Diacon)

KONSTRUKTION

Werkstofftechnik

Pumpe oder jedem Rührwerk der chemischen Industrie wieder und werden meist durch das geförderte Medium geschmiert. Fällt die Schmierung aus, kommt es zu Trockenlauf zwischen den Gleitringen, und schnell stellen sich hohe Reibwerte (0,7 – 0,9) bei sehr großem Verschleiß ein. Der Gleitring läuft heiß und kann zerbrechen, was den Totalausfall der Pumpe mit Folgekosten nach sich zieht. Anders sieht es aus, wenn der Gleitring mit kristallinem Diamant beschichtet ist: Die Reibwerte bleiben trotz Trockenlauf auf sehr niedrigem Niveau (zwischen 0,1 und 0,3), der Verschleiß geht gegen Null und der Gleitring lässt sich auch nach einer solch hohen Belastung weiter verwenden.

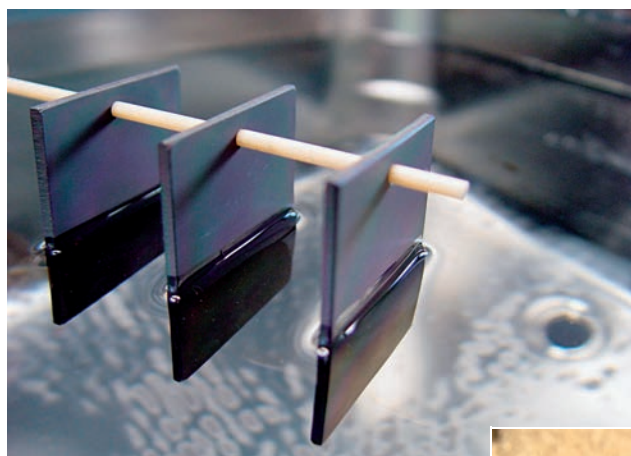
Im reinen Trockenlauf hält eine Beschichtung aus kristallinem Diamant mehrere Stunden durch. Im Vergleich dazu schafft ein unbeschichteter Gleitring maximal einige Minuten. Insbesondere die Oberfläche von Gleitringdichtungen ist nach dieser kurzen Zeit bereits derart zerstört, dass sie ihre Dichtfunktion nicht mehr erfüllen können und Leckage auftritt. Dieses Risiko ist immer gegeben: Oft führen banale Umstände zum Trockenlauf der Pumpe, zum Beispiel wenn der Elektriker beim

Diamant verdoppelt Effizienz von Elektroden in der Elektrochemie

Installieren kurz die Drehrichtung prüft. Tut er dies, solange die neue Pumpe noch nicht geflutet ist, kann er sie gleich wieder in Reparatur geben. Häufig werden auch mit harten Feststoffen belastete Flüssigkeiten gepumpt oder gerührt. Gelangen die Partikel zwischen unbeschichtete Gleitflächen, so zerstören sie die Oberfläche und führen zu Leckagen oder Laufschwierigkeiten. Sind die Gleitflächen hingegen mit kristallinem Diamant beschichtet, werden diese Partikel regelrecht zerrieben. Die Gleitflächen bleiben unbeschädigt, und die Wartungsintervalle können verlängert werden. In der chemischen Industrie kommen kristallinen Diamantschichten zusätzlich ihre hohe Beständigkeit zugute. Sie lassen sich durch beinahe nichts angreifen. In Luft sind Diamantschichten bis zu 600 °C und unter Schutzgas bis zu 1200 °C beständig.

Ein weiteres Anwendungsgebiet sind alle Arten von Düsen, die durch strömende Medien und Partikel großem Verschleiß

ausgesetzt sind, beispielsweise Anschnitteinsätze aus der Kunststoff verarbeitenden Industrie. Während des Fertigungsprozesses schießt Kunststoff durch diese Bauteile in die Form. Sind stark abrasive Füllstoffe beigemischt, verschleifen die Anschnitteinsätze relativ schnell. Werden sie allerdings mit einer kristallinen Diamantschicht versehen, so lässt sich die Standzeit vervielfachen. Dieses Beispiel zeigt sehr schön, dass Teile mit sehr komplexen Geometrien zuverlässig mit einer kristallinen Diamantschicht überzogen werden können.



Elektrolyse: Elektroden mit dünner Diamantschicht von Diacon sind mehr als doppelt so effizient wie teure Platin-Elektroden

Hochinteressant sind kristalline Diamantschichten in der Elektrolyse in einer galvanischen Zelle. Hier werden Elektroden für die Synthese oder Zersetzung verschiedenster Substanzen verwendet. Die Effizienz des Elektrodenmaterials hängt vom elektrochemisch nutzbaren Fenster ab: Darunter ist der Spannungsbereich zu verstehen, innerhalb dessen sich Wasser bei der Elektrolyse nicht zersetzt. Beim Überschreiten dieses Spannungsbereichs wird die Elektrode ineffizient, da ein großer Teil der elektrischen Energie durch die Wasserzersetzung verloren geht und dem Prozess nicht zugute kommt. Ein sehr großes elektrochemisches Fenster besitzt Platin, ist aber exorbitant teuer. Im Vergleich dazu besitzen Elektroden mit einer kristallinen Diamantschicht ein wesentlich größeres elektrochemisches Fenster (3,5 V statt 1,5 V). Beispielsweise Elektroden aus Titan oder Niob mit Diamantbeschichtung. Sie steigern die Produktausbeute enorm. Kristalline Diamantelektroden machen manche elektrochemische Anwendung überhaupt erst möglich. Diamant ist allerdings ein Nichtleiter. Für die Anwendung als Elektrodenmaterial muss er aber den elektrischen Strom transportieren können. Dies lässt sich durch gezielten Einbau

von Bor in das Diamantkristallgitter erreichen, indem es im Beschichtungsprozess der Gasphase aus Methan und Wasserstoff zugegeben wird. Durch Variieren des Borgehaltes lassen sich sogar der elektrische Widerstand und damit die elektrochemischen Eigenschaften einstellen.

Kristalliner Diamant als dünne Schicht steht sicher am Anfang einer Erfolgsstory. Die Potenziale zur Verschleißminimierung und die Anwendungsmöglichkeiten in der chemischen Industrie schieben viele Einsatzgrenzen weit hinaus. Neuartige



Diamantschichten vervielfachen die Standzeit von Anschnittdüsen von FT-Fertigungstechnik fürs Spritzgießen

Produkte werden möglich, vor allem im Blick auf elektrisch leitfähige Diamanten. Diacon informiert über die vielfältigen Möglichkeiten auf der Achema im Mai. Das Unternehmen ist ein Spin-Off der Diamantgruppe der Uni Erlangen-Nürnberg, die sich schon seit elf Jahren mit dem Beschichten von Bauteilen mit kristallinem Diamant beschäftigt. Diese Zusammenarbeit mit der Uni ermöglicht es, sich intensiv mit der Entwicklung neuer, mit kristallinem Diamant beschichteter Produkte zu befassen. So ist es ein Ziel, endlich auch den Massenwerkstoff Stahl mit Diamant beschichten zu können.

Martin Ruffer ist Geschäftsführer der Diacon GmbH in Erlangen