



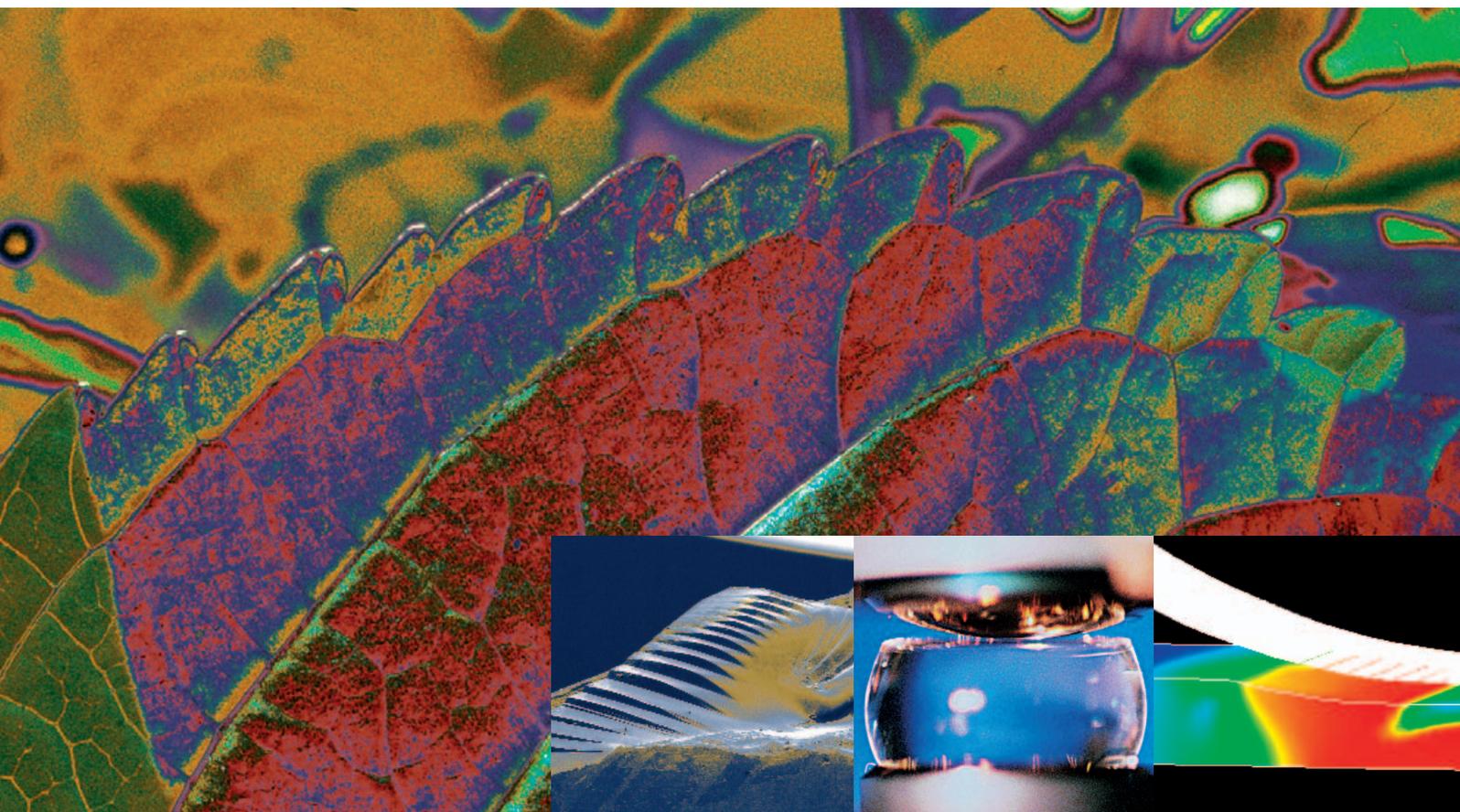
**Fraunhofer** Institut  
Werkstoffmechanik

# Jahresbericht 2004

Direkt-strukturierte DLC-Schichten für den  
schmiermittelarmen oder trockenen Einsatz

Leistungsbereich  
Randschichttechnologien

Dr. Sven Meier  
Wöhlerstraße 11  
79108 Freiburg  
Telefon +49(0)761/5142-233  
sven.meier@iw.fraunhofer.de



## Direkt-strukturierte DLC-Schichten für den schmiermittelarmen oder trockenen Einsatz

### Aufgabenstellung

Gegeneinander gleitende und abwälzende Bauteile und Werkzeuge (z.B. Dichtungen, Führungen, Wälz- und Gleitlager, Umform- und Schneidwerkzeuge) sind Schlüsselkomponenten von Maschinen und Produktionsanlagen. Von der Leistungsfähigkeit dieser Maschinenelemente sind unmittelbar die Funktionalität, die Präzision, die Wirtschaftlichkeit und die Umweltverträglichkeit des Systems abhängig. Innovative Produkte und Prozesstechnologien in diesen Bereichen verlangen nach zunehmend höherer Leistungsdichte (kompakte Bauweise), Erhöhung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit (Ausschluss »Fressen«, minimierter Verschleiß) aber auch nach einer Verminderung des Energieverbrauchs durch Reduktion der Reibungsverluste und der Reduktion von Fertigungsschritten (z.B. Wegfall des Härtens vor dem Beschichten). Als Schlüssel zur Lösung solcher Probleme wurde in der Vergangenheit vielfach die Dünnschichttechnologie angesehen. Insbesondere die Beschichtung von Bauteilen mit diamantähnlichen Schichten (DLC: Diamond Like Carbon) erschien aussichtsreich, da diese Schichten auf Grund ihres geringen Reibwertes und des hohen Verschleißwiderstandes prinzipiell einen Schmierfilm ersetzen können. Die Benetzbarkeit durch Schmiermittel bzw. die Vermeidung unerwünschter Anhaftungen kann in

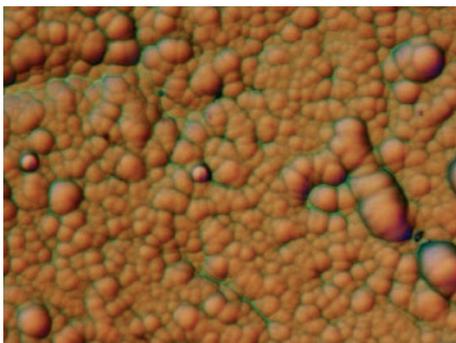
weitem Maß durch den Einbau netzwerkmodifizierender Elemente verändert werden. Dadurch werden aber auch andere wichtige Eigenschaften der DLC-Schichten wie Härte, E-Modul, Zugfestigkeit und Reibwert beeinflusst.

Versuche, das Benetzungsverhalten und die Stabilität des Schmierfilms durch eine Vorstrukturierung des Substrats bzw. eine nachträgliche Strukturierung der Schicht mittels materialabtragender Verfahren zu verbessern und dadurch den Einsatz von Schmiermitteln drastisch zu reduzieren (Mindermengenschmierung) haben sich meist nicht bewährt. Diese Techniken sind kaum in der Lage, Strukturen im erforderlichen mikro- und nanoskopischen Bereich zu erzeugen, oder sie schädigen die Schicht oder das Substrat. Verfahren zur gezielten in situ Strukturierung von DLC-Schichten während der Schichtabscheidung fehlten bislang.

Weitere wesentliche Gründe für den nicht erreichten Durchbruch resultieren aber auch aus Einschränkungen der bislang verfügbaren Prozesstechnologie. Hochbelastbare Schichten verlangen nach einem aufwändigen und unflexiblen PVD-PECVD Hybridbeschichtungsprozess. Die nur wenige µm dicken haftfest abscheidbaren Schichten haben geringe Verschleißreserven.

### Vorgehensweise

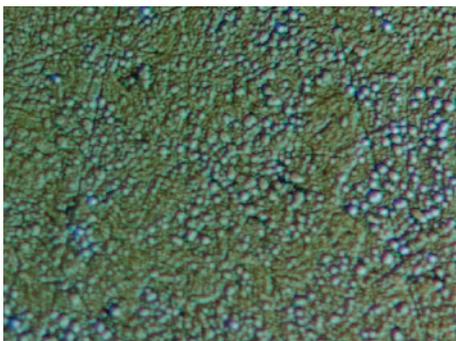
Erreicht wird das Ziel einer in situ Strukturierung relativ dicker DLC-Schichten durch eine neuartige PECVD-Beschichtungstechnologie.



10 µm



10 µm



10 µm

Abb. 1  
Direkt strukturierte DLC-Schichten mit unterschiedlichen Topographien.

Diese Technologie erlaubt eine konsequent getrennte Steuerung von inhärenten und topographischen Eigenschaften von Schichten aus der Familie der amorphen Kohlenwasserstoffe. Sie wird durch ein kontrolliertes Wachstum in situ strukturierter DLC-Schichten (Abb. 1), durch eine drastische Steigerung der Dicke haftfest abgeschiedener Schichten (bis ca. 30 µm) und durch einen Verzicht auf komplexe Hybridbeschichtungsprozesse zu Gunsten eines einfachen Mono-PECVD-Prozesses erreicht. Die Zielgrößen für die zu realisierenden inhärenten und topographischen Schichteigenschaften können durch physikalische und kontaktmechanische Modellierungen (Abb. 2) abgeleitet und eingegrenzt werden.

### Ergebnisse

Mit begleitender numerischer Simulation zur Optimierung der Beschichtungsparameter ist im Labormaßstab bereits die Herstellung von eigenspannungsoptimierten DLC-Schichten mit Dicken von 30 µm gelungen, die in Bezug auf ihre Haftfestigkeit und ihren Verschleißwiderstand den konventionellen dünnen Schichten ebenbürtig sind. Solche Schichtdicken bieten bereits einen genügend großen Spielraum für eine topographische Strukturierung. Weiterhin wurde demonstriert, dass haftfeste Schichten in einem Mono-PECVD-Prozess ohne Zuhilfenahme von in einem zusätzlichen PVD-Prozess abgeschiedenen metallischen Zwischenschichten erreicht werden können.

Die wichtigste Voraussetzung zur erfolgreichen Umsetzung des kontrollierten Abscheidens von verschleißfesten DLC-Schichten mit strukturierten Topographien direkt aus dem Prozess heraus ist im Labormaßstab gelungen. Die Versuche zeigen, dass das Spektrum der herstellbaren Topographien (Abb. 1) ausreichen sollte, um ein breites Spektrums unterschiedlicher tribologischer Belastungen ertragen zu können und die Vorgaben aus der Simulation hinsichtlich theoretisch optimaler Topographien realisieren zu können. Die Abbildungen 1 und 3 zeigen solche direkt strukturierte DLC-Schichten. Durch Wahl der Abscheidungsbedingungen können die Breiten- und die Tiefenausdehnungen über weite Bereiche von einigen Nanometern bis hin zu Mikrometern eingestellt werden.

Jüngste Arbeiten beschäftigen sich mit medienabweisenden Oberflächen, die der Lotus-Blüte nachempfunden werden. Für die Erzeugung des Lotusblüten-Effekts (Superhydrophobie mit Randwinkeln > 170°) optimal ist eine Doppelstruktur mit einer groben Struktur zwischen 10 und 50 µm und einer darüber liegenden Feinstruktur im Nanometerbereich (Abb.3).

### Kontakt

Dr. Sven Meier  
sven.meier@iwm.fraunhofer.de

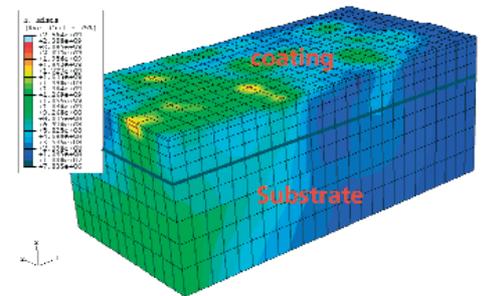


Abb. 2  
Resultierende von Mises Spannungen beim Überrollen einer rauen DLC beschichteten Stahlprobe (blau: 10-500 MPa, grün: 0,5-1,5 GPa, gelb: 1,5-2 GPa, rot: >2 GPa).

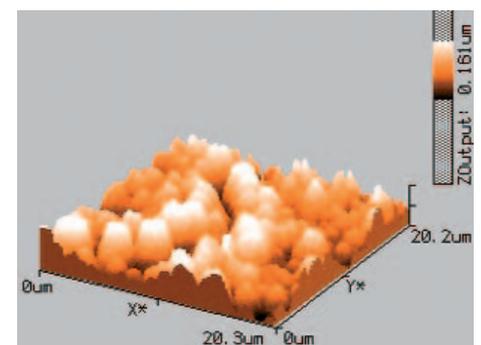
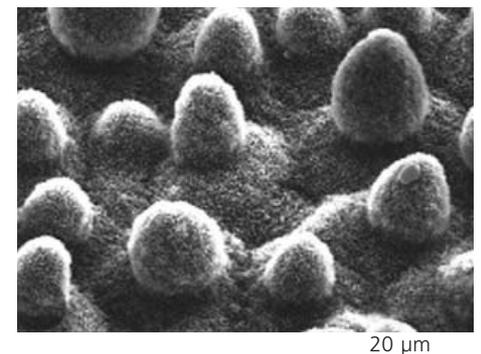


Abb. 3  
Oben: Lotusblüte (Quelle: Uni Bonn)  
Unten: DLC-Schicht mit lotusblütenähnlicher Struktur.