



Fraunhofer Institut
Werkstoffmechanik

Jahresbericht 2003

Diamantähnliche »Dicke« Dünnschichten
für extreme Belastungen

Leistungsbereich
Randschichttechnologien

Dr. Wulf Pfeiffer
Wöhlerstraße 11
79108 Freiburg
Telefon +49 (0) 761/51 42-166
pfeiffer@iwm.fraunhofer.de



Diamantähnliche »Dicke« Dünnschichten für extreme Belastungen

Diamantähnliche Schichten (DLC) werden bereits in vielen Bereichen des Maschinenbaus eingesetzt, wenn Verschleißschutz oder geringe Reibwerte gefordert, Schmierstoffe reduziert oder Kaltaufschweißungen vermieden werden sollen. Bei höheren Beanspruchungen kann jedoch Verschleiß nicht vollständig ausgeschlossen werden. Dann ist die Lebensdauer dieser Dünnschichten schnell erschöpft. In jüngster Zeit ist es dem Fraunhofer IWM gelungen, einen Lösungsweg für solche Anwendungen aufzuzeigen: die Herstellung dicker ($>20\text{ }\mu\text{m}$) DLC-Schichten.

Diamond-like »thick« thin coatings for extreme applications

The unique combination of low friction, hardness, and chemical inertness makes diamond-like carbon films ideal for application in moving components such as sliding seals, bearings or cutting tools. The residual stresses of the coatings, however, limit the thickness of the layers, reducing lifetimes in abrasive applications. Fraunhofer IWM has recently developed a plasma-enhanced CVD process which allows rapid deposition of »thick« thin coatings with a thickness of more than $20\text{ }\mu\text{m}$.

Leistungsbereich
Randschichttechnologien
Department Surface Engineering

Dr. Sven Meier
Telefon +49 (0) 7 61/51 42-2 33
smei@iw.fraunhofer.de

Aufgabenstellung

Aufeinander gleitende und abwälzende Bauteile (z.B. Dichtungen, Führungen, Wälzlager) sind Schlüsselkomponenten von Maschinen und Anlagen jeder Art. Von der Leistungsfähigkeit dieser Maschinenelemente sind unmittelbar die Funktionalität, die Präzision, die Wirtschaftlichkeit und die Umweltverträglichkeit des Systems abhängig. Gleit- und Wälzlagerungen müssen in der Regel den Großteil der statischen und dynamischen Betriebsbelastungen aufnehmen. Beim Windenstart eines Segelflugs (Abb. 1) beispielsweise wird ein Kunststoffseil in kürzester Zeit auf über 100 km/h beschleunigt. DLC-Schichten können hier effektiv die Korrosion und das Einlaufen der tragenden Führungsrollen (Abb. 2) trotz der abdriftbedingten hohen Flächenpressungen verhindern.

Generell können hohe Belastungen vieler Lagerungen und Führungen nur ertragen werden, wenn eine vollständige Trennung der Wälz- bzw. Gleitpartner vorliegt, was in der Regel durch Schmierstoffe erreicht wird. Diese Randbedingungen stehen oft innovativen Entwicklungen im Weg: Zum Beispiel der »grünen Maschine«, die im Idealfall ohne den Einsatz von Schmiermitteln auskommt. Trotz des theoretischen und in zahlreichen Anwendungen nachgewiesenen außerordentlichen Leistungsprofils von DLC-Schichten werden diese Systeme bislang aber nur in wenigen und in erster Linie bevorzugt hochpreisigen Produkten gefunden. Die wesentlichen Gründe hierfür liegen in Einschränkungen bzgl. der beschichtbaren Bauteilgeometrien und den erreichbaren Schichtdicken.

So gilt die Beschichtung von Innengeometrien (z.B. Außenringe von Wälzlagern) und geometrisch extremen



Abb. 1
Windenstart eines Segelflugs



Abb. 2
DLC-beschichtete
Azimutalrolle einer
Segelflugwinde

Formen (Nadeln) mittels plasmaunterstützter Verfahren (PECVD), wie sie für die Herstellung von DLC benötigt wird, als ungelöst. Weiterhin verlangt die Abscheidung hafter DLC-Schichten Hybridbeschichtungsprozesse, da die mittels PECVD hergestellten DLC-Schichten zur Haftvermittlung metallische PVD-Zwischenschichten benötigen. Dieser Hybridprozess ist langsam, teuer und unflexibel und somit unattraktiv. Außerdem weisen solche haftersten DLC-Schichten Schichtdicken auf, die in derselben Größenordnung wie die Rauheit technischer Oberflächen liegen. Eine Glättung der Oberfläche wird nicht erreicht. Bei Reib- und Wälzbeanspruchung werden die Spitzen des Rauheitsprofils schnell verschlissen. Diese Fehlstellen sind dann Ausgangspunkt für großflächiges Schichtversagen.

Vorgehensweise

Abweichend von der verfügbaren Beschichtungstechnologie wurde im IWM ein Beschichtungskonzept entwickelt, das eine Anpassung des Reaktors an die Geometrie des zu beschichtenden Bauteils verlangt. Dadurch werden Beschichtungsstrategien möglich, die in üblichen »Universalreaktoren« nicht umgesetzt werden können. Eine flexible Reaktorbauweise mit leicht erweiterbarem Nutzvolumen garantiert hierbei die Upscale-Fähigkeit der Prozesse, bei Erhalt der optimalen Abscheidungsparameter. Die Auswahl der Beschichtungsparameter und Zielgrößen für die Schichteigenschaften orientiert sich an dem zu erwartenden Beanspruchungsprofil. Mit Hilfe klassischer und neu entwickelter anwendungsnaher Prüfmethoden werden die Gebrauchseigenschaften der Schicht-Substrat-Verbunde charakterisiert. Mit Hilfe der

numerischen Analyse der Kontakt- und Belastungssituation können daraus quantitativ verwertbare elementare Festigkeitskenngrößen extrahiert werden. Hierzu zählen z.B. die Zugfestigkeit, die Schichthaftung und die Verteilung der Eigenspannungen. Dadurch wird quasi ein Design des Verbundes ermöglicht mit.

Ergebnisse

Durch die Anwendung der am IWM entwickelten optimierten DLC-Beschichtungsmethode kann das theoretisch vorhandene maximale Leistungsvermögen der DLC-Schichten auch auf extremen Substratgeometrien (Innenbeschichtungen, Nadeln) in die Praxis umgesetzt werden. Trockenlaufende Wälzlager (Abb. 3) und oberflächenoptimierte Industrienädeln (Verschleiß, Antiadhäsion) sind nur zwei Beispiele für die erfolgreiche Anwendung dieser Technologie. Die Prozessparameter sind in weiten Bereichen frei skalierbar, wodurch die auf den Laboranlagen entwickelten und erfolgreich getesteten Schichtsysteme auf die neue kleinserienfähige Produktionsanlage (Abb. 4) des IWM erfolgreich übertragen werden konnten. Als besondere Vorteile der neuen Technologie sind anzuführen, dass hohe Abscheideraten (bis $0,5 \mu\text{m}/\text{min}$) bei sehr guter Haftung realisiert werden können, wodurch großen Schichtdicken ($>20 \mu\text{m}$) innerhalb kurzer Zeit zu erreichen sind. Damit wird es möglich, der aus der Simulation resultierenden Forderungen nachzukommen, Spannungsmaxima in die Schicht zu legen und damit weg vom Interface zum Substrat (Abb. 5).



Abb. 3
DLC-beschichtete Innen- und Außenringe eines trockenlaufenden Hybridwälzlagers

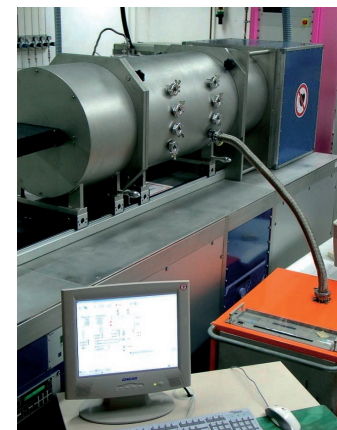


Abb. 4
Kleinserienfähige PECVD-Anlage

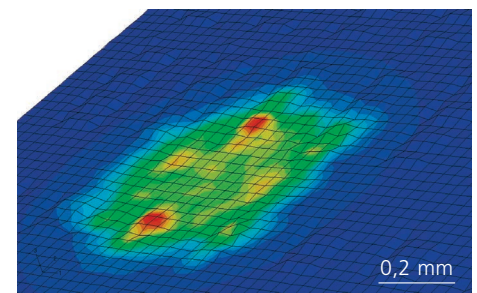


Abb. 5
Numerische Analyse der Lastspannungen in einer DLC-Schicht mit realer Oberflächenrauheit