



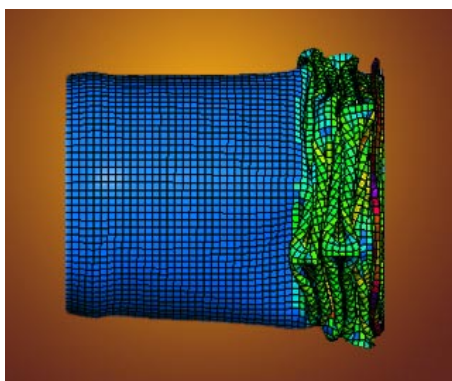
Fraunhofer Institut
Werkstoffmechanik

Jahresbericht 2000

Leistungsfähige diamantähnliche Schichten (DLC)
für die Anwendung im Hybridlager

Leistungsbereich
Randschichttechnologie

Leiter: Dr. Wulf Pfeiffer
Tel. +49 (0) 7 61/51 42-1 66
E-Mail: wulf.pfeiffer@iwf.fhg.de



Randschichttechnologien

Oberflächen und Randschichten sind oft die höchst beanspruchten Bauteilbereiche. Ziel der Arbeiten ist die Charakterisierung und Bewertung von Randschichten und deren Einsatzverhalten sowie die Entwicklung von Verfahren zur Steigerung der Tragfähigkeit und Verbesserung des tribologischen Verhaltens. Aktuelle Anwendungen sind die Bewertung industrieller Fertigungs- und Bearbeitungsverfahren durch röntgenographische Beugungsanalysen, Ermittlung von Eigenspannungen mit Randschichtfestigkeit, die Tragfähigkeitssteigerung von keramischen Bauteilen durch ein patentiertes Kugelstrahlverfahren, sowie die Entwicklung serientauglicher PECVD-Beschichtungsprozesse zur Abscheidung reib- und verschleißmindernder Schichten auf Wälz- und Gleitlagerkomponenten.

Leistungsfähige diamantähnliche Schichten (DLC) für die Anwendung im Hybridlager

Sven Meier

The reduction of friction is one of the keys to a successful application of hybrid or full ceramic roller bearings under dry or nearly dry environmental conditions. In the case of hybrid bearings diamond-like thin film coatings deposited on the raceway seem to be an appropriate method for improvement of the performance.

The optimization of diamond-like coatings (doped a-C:H) deposited by a modern PECVD-process on steel raceway needs three steps: (a) optimization of the coating-substrate interface assisted by numerical simulation, (b) increase of life time, (c) reduction of the friction coefficient.

Eine Anwendung der Schichtentwicklung am Fraunhofer IWM ist das Hybridlager (Abb. 1), welches mangelgeschmiert bzw. schmierstofffrei funktionsfähig werden soll. Gegenwärtig ist die Schmierung von konventionellen Wälzlagern noch unverzichtbar, denn selbst Keramikwälzlager mit hervorragender Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit sind bisher nur ansatzweise trockenlauffähig. Der Ruf nach mediengeschmierten oder trockenlaufenden Wälzlagern wird allerdings immer größer. Wie z. B. in der Lebensmittelindustrie in der der Einsatz von Schmierstoffen unerwünscht ist, oder bei Fanglagern in hochtourigen Turbomolekularpumpen, bei denen die zwangsläufig ungeschmierten Lager hochgradigem Verschleiß unterliegen.

Die am Fraunhofer IWM untersuchten Hybridlager bestehen aus Keramikwälzkörpern (Si_3N_4 , ZrO_2) und Metallringen (100Cr6, AISI440) als Laufbahnen. Bei beiden zur Auswahl stehenden Ringwerkstoffen handelt es sich um wärmebehandelte Stähle, deren Einsatztemperaturen bis maximal 200 °C reichen. Die bei der Beschichtung auftretenden Temperaturen dürfen daher ebenfalls maximal 200 °C betragen, da ansonsten die Anlasstemperaturen überschritten werden.

Um die Beschichtungstemperaturen zu senken, benutzen viele Vakuumbeschichtungsverfahren ein Plasma. Die Unterschiede der Verfahren liegen in der Art der Plasmaerzeugung und seiner Anwendung zur Herstellung der Schichten.

Das Ziel, Gleit- und Wälzlager mangelgeschmiert oder schmierstofffrei zu betreiben, könnte entsprechend des Belastungs- und Anforderungsprofils mit unterschiedlich modifizierten a-C:H-Schichten erreicht werden. Diese amorphen Kohlenwasserstoffschichten, auch bekannt als DLC-Schichten (Diamond Like Carbon), zeichnen sich durch eine Vielzahl hervorragender Eigenschaften aus: hohe Mikrohärtigkeit, geringe Reibung (z.B. gegen Stahl) hohe Wärmeleitfähigkeit, optische Transparenz (vor allem im infraroten Frequenzbereich) sowie eine hohe Beständigkeit gegenüber Säuren, Laugen und Lösungsmitteln. Dass sich dieser Schichttyp trotz seines enormen Potenzials auf dem Markt noch nicht endgültig durchsetzen können, hängt mit seinen abscheidungsspezifischen Problemen zusammen. Hierzu zählen eine oft ungenügende Haftung auf metallischen Substraten und damit auch beschränkte Schichtdicken und aufwendige Chargierprozesse mit

geringen Abscheideraten. Das ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die im Labor entwickelten, leistungsfähigen Prozesse nur in sehr beschränktem Maße in konventionell verfügbare Beschichtungsanlagen übertragbar sind.

Die sehr unterschiedlichen Anlagencharakteristika von Labor- und Großanlagen wie Feld-, Elektrodenflächen-, Volumen-, und Strömungsverhältnisse verhindern die Reproduktion der Schichteigenschaften in der Großserie. Ziel der Entwicklungen am Fraunhofer IWM war daher auch der Aufbau einer PECVD-Anlage, die sich innerhalb eines bestimmten Rahmens an verschiedene Bauteilgeometrien und Auslastungsgrade anpassen lässt.

Durch gleichzeitige Weiterentwicklung des Elektroden- und Absaugsystems ist diese auf kapazitiver Energieeinkopplung basierende PECVD-Anlage nahezu beliebig upscale-fähig und sie weist neben wesentlich höheren Abscheideraten auch ein günstigeres 3D-Beschichtungsverhalten auf. Dadurch wurde es möglich, geometrie- und auslastungsunabhängige Beschichtungsprozesse zu entwickeln und die Abscheideraten um mehr als das zehnfache zu steigern.

In Abhängigkeit vom Anwendungsfall und der Substratgeometrie liegen die Wachstumsraten von verschleißbeständigen DLC-Schichten zwischen 0,2 μm und 1 μm pro Minute. Weiterhin kann auf aufwendige Zwischenschritte im Beschichtungsablauf, wie metallische Interlayer, verzichtet werden, um die notwendige Haftung zu erreichen. Dieses Ziel konnte durch die Kombination von Maßnahmen, welche sich aus den prozesstechnischen Änderungen und der numerischen Simulation des Schicht-Bauteil-Verhaltens ergaben (Abb. 2), erreicht werden.

Funktionsschichtdicken zwischen 10 μm und 20 μm sind dadurch ebenfalls ohne haftvermittelnde Zwischenschichten problemlos realisierbar.

Die erste Qualifizierung neuentwickelter Schichtsysteme erfolgt üblicherweise in der oszillierenden Stift-Scheibe-Anordnung (Tribometer, Abb. 3). In einem derartigen System wird der Gleitverschleiß und der Reibkoeffizient in Abhängigkeit von der Versuchsdauer aufgenommen.

Die zu einem solchem Versuch gehörigen Verschleißspuren einer etwa 15 μm dicken DLC-Schicht (Abb. 4, Abb. 5) zeigen selbst bei hohen Pressungen von bis zu 2 GPa auch ohne Haftschicht zu keinem Zeitpunkt des Versuchs »Abplatzer«. Schichtversagen tritt lediglich durch kontinuierliches Durchreiben der Schicht auf. Dieser Punkt liegt allerdings bei etwa einer Million Zyklen unter extremen Prüfbedingungen (Abb. 6), wie sie in keinem realen Wälzlager auftreten. [Prüfbedingungen: 20 Hz, 2 GPa Hertzische Pressung, Verschleißparameter: 10 mm Si_3N_4 -Kugel, Raumtemperatur, 25% relative Luftfeuchte, 1mm Verschleißweg, 100% Schlupf, trocken und schmierstofffrei, 1s-Standzeit = 40 Zyklen]

Schichtsysteme, welche bei diesen Tests ähnliche oder die zuvor gezeigten Ergebnisse erreichen, werden mittlerweile in Wälzlagerprüfständen (Abb. 8) unter praxisnahen Bedingungen getestet. Gegenwärtig wird vor allem an einer weiteren Steigerung der Lebensdauer und der Senkung des noch zu hohen Reibkoeffizienten gearbeitet.

Abb. 1 Hybridlager



Abb. 2 Simulierte Spannungsverteilung einer überrollten Schicht unter Berücksichtigung der Rauheiten

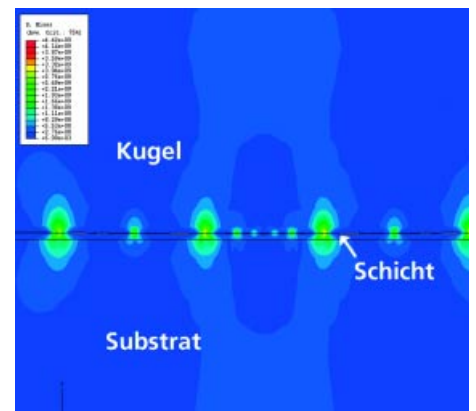


Abb. 3 Tribometer in Stift-Scheibe-Ausführung

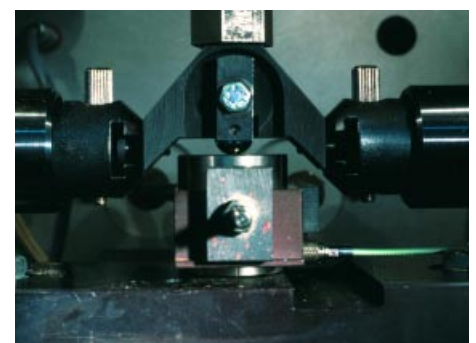


Abb. 4
Intakte Verschleißspur
in einer 15µm dicken
DLC-Schicht
(Substrat: 100Cr6, Prüf-
bedingungen siehe
Text)

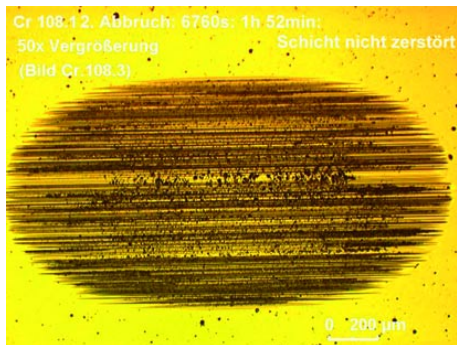


Abb. 5
Verschleißspur einer bis
zum Durchrieb bean-
spruchten 15µm dicken
DLC-Schicht (Substrat:
100Cr6, Prüfbedingun-
gen siehe Text)

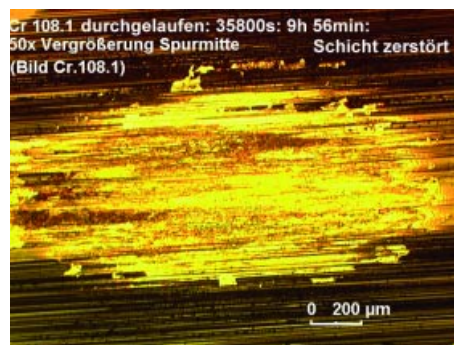


Abb. 6
Ausgewerteter Gleitver-
schleißversuch (Prüfbe-
dingungen siehe Text)

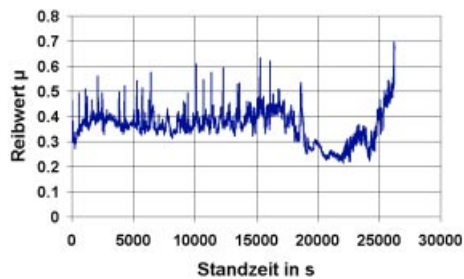


Abb. 7
Basismodul eines durch
Zwischenringe und
Einsätze erweiterbaren
Rezipienten

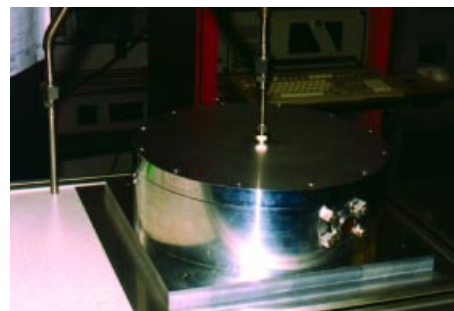


Abb. 8
Wälzlagerprüfstand



Beschichtung von spitz zulaufenden Substraten

Im Normalfall trifft die Anwendung der PECVD-Beschichtungstechnologie dann auf ihre Grenzen bzw. wird teilweise sogar unmöglich, wenn die Anordnung spitz zulaufender Substrate nur vertikal zur Substratelektrode möglich ist. Ein hierfür typischer Anwendungsfall ist die Beschichtung von Industrienähneln, die von der Spitze bis zum Schaft einer kontinuierlichen Beschichtung bedürfen. Dies ist in einer herkömmlichen PECVD-Anlage nahezu unmöglich, da die hierbei auftretenden Verzerrungen im elektrischen Feld stark inhomogenen Beschichtungsverhältnissen über die gesamte Geometrie hinweg führen. Die im Spitzenbereich auftretende wesentliche Überhöhung der elektrischen Feldstärke führt zur lokalen Überhitzung, da an dieser Stelle die Ionenstromdichte erheblich zunimmt. Bei den meisten verwendeten Substrat-Materialien werden damit die zulässigen Anlasstemperaturen überschritten, wodurch deren Eigenschaften bis zur Unbrauchbarkeit verloren gehen. Durch den »Spitzeneffekt« ebenfalls unmöglich ist das Aufbringen definierter und reproduzierbarer DLC-Schichten. Die am Fraunhofer IWM entwickelte PECVD-Anlage kann durch ihre Flexibilität auch extremste Feldverzerrungen kompensieren, wodurch nahezu konstante und geometrieunabhängige Beschichtungsverhältnisse erreicht werden. Die erwähnte Anlage (Abb. 7) ist aber nicht nur in der Lage sich extremen Geometrien anzupassen, sondern kann auch auf die Anzahl der zu beschichtenden Bauteile bzw. deren Abmessungen abgestimmt werden. Dadurch ist es denkbar auch für die DLC-Beschichtung kompliziert geformte Massenprodukte, wie z.B. Industrienähneln, mit einer hochwertigen diamantähnlichen Schicht zu veredeln.