

Grenzflächen- und Strukturangepassung diamantähnlicher Kohlenstoffschichten als Oberflächenveredlung für orthopädische Reibpaarungen



Annett Dörner-Reisel¹, Guido Reisel¹, Uta Brusky¹, Sabine Schöps¹, Christian Schürer², Josef Scheinplflug², Lars Kübler²

¹ Institut für Keramische Werkstoffe, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Kontakt: dörner@ikw.tu-freiberg.de; reisel@wsk.tu-chemnitz.de
² CeWOTec gGmbH, Chemnitz



Das Forschungsvorhaben wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. gefördert.

Motivation / Zielstellung

Der strukturelle Aufbau und die sich daraus ergebenden tribologischen und biologischen Eigenschaften von amorphen Kohlenstoffschichten mit diamantähnlichen Eigenschaften (DLC) bedürfen einer systematischen Anpassung, um als Oberflächenveredlung auf metallischen Implantatanteilen nützlich zu sein.

Forschungsziele waren die Reibungsverminderung von artikulierenden Paarungen in der Endoprothetik durch DLC-Beschichtung, eine hohe Haftfestigkeit der Dünnschichten sowie die Anpassung und Optimierung biologischer Eigenschaften.

Herstellung dotierter DLC-Schichten zur Abscheidung auf Endoprothesen

Verfahren:

- PA-CVD (Plasmagestützte chemische Abscheidung aus der Gasphase)

Verwendete Anlagentechnik:

- bis zu 50 Liter beschichtbares Volumen
- Plasmaerzeugung durch Hochfrequenz (13,56 MHz)
- programmierbare Prozessparametersteuerung für Schichtgradierung
- Typischer Arbeitsbereich für die Schichtabscheidung:
 - Druck: 1 Pa; RF-Leistung: 300 – 500 W

Abgeschiedene Fremdelementkonzentrationen für die Prothesenbeschichtung:

- Stickstoff: 5 – 15 at% (auf Si-reicher Haftvermittlerlage)
- Silizium: 5 – 15 at%

Ergebnisse des Arbeitsgebietes Schichtabscheidung:

- Dotierung mit Si sehr gut möglich
- harteste Abscheidung einer N-dotierten Schicht auf Si-reiche Haftvermittlerschicht aussichtsreich
- Beschichtung von Knieendoprothesen mit entsprechend dotierten DLC-Schichten erfolgreich
 - ⇒ Grundlage für Beschichtung im industriellen Maßstab

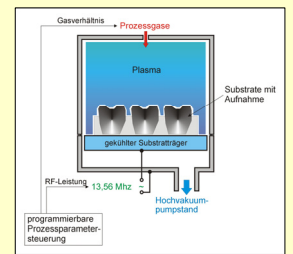


Abb. 1: Schematischer Aufbau der verwendeten Anlage zur Prothesenbeschichtung

Untersuchung der Schichtstruktur

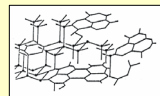


Abb. 2: Strukturmodell M. Yoshikawa Mater. Sci. Forum 52 (1989) 365-386

NMR-Spektroskopie

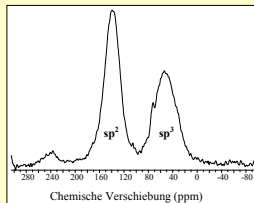


Abb. 4: ¹³C-CP/MAS-NMR-Spektrum einer undotierten a-C:H-Schicht

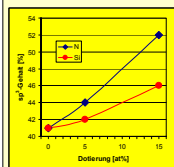


Abb. 5: sp²-Gehalt der untersuchten DLC's in Abhängigkeit von der Dotierung

FT-IR-Spektroskopie

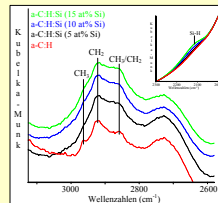


Abb. 6: FT-IR-Spektroskopie in diffuser Reflexion an Pulvern

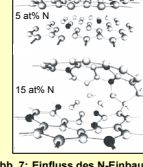


Abb. 7: Einfluss des N-Einbaus auf die Struktur von Graphit N. Hellgren et al., Phys. Rev. B 59 (1999) 7 5162-5169

Elektronenmikroskopie

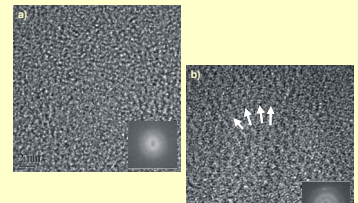


Abb. 8: HR-TEM a) a-C:H-Schicht; b) a-C:H-N-Schicht mit 15 at% N

Knieprothesenverschleißtests

- Prüfung des Verschleißverhaltens nach ISO/DIS 14243
- tribologische Beanspruchung in boviner Serumlösung
- anschließende Bewertung des Verschleißes über den Masseverlust des UHMW-PE Inlays



Abb. 9: a-C:H-Schichten im Verschleißtest

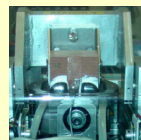


Abb. 11: Knieendoprothesen im Verschleißsimulator Stanmore KS4

Abb. 10: DLC-beschichteter CoCrMo-Femur und UHMW-PE Inlay nach 5 Millionen Zyklen im Knieprothesenverschleißtest

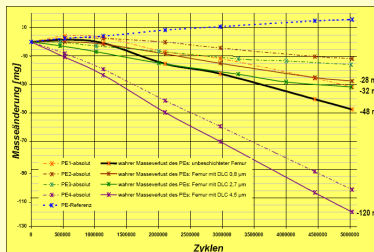


Abb. 12: Masseänderung des Polyethylens während des Knieverschleißtests nach ISO/DIS 14243

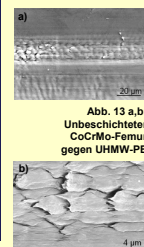


Abb. 13 a,b: unbeschichteter CoCrMo-Femur gegen UHMW-PE

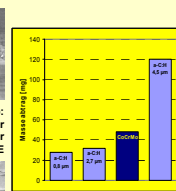


Abb. 14: Masseänderung des Polyethylens nach dem Knieverschleißtest

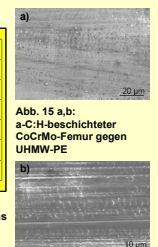


Abb. 15 a,b: a-C:H-beschichteter CoCrMo-Femur gegen UHMW-PE

Zusammenfassung

Undotierte und dotierte DLC-Schichten (Si-DLC u. N-DLC mit 5 – 15 at-% Si oder N) wurden auf *medical grade* CoCrMo-Substraten durch PA-CVD abgeschieden. Der strukturelle Aufbau der DLC-Schichten wurde insbesondere mittels Raman-, FT-IR- und NMR-Spektroskopie sowie hochauflösender Transmissionselektronenmikroskopie untersucht. Zellkulturtests erfolgten mit L929 Fibroblasten. Nach tribologischen Prüfungen im Modellprüfstand und elektrochemischer Charakterisierung erfolgte eine Auswahl geeigneter Schichten und deren Abscheidung auf Femursegmenten von Kniegelenkendoprothesen der Firma Zimmer Orthopedics Ltd.. Im Knieverschleißsimulator Stanmore KS4 wurden Femurteile mit einer Beschichtung aus undotiertem DLC unterschiedlicher Dicke (0,8 µm – 4,5 µm) sowie Si- und N-DLC (15 at-% Si oder N) geprüft.

- ⇒ Nachweis: Schichtdicke und -struktur haben starken Einfluss auf die Verschleißbeständigkeit
- ⇒ Deutliche Verbesserung: Verschleißbeständigkeit und Bioverträglichkeit der Kniegelenkendoprothesen durch Beschichtung mit DLCs angepasster Struktur und Dicke erreicht

Unternehmen und Organisationen des Projektbegleitenden Ausschusses

- Zimmer Orthopedics Ltd. (Abteilungsleiter Knieendoprothesen: Herr Philemon Handschin)
- IMA GmbH (Laborleiterin Gelenkendoprothesen: Frau Dr. Uta Kremling)
- Zeisigwaldkliniken Bethanien Chemnitz (Chefarzt Orthopädie: Herr Prof. Dr. Michael Wagner)