

Haltbarkeit reibungsmindernder Diamond-like Carbon (DLC)-Beschichtungen für Zahnräder

Im Forschungsvorhaben wurden Untersuchungen zur Haltbarkeit von Diamond-like Carbon (DLC)-Beschichtungen für Zahnräder durchgeführt. Hierzu wurden wesentliche Einflussfaktoren auf die Verbundhaftfestigkeit betrachtet und auf Basis abgeleiteter tribologischer Größen eine Methode zur Vorausberechnung kritischer Betriebsparameter ermittelt.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde das am Institut für Oberflächentechnik (IOT) entwickelte gradierte, wasserstoffhaltige und titanhaltige Schichtsystem TiC_g betrachtet. Insbesondere die Prozessgröße Biasspannung wurde systematisch variiert, wobei zusätzlich eine Anpassung der Beschichtungstemperatur an die betrachteten Substratwerkstoffe erfolgte. Auf Basis etablierter Methoden zur Schichtcharakterisierung wie dem Scratch-Test und der Rockwell-Eindringprüfung wurden vielversprechende Varianten anschließend an der Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebesysteme (FZG) unter Wälzbeanspruchung auf ihre Haltbarkeit getestet. Dabei wurde ein skalenübergreifender Versuchsansatz von der Messung der Schmierfilmdicke an einem optischen EHD-Tribometer über Reibungsmessungen am FZG-Zweischeibentribometer bis hin zu Haltbarkeitsuntersuchungen an einem FZG-Wirkungsgradverspannungsprüfstand durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass für das betrachtete Schichtsystem eine Steigerung der Haltbarkeit beschichtungsprozessbedingt durch eine Reduzierung der Biasspannung von $U_B = -200 \text{ V}$ auf $U_B = -100 \text{ V}$ erreicht werden kann. Des Weiteren kann die Haltbarkeit auf gleitgeschliffenem 16MnCr5 sowie durch den Einsatz von Schmierstoffen, die zu hohen Schmierfilmdicken im Wälzkontakt führen, erhöht werden.

Die aus den experimentellen Untersuchungen abgeleiteten tribologischen Größen zeigen einen direkten Zusammenhang der Haltbarkeit mit der spezifischen Grenzreibleistung im geschmierten Wälzkontakt. Die Erkenntnisse zum Einfluss der Verzahnungsgeometrie verdeutlichen dabei, dass eine Berechnung dieser Größen unter Berücksichtigung der lokalen Eingriffsverhältnisse erfolgen muss.

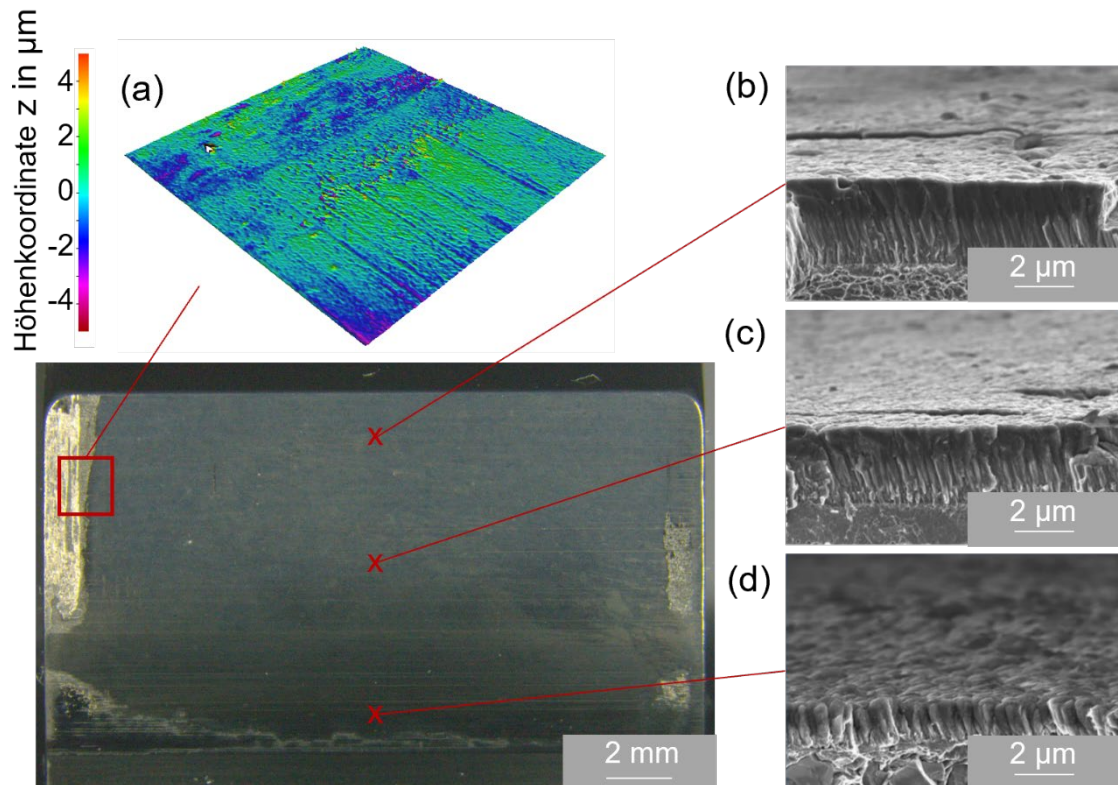


Bild: Dreidimensionale Aufnahme einer Zahnflanke aus 16MnCr5 im Bereich abgetragener Beschichtung (a) sowie Rasterelektronenmikroskopie (REM)-Aufnahmen zur Schichtdichtenverteilung und Morphologie entlang der Zahnhöhenkoordinate (b-d)

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens tragen zu einem vertieften Verständnis der Schichtabtragsmechanismen und Beanspruchungsgrenzen von DLC-beschichteten Zahnrädern bei. Für das betrachtete gradierte Schichtsystem wurden dabei drei Schichtabtragsmechanismen bzw. -formen identifiziert. Eine Zwischenschichtdelamination mit Abtrag bis zum Interlayer der Beschichtung, eine Grenzflächendelamination mit Abtrag bis zum Substratwerkstoff sowie Ausbrüche im Bereich von ca. 100 µm. Abgeleitete tribologische Größen zur Berechnung kritischer Betriebsparameter sind mit analytischen Gleichungen berechenbar und damit auch Anwendern ohne den Zugang zu komplexen numerischen Berechnungsprogrammen zugänglich.

Das Forschungsziel wurde erreicht.

Autoren: **Stefan Hofmann, M.Sc.**
Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebesysteme (FZG)
Technische Universität München (TUM)

Jessica Borowy, M.Sc.
Institut für Oberflächentechnik (IOT)
RWTH Aachen

Kontakt: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA)
Dirk Arnold
T 069- 6603 -1632

Das IGF-Vorhaben IGF-Nr. 21103 der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit den Mitteln der [IGF](#) gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Die Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF)

Die [Industrielle Gemeinschaftsforschung \(IGF\)](#) ist ein europaweit erfolgreiches, themenoffenes und vorwettbewerbliches Förderprogramm des [Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz \(BMWK\)](#), das kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) einen einfachen Zugang zu praxisorientierter Forschung und zu aktuellen Forschungsergebnissen ermöglicht. In der IGF bestimmen Unternehmen bzw. Verbände, Forschungsvereinigungen und Forschungseinrichtungen gemeinsam den Forschungsbedarf und die Forschungsthemen ihrer Branche. Die Begleitung der Forschungsprojekte durch die Unternehmen garantiert die Praxisnähe der Forschungsprojekte. Die Ergebnisse der IGF-Projekte sind öffentlich und stehen allen interessierten Unternehmen zu gleichen Bedingungen zur Verfügung. So stärkt die IGF die Wettbewerbsfähigkeit des Mittelstands in Deutschland und trägt damit maßgeblich zu Deutschlands Innovationssouveränität bei.

Die FVA (Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V.) ist das weltweit erfolgreichste und größte Forschungs- und Innovationsnetzwerk in der Antriebstechnik. Zusammen mit rund 180 Unternehmen und 100 Forschungsinstituten haben wir bisher weit über 2.000 Projekte realisiert. Die Antriebstechnik voranzubringen – das ist das Ziel der FVA. Dazu bringen wir Industrie und Forschung zusammen. Dies zu moderieren, neues Wissen zu erforschen, Effizienz und Erkenntnisse zu schaffen – das macht uns zum Innovationsförderer unsere Branche. Für unsere Mitglieder bedeutet das einen mehrfachen Return-on-Invest: Austausch und Kenntnistransfer in der FVA-Community, Mitgestaltung an der Forschung, Teilhabe an neuestem Wissen, Ausbildung von jungen Ingenieur*innen, passgenaue Weiterbildung, Reduzierung von F+E Kosten. Das kommt unseren Mitgliedsunternehmen, dem Forschungsstandort Deutschland und allen Beteiligten Menschen zu Gute. Denn unsere vorwettbewerbliche Gemeinschaftsforschung, finanziert über die IGF und Eigenmittel ist etwas ganz Besonderes. Gemeinsam geht einfach mehr. Dafür bündeln wir Ressourcen, auch finanzielle, moderieren Kommunikation und Prozesse. Wir helfen, Ideen zu verwirklichen. Weitere Informationen unter www.fva-net.de.