

REIBUNG UND VERSCHLEISS DURCH MIKROSTRUKTURIERTE OBERFLÄCHEN STEUERN

DIE AUFGABE

Reibungsverluste sind Energieanteile, die beim bewegten Zusammentreffen zweier Oberflächen ungenutzt verloren gehen. Der Verschleiß an diesen Oberflächen führt dazu, dass die Lebensdauer der Bauteile oder des Gesamtsystems oft kürzer ausfällt als gewünscht. Schätzungen gehen davon aus, dass durch Reibung – und einhergehend Verschleiß – ein durchschnittlicher volkswirtschaftlicher Schaden von ca. 2 bis 7 Prozent des jährlichen Bruttoinlandsproduktes entsteht.

Werden die tribologischen, d. h. reibungs- und verschleißbezogenen Kennwerte mechanisch kommunizierender Oberflächen durch Strukturieren beeinflusst, bieten sich vor allem für ansonsten technisch bereits ausgereifte Systeme erhebliche Energie- und Materialeinsparpotenziale. Prominente Beispiele sind automobiler Anwendungen.

Die Aufgabe besteht darin, dauerbeanspruchte Antriebskomponenten, z. B. Kolbenringe, oberflächlich in mikroskopischem Maßstab zu modifizieren, ohne ihre makroskopische Funktionsfähigkeit, z. B. ihre Abdicht- und Wärmeableiteseigenschaften, zu beeinträchtigen. Da sich Reibungsverhalten und Verschleiß immer wechselseitig beeinflussen, ist fast immer auch der Einfluss eines Schmiermittels zu berücksichtigen. Es gilt, in diesem Spannungsfeld eine aus Anwendersicht optimale Lösung zu erarbeiten.

UNSERE LÖSUNG

Für die Eigenschaftsmodifikation metallischer Oberflächen im Automobilbereich werden unterschiedliche Strategien verfolgt. Der partiellen Erzeugung funktionaler Strukturen durch verschiedene Laserverfahren stehen vollflächige Beschichtungen z. B. mit superharten, diamantähnlichen Schichten, gegenüber. Beide Varianten adressieren unterschiedliche Ziele. Durch das Einbringen feinsten Taschenstrukturen mit gepulsten Lasersystemen wird eine erweiterte Funktionalität erreicht. Neben der Wirkung als Reservoir für Schmiermittel kommt es zum Aufschwimmen darüber gleitender Komponenten. Das minimiert Trocken- bzw. Mischreibungsphasen und den Verschleiß. Die vollflächige Beschichtung zielt mit geringer Rauheit und Härte ebenfalls auf Verschleißminimierung ab, bietet jedoch an sich geringeren Reibwiderstand und somit Schmiermitteleinsparpotenzial.

Spannender Ansatz der Arbeiten ist deshalb die Kombination funktionaler Mikrostrukturen mit den Vorteilen einer vollflächig aufgetragenen Funktionsschicht. Diese Schichten sind häufig mit hohen Eigenspannungen und optischer Transparenz (d. h. geringer Absorption) behaftet. Um sie überhaupt, definiert und schadigungsarm bearbeiten zu können, wurden (ultra-) kurzgepulste Lasersysteme mit hochflexibler Strahlablenkung genutzt. Für jede Anwendung wurden anforderungsspezifische Bearbeitungsstrategien erarbeitet.



ERGEBNISSE

Die entwickelte Verfahrensfamilie »Lasertexturieren reibend beanspruchter, hartstoffbeschichteter Antriebskomponenten« zeichnet sich durch die konsequente Ausrichtung auf (ultra-) kurzgepulste Lasersysteme aus. Längerpulsige Laser führen typischerweise zu kaum vermeidbaren thermischen Einflüssen wie Aufwurfbildung, Aufhärten, Abplatzungen. Zudem besteht die Gefahr zu geringer Absorption. Die Nutzung (ultra-) kurzer Pulse und kürzerer als der weit verbreiteten infraroten Laserwellenlänge verbreitert das adressierbare Grund- und Schichtwerkstoffspektrum.

Die Beaufschlagung der sprödharten Materialien mit Laserpulsen von ca. 500 fs bis ca. 10 ps Dauer erzeugt Kavitäten ohne Gratbildung, mit definierter und bauteilkonstanter Tiefe geringster Toleranz (Abb. 1). Anhand des jeweiligen Einsatzzweckes werden Durchmesser und Tiefe sowie ein funktionales Layout dimensioniert. So wurden Kolbenringe mit einer ca. 2 µm dicken diamantähnlichen Kohlenstoffbeschichtung radial mit einem versetzten Punktraster funktionalisiert. Dabei lagen die Punktabstände zwischen ca. 50 und 150 µm, die Durchmesser bei ca. 15 bis 50 µm und die Tiefen bei ca. 2 bis 5 µm (Abb. 2 und 3). Diese Art der Laserstrukturierung bewahrt die Abdichteigenschaften der Kolbenringe und unterstützt signifikant die Reibungsminimierung durch Aufschwimmen auf einem dynamisch erzeugten Schmierfilm. Im Ergebnis wird eine Minimierung des Reibkoeffizienten um bis zu 25 Prozent erreicht.

Bei weiteren Komponenten im Automobilbereich, die keine zusätzlichen Dichtungsaufgaben erfüllen müssen, wurde durch das Einbringen einer z. B. rotationssymmetrischen Anordnung von Nöpfchen bis zu ca. 1 µm Tiefe die Lebensdauer wesentlich erhöht (Abb. 1).

Der Vergleich von unstrukturierten oder konventionell strukturierten und beschichteten Bauteilen mit laserstrukturierten und beschichteten Komponenten unter Einfluss eines Schmiermittels ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabe. Die Arbeiten mit (ultra-) kurzgepulsten Lasersystemen in Kombination mit hochflexiblen Strahlableitungen zeigen jedoch, dass einsatzspezifisch angepasste, funktionale Mikrostrukturen auf hartstoffbeschichteten Komponenten einstellbare und positive Auswirkungen auf Verschleißverhalten und Reibungskenngrößen haben.

- 1 *Rotationssymmetrisch laserfunktionalisierte Oberfläche*
- 2 *Lasermikrostrukturierter, hartstoffbeschichteter Kolbenring*
- 3 *Strukturdetail »Kolbenringfunktionalisierung«*

KONTAKT

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Kuntze

+49 351 83391-3227

thomas.kuntze@iws.fraunhofer.de

