

Verschleiß-Untersuchung in sauerstofffreier Atmosphäre

Auf einen Blick

- Verständnis über allgemeines tribologisches Verhalten in sauerstofffreier Atmosphäre
- Untersuchung der veränderten Diffusions- und Adhäsionseffekte
- Identifizierung möglicher Transferfilme an den Wirkstellen
- Zukunftsfähige Werkzeugbeschichtungen für die inerte Atmosphäre

07. 2020

IMPT | Wie wirkt es sich auf Reibung und Verschleiß aus, wenn Produktionsprozesse ohne Sauerstoff ablaufen? Das untersuchen Wissenschaftler am Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) im Sonderforschungsbereich 1368 "Sauerstofffreie Produktion".

Die Anforderungen an wirtschaftliche Produktionsprozesse steigen stetig an. Immer leistungsfähigere und effizientere Fertigungsmethoden sind die Herausforderungen der Fertigungstechnik. Die Produktionsprozesse der metallverarbeitenden Industrie werden bisher üblicherweise in einer sauerstoffreichen Atmosphäre durchgeführt. Dabei konnte man beobachten, dass der Verschleiß, als Oberflächenphänomen, durch Oberflächenfilme stark beeinflusst wird. Durch den Sauerstoff in der Umgebung bilden sich Oxidschichten auf Metalloberflächen. Diese erhöhen zum Beispiel den Werkzeugverschleiß etwa beim Spanen und Umformen. Die umgebende Atmosphäre spielt bei Produktionsprozessen also eine sehr wichtige Rolle.

Wie sich eine sauerstofffreie Atmosphäre auf die tribologischen Systeme auswirkt, erforschen Wissenschaftler des IMPT im Sonderforschungsbereich 1368 "Sauerstofffreie Produktion". Sie identifizieren und quantifizieren grundlegende Zusammenhänge der Verschleißvorgänge in silan-dotierter Atmosphäre, erforschen Diffusions- und Adhäsionseffekte und untersuchen mögliche neuartige Legierungsbildungen an den Grenzflächen. Ziel der Forscher ist es, die Erkenntnisse als Grundlage für die spätere Entwicklung von Werkzeugbeschichtungen in inerter Atmosphäre zu nutzen.

Auswirkung der Abwesenheit von Sauerstoff

Sauerstofffreie Bedingungen stellen an tribologische Systeme besondere

Anforderungen. Normalerweise, also unter atmosphärischen Bedingungen, haben die Wirkflächen tribologisch beanspruchter Bauteile bei der Festkörperreibung die Möglichkeit, durch chemische Reaktionen mit dem gasförmigen Umgebungsmedium reibungs- und verschleißmindernde Deckschichten zu bilden. Dies ist in einer sauerstofffreien Umgebung jedoch nicht möglich.

Im Sonderforschungsbereich nutzen die Forscher eine silan-dotierte Atmosphäre. Durch die Reaktion des Silans mit dem im Schutzgas enthaltenen Restsauerstoffs, werden bei Umgebungsdruck Sauerstoffpartialdrücke von weniger als 10^{-23} bar erreicht (XHV-adäquate Atmosphäre).

Durch das Wegfallen der Deckschichten kommt es vermehrt zu Adhäsionsmechanismen in den Kontaktbereichen. Diese können zu Funktionsstörungen und zum Versagen tribologischer Systeme führen. Die erhöhten Reibzahlen in XHV-adäquater Atmosphäre setzen jedoch nicht grundsätzlich einen höheren Verschleißbeitrag voraus. Durch den Wegfall der Oxidschichten, welche sich oftmals durch eine geringere Scherfestigkeit auszeichnen, verringert sich in sauerstofffreier Atmosphäre oftmals das Verschleißvolumen.

Atmosphäre beeinflusst Reibkoeffizienten

Um den Einfluss der Umgebungsatmosphäre auf die tribologischen Eigenschaften zu erforschen, haben die Wissenschaftler am IMPT Ball-on-Disc-Untersuchungen in normaler Umgebungsluft, in Argon-Atmosphäre und in einer silan-dotierten Atmosphäre durchgeführt. Für ihre Versuche haben die Wissenschaftler ein Universaltribometer (UMT) der Firma Bruker Corporation verwendet. Der Versuchsstand mit einer Hochtemperaturkammer ermöglicht eine maximale Temperatur von 1000 °C, eine maximale Kraft von 10 N und eine maximale Geschwindigkeit von 500 rpm. Bei den bisherigen Versuchen haben die Wissenschaftler bevorzugt sauerstoffaffine Werkstoffkombinationen gewählt, wie Titan (Ti-6Al-4V) mit Wolframkarbid und Aluminium mit Aluminium.

Die ersten Untersuchungen wurden mit der Materialpaarung Wolframkarbid (Kugel) und Ti-6Al-4V (Disc) durchgeführt. Die Wolframkarbidkugel mit einem Durchmesser von 2 mm wurde mit ansteigender Kraft von 2 N bis 7 N beziehungsweise einer Flächenpressung bis circa 2,41 GPA auf die Titanoberfläche aufgedrückt. Dabei wurden die Versuche in unterschiedlichen Atmosphären und in einem Temperaturraum von Raumtemperatur bis 1000 °C durchgeführt.

Dabei konnte gezeigt werden, dass die XHV-adäquate Atmosphäre einen erheblichen Einfluss auf den Reibkoeffizienten (CoF) besitzt. Die Auswertungen zeigten eine deutliche Erhöhung des Reibkoeffizienten zwischen Raumtemperatur und 400 °C. Grund dafür ist die gestiegene Adhäsionsneigung beider Reibpartner in Abwesenheit von Sauerstoff und die damit verbundene Unterdrückung der Oxidschichtbildung. Ab 400 °C kommt es dahingegen zu einer Reduzierung des CoF, was durch die Bildung einer tribologisch relevanten Schicht in der reaktiven silan-dotierten Atmosphäre zu

erklären ist. Vergleichend mit den Proben in Normalatmosphäre wird deutlich, dass diese Schicht auch oberhalb von 800 °C ein günstiges tribologisches Verhalten zeigt.

Bildung von neuartigen Legierungen

In sauerstofffreier Umgebung bilden sich neuartige Legierungen – das konnten die Wissenschaftler mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) und energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX) zeigen. Unter XHV-adäquater Atmosphäre bildete sich eine circa 1 bis 2 µm dicke Schicht aus Titan, Sauerstoff, Silicium und Aluminium. Diese Schicht zeigte ein E-Modul von circa 250 GPa und eine Härte von circa 10 GPa. Die Elementarverteilung an der Wirkstelle auf der Hartmetallkugel ergab mittels EDX-Messung, dass im Bereich der hohen Flächenpressung titanhaltige Adhäsionen aufgetreten sind. In den äußeren Bereichen mit geringerer Flächenpressung sind dagegen siliziumhaltige Adhäsionen aufgetreten.

Die Untersuchungen an der Werkstoffpaarung Aluminium (Disc) und Aluminium (Kugel) ergaben im gleichen Versuchsaufbau bei maximalen Temperaturen bis 500 °C ähnliche Ergebnisse. Der Reibkoeffizient war im Vergleich zur Normalatmosphäre deutlich höher, während auch in Normalatmosphäre ein Anstieg des CoF durch den Anstieg der Temperatur deutlich sichtbar wurde. Durch die Reinheit der Materialien konnten die Wissenschaftler ab 400 °C in XHV-adäquater Atmosphäre bereits den Beginn einer Verschweißung feststellen. Dieses adhäsive Verhalten konnte auch mittels REM-Aufnahmen der Kugel verdeutlicht werden. Das gemessene Verschleißvolumen war in XHV-adäquater Atmosphäre jedoch erheblich niedriger als in Normalatmosphäre durch die Unterdrückung des chemischen Verschleißes.

Ziel: Zukunftsfähige Werkzeugbeschichtung

Die XHV-adäquate Atmosphäre bietet Innovationspotential – das haben die Untersuchungen am IMPT gezeigt. Durch die Überwindung bestehender Prozessgrenzen oder die Verwendung neuartiger Werkzeug-Werkstoff-Systeme lassen sich Produktionsprozesse realisieren, die bisher nicht möglich waren.

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse über die Einflüsse der silan-dotierten Atmosphäre auf tribologische Systeme wird das IMPT ein Verschleißmodell generieren, das alle grundlegenden Formen des adhäsiven Verschleißes berücksichtigt und eine Prognose wichtiger Verschleißkenngrößen ermöglicht.

Das generierte Wissen über die mikro- beziehungsweise nanoskopischen Wechselwirkungen im Kontaktbereich und das daraus resultierende Schichtverhalten unter XHV-adäquater Atmosphäre soll im weiteren Verlauf des Sonderforschungsbereichs genutzt werden, um am IMPT neuartige Beschichtungen aus Werkstoffen wie Siliziumcarbid, Siliziumnitrid und Diamond-Like-Carbon (DLC) zu etablieren. Diese Werkstoffe neigen zu einem hohen oxidativen Verschleiß, verfügen jedoch über vorteilhafte mechanische Eigenschaften. In enger Zusammenarbeit mit den anderen Teilprojekten des

Sonderforschungsbereichs 1368 werden somit Prozesse und Wirkzonen in sauerstofffreier Atmosphäre erforscht, um zukunftsfähige Produktionstechniken und Fertigungsverfahren zu entwickeln.

von Selina Raugel

in
E-Mail: raugel@impt.uni-hannover.de
Tel.: (0511) 762-5484
Webseite: impt.uni-hannover.de