

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit bietet in dieser Form erstmalig die umfassende Darstellung hinsichtlich der Herstellung und tribologischen Prüfung von hochtemperaturbeständigen und besonders leistungsfähigen Polymer-Beschichtungen. Ziel war es insbesondere, durch neue, innovative und optimierte Werkstoffzusammensetzungen die Leistungsfähigkeit von Polymer-Gleitschichten für tribologische Anwendungen deutlich zu erhöhen und dadurch das Einsatzspektrum gegenüber derzeit verfügbaren Hochleistungs-Gleitschichten wesentlich zu erweitern. Die tribologische Leistungssteigerung wurde dabei durch die Verwendung nanoskaliger Partikel aus Titandioxid (TiO_2) und Zinksulfid (ZnS) in Kombination mit konventionellen Füll- und Verstärkungsstoffen wie Kohlenstoff-Fasern, Graphit und Polytetrafluorethylen (PTFE) erzielt. Als Matrix-Werkstoffe kamen neben Polyetheretherketon (PEEK) Polyamid 4.6 (PA46) und Polyphenylsulfid (PPS) zum Einsatz.

Zur Herstellung der polymeren Beschichtungen auf metallischen Substraten wurde eingehend das Wärmeimpuls-Schweißverfahren untersucht, das mit Hilfe einer Heißpresse realisiert wurde. Das entsprechende Verfahren wurde zunächst dahingehend optimiert, dass fehlerfreie Beschichtungen – d.h. Beschichtungen ohne Fehlstellen und mit einer ausreichenden Haftung zum Substrat - ermöglicht wurden. Die zur Beschichtung verwendeten Verbundwerkstoffe wurden vor dem Verschweißen mit den Substraten zu bandförmigem Material extrudiert.

Für die praktische und anwendungsorientierte tribologische Prüfung der so hergestellten Beschichtungen fand eine geeignete Adaption der Block-auf-Ring-Prüftechnik statt. Die resultierende Ring-Platte-Messmethode greift dabei grundlegende Ergebnisse von Lancaster auf und erlaubt aufgrund der konzentrierten Kontaktbedingungen eine beschleunigte Prüfung der Beschichtungs-Materialien. Die Analyse der sich während eines Versuchs ändernden Kontaktbedingungen diente als Grundlage zur Entwicklung einer Verschleißmodellierung auf Basis der linearen Verschleißgleichung nach Holm bzw. Archard.

Unter Zuhilfenahme des Versuchsdesigns nach Fang und Wang erfolgte die Planung und Auswertung von Gleitexperimenten an Beschichtungen bei kombinierter Variation der Versuchsparameter Gleitgeschwindigkeit und Normalkraft. Diese Untersuchungen ergaben, dass trotz geringer Versuchszahl weitreichende Vorhersagen bezüglich des Reibungskoeffizienten und der spezifischen Verschleißrate bei anderen als den untersuchten Versuchsparametern möglich sind.

Die analytische Begutachtung der aufgetretenen Verschleißoberflächen bzw. Transferfilme bei den untersuchten Compounds zeigte, dass in erster Linie die sich auf dem Gegenkörper ausbildenden Transferfilme für einen günstigen Reibwert und einen niedrigen Verschleiß verantwortlich sind. Durch die Verwendung der nanoskaligen Füllstoffe TiO_2 und ZnS in Kombination mit Kohlenstoff-Fasern ergeben sich charakteristische Verschleißoberflächen und –mechanismen, die zusätzlich zu den günstigen tribologischen Kennwerten beitragen.

Gegenüber dem derzeit besten – dem Autor bekannten - kommerziell verfügbaren und etablierten Tribo-Compound P4 konnte mit dem eigenentwickelten Werkstoff P6 speziell unter extremen Versuchsbedingungen der Reibwert um einen Faktor 3 und der Verschleiß um einen Faktor 2 gesenkt werden.

Abstract

This thesis aimed at the development of new high-temperature resistant coating materials with outstanding tribological properties. The main goal was to create a compound with values for the coefficient of friction and specific wear rate below that of the best commercially available tribo-materials. To achieve this goal, nanometer-scaled particles of Titanium dioxide (TiO_2) and Zinc sulfide (ZnS) in combination with conventional fillers such as carbon fibers, graphite and Teflon were used. Polyetheretherketon (PEEK), polyamide 4.6 (PA46) and polyphenylensulfide (PPS) served as matrix materials.

For lab-scale production of testable coatings on metallic substrates, a hot-press was applied. Firstly, the pressing procedure was optimized in order to get void-free coatings with sufficient adhesion to the substrate. Prior to the coating process, the polymers were extruded to tapes.

An adjustment of the block-on-ring testing device was necessary for a practicable tribological testing near to real application. Results of Lancaster for tribological investigation of coated metals were the background for the development of a corresponding cylinder-on-flat testing rig. Due to the concentrated contact conditions at the beginning of such an experiment, accelerated testing is possible. However, the continuously changing pressure during a test has to be considered. With the aid of the Finite Element Methode (FEM), the pressure distribution at different testing times was investigated. These results were used for building a wear model based on the theory of Holm and Archard.

By applying the so-called Uniform Design (UD) after Fang and Wang, designing and evaluation of sliding wear experiments with coatings under combined variation of sliding speed and normal force were realized. The results showed that only few (well planned) measurements are sufficient to calculate the coefficient of friction and the specific wear rate for other values of sliding speed and normal force not tested.

The analysis of the wear mechanisms for the different investigated compounds revealed that the main reason for a low coefficient of friction and wear rate lies in the worn material transferred to the counterbody. It became also evident that the nanometer-scaled particles in combination with carbon fibres lead to characteristic wear mechanisms that are additionally responsible for a good tribological behavior.

Compared to the best known commercially available tribological compound P4, the self-developed material P6 showed a much better tribological behaviour, especially under

severe testing conditions. Here, the specific wear rate could be lowered by a factor of 2, and the coefficient of friction could be lowered even by a factor of 3.