

## **Abstract**

Wear is inevitable, when two surfaces undergo sliding under load. The ability to control friction and reduce wear (surface damage) has long been a major factor for increasing the efficiency and working life of machines and moving parts. This is even more true today: with the increasing miniaturization of device components and high-performance materials, the surface-to-volume ratio increases, and the properties of the surfaces become increasingly more important. In many cases, especially in aerospace, high-temperature applications and micro electromechanical devices, it is also impractical or undesirable to have a liquid lubricant present, and one has to rely entirely on the tribological properties of the dry, unlubricated surfaces. Although it will be impossible to prevent the wear process, we must try to control or minimize it.

In this study, friction and sliding wear of three different material systems were dealt with. First topic is stainless steel parts made by micro metal injection molding ( $\mu$ -MIM) process, which allows to fabricate tiny, complex-shaped parts for mass production. The MIM process is relatively new technology and it has many different features compared to conventional powder metallurgy (P/M). Such MIM parts are increasingly used in the industry, even though only few researches on wear have been done. Here, the dry sliding wear resistances of MIM stainless steel parts were compared to the wrought steels as well as a standard bearing steel in self-mated configuration. The specific wear rates of various steels could be predicted and surveyed with an accumulation of three different wear mechanisms.

As the second topic, metal phase reinforced ceramic matrix composite materials, i.e. mullite/Mo system and 3Y-TZP/Ni system, were focused. The tribological investigations of these materials are also very few in the literature, although cemented carbides, which are carbide particle reinforced metal matrix composites, are successfully utilized as machining tools. The congeniality between ceramic and metal, the effect of the size and the amount of metal on the wear characteristics were explored against steel counterpart. The optimum amount of metal addition could be determined from the size of metal utilized.

In the third part, the continuous Si-Ti-C-O ceramic fiber reinforced alumina-based ceramic matrix composites (FRCs) were studied. The innovative layered composite,

which has hard surface layer for high wear resistance and fiber reinforced interior for high fracture toughness, was proposed and fabricated successfully in two methods, i.e. by the aid of inorganic adhesive and the glass cloth containing green sheet. Both methods are useful depends on the geometry and the condition of the two surfaces to be adhered.

The obtained results can be transferred to the similar tribological cases and contribute to understand and control the wear of metal and ceramic based materials.

## **Kurzfassung**

Verschleiß ist unvermeidlich, wenn sich zwei Oberflächen unter Normalkraft relativ zueinander bewegen. Die Fähigkeit Reibung und Verschleiß (Oberflächenschaden) zu kontrollieren ist seit langem ein bedeutender Faktor im Hinblick auf Effizienz und Lebensdauer von Maschinen und bewegten Teilen. Dies ist heutzutage noch kritischer, da mit der zunehmenden Miniaturisierung von Geräteteilen und der Verwendung von Hochleistungsmaterialien das Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis und somit auch die Wichtigkeit der Eigenschaften von Oberflächen vermehrt zunimmt. In vielen Fällen, besonders in der Luft- und Raumfahrt, bei Hochtemperaturanwendungen und bei mikroelektromechanischen Geräten, ist es unpraktisch oder unerwünscht, ein flüssiges Schmiermittel einzusetzen, und man muss sich voll und ganz auf die tribologischen Eigenschaften ungeschmierter trockener Oberflächen verlassen. Obwohl es unmöglich sein wird, den Abnutzungsprozess zu verhindern, muss man versuchen, ihn zu kontrollieren oder zu minimieren.

In dieser Arbeit wurden Reibung und Gleitverschleiß von drei verschiedenen Materialsystemen untersucht. Zunächst wurden rostfreie Stahlteile mittels Mikro-Metallspritzgießen ( $\mu$ -MIM) hergestellt. Dieser Prozess erlaubt es, winzige, komplexgeformte Teile in Massenproduktion zu fertigen. Der MIM-Prozess ist eine relativ neue Technologie und besitzt viele Besonderheiten verglichen mit konventioneller Pulver-Metallurgie (P/M). Solche MIM-Teile werden in der Industrie zunehmend eingesetzt, obwohl nur wenige Forschungsarbeiten im Hinblick auf Verschleiß bekannt sind. In dieser Arbeit wurde die Resistenz gegen trockenen Gleitverschleiß von rostfreien MIM-gefertigten Teilen mit Schmiedestählen und Standard-Lagerstählen unter Benutzung einer eigenen Versuchsvorrichtung verglichen. Die bestimmten Verschleißraten verschiedener Stähle konnten vorhergesagt und hinsichtlich der Wirkungsweisen dreier verschiedener Verschleißmechanismen untersucht werden.

Als zweiter Schwerpunkt konzentriert sich diese Arbeit auf metallphasenverstärkte Keramiken, genauer ein Mullite/Mo-System und ein 3Y-TZP/Ni System. Obwohl zementierte Karbide – karbidpartikelverstärkte Verbundwerkstoffe mit metallischen Matrices – erfolgreich in der spanenden Verarbeitung eingesetzt werden, existieren nur limitierte Untersuchungen auf diesem Gebiet. Ziel dieser Arbeit war es, sowohl die

Kongenialität zwischen Keramik und Metall als auch die Auswirkung von Größe und Gehalt von Metall auf einen Stahlgegenkörper zu erforschen. Die optimale Menge an Metallzusatz konnte aus der Größe des verwendeten Metalls ermittelt werden.

Im dritten Teil der Arbeit wird auf kontinuierliche Si-Ti-C-O-keramikfaserverstärkte Aluminiumoxid-basierende Keramiken eingegangen. Dieser innovativ geschichtete Verbundwerkstoff besitzt eine harte Oberflächenschicht, die für hohen Verschleißwiderstand sorgt und einen faserverstärkten Kern, verantwortlich für hohe Bruchzähigkeiten. Die Werkstoffe wurden durch zwei verschiedene Methoden hergestellt, d.h. einmal durch die Hilfe von anorganischem Haftmittel und weiterhin durch einen Glassfasergewebe-Grünling. Beide Methoden sind anwendbar und hängen von der Geometrie und dem Zustand der zwei Oberflächen, die verbunden werden sollen, ab. Die erzielten Ergebnisse können auf ähnliche tribologische Fälle übertragen werden und tragen wesentlich zum Verständnis und zur Kontrolle des Verschleißes von metallisch und keramisch basierenden Materialien bei.