

1 Einleitung

Hochbelastete Wälzkontakte, wie z.B. der Zahnflankenkontakt, sind Beispiele für tribologische Systeme, kurz Tribosysteme. Die Eigenschaften des Tribosystems und das Belastungskollektiv beeinflussen die Leistungsfähigkeit im Betrieb hinsichtlich Tragfähigkeit und Verlustleistung. Die Optimierung von Tribosystemen ist daher eine zentrale Herausforderung zur Steigerung der Leistungsdichte von Antriebssträngen und zur Einhaltung von gesetzlichen Vorgaben zur Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit.

Charakteristisch für Tribosysteme ist eine andauernde Veränderung der Kontaktbedingungen infolge von Einlauf-, Verschleiß- oder Ermüdungsvorgängen während des Betriebs. Die Veränderung ist am stärksten während der Einlaufphase ausgeprägt, durch die maßgeblich die Leistungsfähigkeit in der späteren Betriebsphase bestimmt wird. Durch die gezielte Wahl der Einlaufparameter kann das Tribosystem positiv hinsichtlich Verschleißes, Ermüdung oder Effizienz verändert werden. Neben der Ausbildung von triboinduzierten Grenzschichten findet während der Einlaufphase insbesondere eine Einglättung der Oberflächenrauheit statt.

Für die Auslegung von Tribosystemen stehen neben höherwertigen Berechnungsmethoden vereinfachte Näherungsformeln, wie bspw. die relative Schmierfilmdicke λ_{rel} als Quotient der Schmierfilmhöhe und der Oberflächenrauheit, zur Verfügung. Als Oberflächenrauheit werden dazu normkonforme Rauheitskennwerte wie bspw. R_a , R_z oder R_q für den Zustand nach der Fertigung als Bezugswert verwendet. Bestehende Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass mit Kenntnis der Oberflächenrauheit nach Abschluss des Einlaufs eine präzisere Vorhersage der Leistungsfähigkeit des Tribosystems ermöglicht wird. Derzeit existieren jedoch keine Berechnungsansätze zur großflächigen Quantifizierung der lokalen geometrischen Oberflächenveränderung während der Einlaufphase von Wälzkontakten, sodass die Vorhersage auslegungsrelevanter Rauheitskennwerte nach dem Einlauf bzw. vor dem Betrieb nicht möglich ist.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine großflächige Mikrokontaktberechnung entwickelt, mit der die Lücke zwischen der fertigungsbedingten Oberflächenrauheit und der sich im Betrieb einstellenden Oberflächenrauheit geschlossen wird. Bei der Entwicklung der Berechnungsmethode besteht die wissenschaftliche Herausforderung in der Definition der notwendigen Berechnungsauflösung für die einzelnen Rauheitsspitzen und in der Optimierung der einzelnen Berechnungsschritte hinsichtlich der großflächigen Kontaktberechnung mit einer Vielzahl an Elementen. Zudem ist anhand von experimentellen Untersuchungen die These zu überprüfen, inwiefern die Oberflächeneinglättung während der Einlaufphase primär auf den Wirkmechanismus der plastischen Verformung zurückgeführt werden kann. Aus wirtschaftlicher Sicht können mit der Kenntnis der geometrischen Oberflächenveränderung leistungssteigernde Einlaufprozeduren abgeleitet werden und ein wichtiger Beitrag zur Ressourceneffizienz geleistet werden. Aufgrund des großflächigen Ansatzes wird die Berechnung normkonformer Rauheitskennwerte ermöglicht, sodass eine direkte Vergleichbarkeit zu bisherigen experimentellen Erkenntnissen möglich ist.

Introduction

Heavily loaded rolling-sliding contacts, e. g. the tooth flank contact, are examples of tribological systems. The properties of the tribological system and the load spectrum influence the performance in operation in terms of load capacity and power loss. The optimization of tribological systems is therefore a central challenge to increase the power density of drive trains and to comply with legal requirements for resource efficiency and sustainability.

A characteristic of tribological systems is a continuous change of the contact conditions as a result of running-in, wear or fatigue during operation. The change is most pronounced during the running-in phase, which largely determines the performance in the later operating phase. By carefully selecting the running-in parameters, the tribological system can be changed positively in terms of wear, fatigue or efficiency. Besides the formation of tribo-induced boundary layers, the surface roughness is smoothed during the running-in phase.

In addition to sophisticated calculation methods, simplified approximation formulas, such as the relative lubricant film thickness λ_{rel} as the quotient of the lubricant film height and the surface roughness, are available for the design of tribological systems. Standard roughness parameters, such as Ra , Rz or Rq , are used as a reference values to quantify the surface roughness after production. Existing research has shown that knowing the surface roughness after the running-in process enables a more precise prediction of the performance of the tribological system. At present, however, there are no calculation approaches for a large-scale quantification of the local geometric surface change during the running-in phase of rolling-sliding contacts, so that it is not possible to predict design-relevant roughness parameters after running-in or before operation.

Within the scope of the present work, a large-scale micro contact calculation is developed, in order to close the gap between the production-related surface roughness and the surface roughness occurring during operation. In developing the calculation method, the scientific challenge is to define the required resolution for the individual roughness peaks and to optimize the individual calculation steps with regard to the large-scale contact with a high number of elements. In addition, based on experimental tests, the research thesis is proved if the occurring surface smoothing during the running-in phase can primarily be attributed to the mechanism of plastic deformation. From an economic point of view, performance-enhancing running-in procedures can be derived with the knowledge of the geometric surface change. Based on this knowledge, an important contribution to resource efficiency and sustainability can be made. Due to the large-scale calculation approach on the micro level, the calculation of standard-compliant roughness parameters is made possible, so that a direct comparison with previous experimental results and conclusions is possible.