



796

Kurzinformation

Berechnungsverfahren und Grenzkriterien zum Verschleißverhalten fettgeschmierter Getriebe unter Berücksichtigung der Werkstoffpaarung

IGF-Vorhaben 19627 N

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben (19627 N) der Forschungsvereinigung DGMK Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V., Überseering 40, 22297 Hamburg wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

DGMK und Autor(en) haben alle Sorgfalt walten lassen, um vollständige und akkurate Informationen in diesem Buch zu publizieren. Der Verlag übernimmt weder Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für die Nutzung dieser Informationen, für deren Wirtschaftlichkeit oder fehlerfreie Funktion für einen bestimmten Zweck. Die DGMK übernimmt keine Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren, Programme usw. frei von Schutzrechten Dritter sind.

Alle Rechte vorbehalten

Als Manuskript gedruckt

© DGMK e.V., Hamburg, 2020

Für Copyright in Bezug auf das verwendete Bildmaterial siehe Quellenangaben in den Abbildungsunterschriften. Abbildungen ohne Quellenangabe sind von den Autoren.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der DGMK unzulässig und strafbar.

The work including all its parts is protected by copyright. Any use outside the narrow limits of the German Copyright Law without the consent of the DGMK is prohibited and punishable by law.

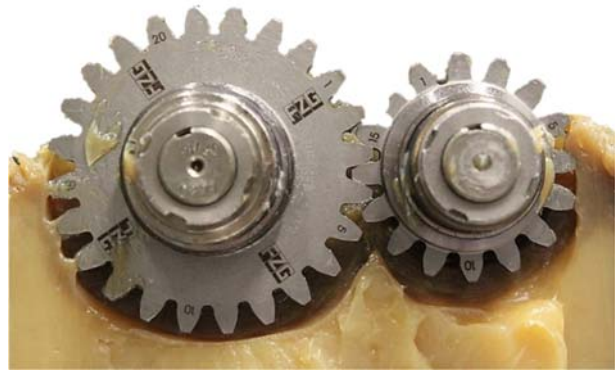
Umschlaggestaltung: DIE NEUDENKER®, Darmstadt | DGMK e.V., Hamburg

Titelfotografie: Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau, Technische Universität München

Kurzinformation

Berechnungsverfahren und Grenzkriterien zum Verschleißverhalten fettgeschmierter Getriebe unter Berücksichtigung der Werkstoffpaarung

Schmierfette als Getriebeschmierstoff können unter besonderen Betriebsbedingungen eine Vielzahl von Vorteilen gegenüber einer herkömmlichen Ölschmierung besitzen. Vor allem bei großen, langsam laufenden und offenen Zahnradantrieben, aber auch bei kleinen, schnell laufenden Zahnradgetrieben weist eine Fettschmierung Vorzüge auf. So kann eine wartungsarme Lebensdauererschmierung ermöglicht (z. B. bei Werkzeugen) oder unabhängig von der räumlichen Lage einer Getriebestufe deren Schmierung gewährleistet werden (z. B. in Robotergetrieben). In vielen dieser Anwendungsfälle werden einsatzgehärtete (harte) Ritzel mit vergüteten (weichen) Rädern gepaart. Dabei stellt der Verschleiß oft eine lebensdauerbegrenzende Schadensart dar. Folglich ist die Kenntnis der Verschleißlebensdauer bereits während des Auslegungsprozesses der Verzahnung unerlässlich.



Im Betrieb freigelegte Zahnräder nach einem Versuchslauf mit Fettschmierung

Im Forschungsvorhaben DGMK 377-01 wurde ein standardisiertes Testverfahren zur Evaluierung der Verschleißtragfähigkeit von ölgeschmierten Verzahnungsstufen entwickelt, welches in DGMK 725 für die Anwendung mit Getriebefetten angepasst wurde. Mithilfe der Berechnungsmethode nach Plewe kann auf Grundlage der Versuchsergebnisse eine Aussage zur Verschleißlebensdauer des Zahnrad-Schmierstoff-Systems getroffen werden. So lange eine Zahnradpaarung innerhalb des Schmierstoff-Versorgungsmechanismus *Umwälzen* betrieben wird, können die oben beschriebenen Methoden angewendet werden. Aufgrund ihrer Fließeigenschaften kann es bei der Schmierung mit Fetten allerdings zu Sonderfällen kommen: So wurde u. a. in DGMK 671 und 766 festgestellt, dass sich die Zahnräder unter bestimmten Voraussetzungen im Schmierfett *freigraben* können. Das kann in der Folge zu einer mangelhaften Schmierstoffversorgung oder einem vorzeitigen Ausfall der Verzahnung infolge anderer Schadensmechanismen führen.

Die Zielsetzungen des vorliegenden Forschungsvorhabens DGMK 796 (IGF-Nr. 19627 N) bestanden darin, das neu entwickelte Prüfverfahren nach DGMK 725 durch weitere experimentelle Untersuchungen zu überprüfen und abzusichern, einen Berechnungsansatz zur Abschätzung der Schmierfettversorgung im Zahnkontakt zu entwickeln sowie einen grundlegenden Kenntnisstand zum Verschleißverhalten von Zahnradpaarungen unterschiedlicher Wärmebehandlung zu schaffen. Neben theoretischen Studien wurden umfangreiche, experimentelle Untersuchungen am FZG-Zahnrad-Verspannungsprüfstand durchgeführt. Darin wurden Schmierfette unterschiedlicher Zusammen-

setzung über einen großen Drehzahlbereich sowie bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen unter Beobachtung des sich einstellenden Versorgungsmechanismus untersucht und auftretende Schadensarten dokumentiert. Ferner wurde in systematischen Langsamlauf-Verschleißtests die Versuchsbasis des modifizierten Prüfverfahrens für Fette vergrößert, sowie in Stichversuchen das Verschleißverhalten von Zahnradpaarungen unterschiedlicher Wärmebehandlung betrachtet.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass der Übergangsbereich der Schmierstoffversorgung zwischen *Umwälzen* und *Freigraben* maßgeblich von den Fetteigenschaften, äußeren Randbedingungen und Betriebsbedingungen abhängig ist. So können eine höhere Fettmenge im Getriebe und eine höhere Schmierstofftemperatur *Umwälzen* begünstigen. Demgegenüber rufen ein höheres Drehmoment und eine höhere Konsistenz *Freigraben* hervor. Weitere Einflüsse konnten auf einzelne Fettkomponenten wie das Grundöl oder die Verdickerart zurückgeführt werden. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurde ein Berechnungsansatz entwickelt, der die Möglichkeit bietet, die Schmierstoffversorgung eines fettgeschmierten Getriebes abzuschätzen.

In den Langsamlauf-Verschleißtests konnte bestätigt werden, dass das modifizierte Prüfverfahren für Schmierfette (DGMK 725) für die Anwendung mit Fetten gut geeignet ist. Eine Wiederholbarkeit und eine Differenzierbarkeit der Ergebnisse sind gegeben. Zudem zeigten die Beobachtungen einen maßgeblichen Einfluss der Nachfließ Eigenschaften des Schmierfetts auf die Verschleißtragfähigkeit.

Die Stichversuche mit den Zahnradpaarungen einsatzgehärteter und vergüteter Zahnräder wiesen grundsätzlich einen erhöhten Verschleiß auf. Der Verschleiß wurde zusätzlich von der Rauheit des harten Bauteils, der Oberflächenhärtedifferenz sowie den Schmierstoffbestandteilen beeinflusst. Mit diesen Erkenntnissen konnte eine erste Umrechnung des Verschleißaufkommens vom standardisierten Test mit der Paarung hart/hart auf eine Verzahnung hart/weich für fettgeschmierte Getriebe abgeleitet werden.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Das IGF-Vorhaben (19627 N) der Forschungsvereinigung Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK), Überseering 40, 22297 Hamburg wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Autoren: **Benedikt Siewerin, Dr.-Ing. Thomas Tobie, Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl**
Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau (FZG),
Technische Universität München (TUM)

Kontakt: DGMK Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.
Jan Ludzay

Die Veröffentlichung der detaillierten Projektergebnisse als DGMK-Forschungsbericht 796 ist in Vorbereitung.

10.09.2020