

FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU

Institut: Product and Service Engineering

Schriftenreihe

Heft 13.4

Joschi Sucker

Entwicklung eines Tragfähigkeits-
berechnungsverfahrens für Schraubradgetriebe
mit einer Schnecke aus Stahl
und einem Rad aus Kunststoff



Lehrstuhl für

Industrie- und Fahrzeugantriebstechnik

Prof. Dr.-Ing. Peter Tenberge

**Entwicklung eines Tragfähigkeitsberechnungsverfahrens
für Schraubradgetriebe mit einer Schnecke aus Stahl und
einem Rad aus Kunststoff**

Dissertation
zur
Erlangung des Grades
Doktor-Ingenieur

der
Fakultät für Maschinenbau
der Ruhr-Universität Bochum

von
Dipl.-Ing. Joschi Sucker
aus Haan

Bochum 2013

Herausgeber:

Institut: Product and Service Engineering
Fakultät für Maschinenbau
Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

Dissertation:

Referent: Prof. i.R. Dr.-Ing. W. Predki
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. P. Tenberge

Tag der Einreichung: 9. Januar 2013
Tag der mündlichen Prüfung: 13. Februar 2013

© 2013 Institut: Product and Service Engineering
Ruhr-Universität Bochum
Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-89194-208-7

Kurzfassung

Schraubradgetriebe mit einer Schnecke aus Stahl und einem Rad aus Kunststoff führen zu kostengünstigen Antrieben. Die Schnecken können durch Rollen und die Räder im Spritzgussverfahren hergestellt werden. Somit sind sie für die Produktion von hohen Stückzahlen gut geeignet. Moderne Kraftfahrzeuge weisen über 100 Stellantriebe auf. Viele werden mit Schraubradverzahnungen realisiert. Sie kommen aber auch zu einem hohen Maße in Antrieben für Haushaltsgeräte und Elektrowerkzeuge zum Einsatz.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Tragfähigkeitsberechnungsverfahren für Schraubradgetriebe entwickelt. Dieses ist für Verzahnungen mit gerollten Schnecken und spritzgegossenen Rädern sowie für verschiedene Betriebsbedingungen geeignet. Diese Betriebsbedingungen sind: Erhöhte Umgebungstemperaturen, schwellende Lasten, reversierende Drehrichtungen und verschiedene Lagerungsanordnungen. Es werden umfangreiche Untersuchungen an einer entsprechenden Prüfverzahnung durchgeführt. Zahndickenmessungen zeigen das Verschleißverhalten, und Wirkungsgradmessungen liefern das Reibungsverhalten. Zur Berechnung der Temperaturen wird ein thermisches Netzwerk entwickelt, mit dem die verschiedenen Betriebsbedingungen berücksichtigt werden. Dieses liefert die für die Tragfähigkeitsberechnung notwendigen Temperaturen. Zur Absicherung des thermischen Netzwerks werden umfangreiche Temperaturmessungen durchgeführt.

Finite-Elemente-Simulationen zeigen, dass die Verformung der Kunststoffzähne das Eingriffsgebiet vergrößert und so die Belastung des einzelnen Zahnes nennenswert verringert wird. Weiter wird aufgezeigt, wie dieses Verhalten in der Tragfähigkeitsberechnung zu berücksichtigen ist.

Zur Bestätigung des Tragfähigkeitsberechnungsverfahrens werden an drei Getriebeprüfständen, unter den entsprechenden Betriebsbedingungen, end-of-life-Versuche durchgeführt. Da zu den bisher üblichen Flankenbrüchen im hohen Maße Zahnfußbrüche auftreten, wird eine Berechnungsmethode zur Ermittlung der Zahnfußbruchsicherheit aufgestellt. In dieser wird die kunststoffspezifische Kerbspannung im Zahnfuß berücksichtigt.

Summary

Crossed helical gears with steel worm and a plastic wheel lead to more economical drives. The worm can be made by rolling and the wheels by an injection molding process, therefore they are well suited to large-scale production. Over 100 actuators are used in modern automobiles and the majority is equipped with crossed helical gears. They are also used to a great extent in actuators for household appliances and power tools.

This report provides a method for calculating the load capacity prediction of crossed helical gears. This is suitable for worm gears containing roll formed worms and injection molded wheels used in the following operating conditions: Increased ambient temperatures, pulsating loads, reversing rotation directions and various bearing positions. Extensive studies on a corresponding test gear are performed. Tooth thickness measurements show the wear behavior and the measured efficiency is used to calculate the coefficient of friction. In order to calculate the temperature a thermal network is developed to consider the different operating conditions. This provides the necessary temperatures for the load capacity prediction. To verify the thermal network, extensive temperature measurements are carried out.

Finite element simulations show that deformation of the plastic teeth increases the contact ratio and reduces the load at a single tooth significantly. This report explores how this behavior has to be considered in the load capacity prediction.

To confirm the load capacity prediction method, end-of-life tests are performed on three test rigs under the various operating conditions. Along with the usual tooth flank break, many tooth root breakages occur. Therefore a calculation method to determine the safety factor against tooth root breakage is situated to consider the plastic's specific notch stress in the tooth root.