

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DER ZAHNREIBUNGSZAHL VON SCHNECKENGETRIEBEN MIT DER FLANKEN-FORM K

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF TOOTH FRICTION COEFFICIENT OF K TYPE WORM GEAR DRIVE

*Balázs Magyar, Dipl.-Ing., TU Budapest Lehrstuhl für Maschinenkonstruktion und Produktentwicklung
Péter Horák, Dr.-Ing., TU Budapest Lehrstuhl für Maschinenkonstruktion und Produktentwicklung
Bernd Sauer, Prof. Dr.-Ing., TU Kaiserslautern Lehrstuhl für Maschinenelemente und Getriebetechnik
Csaba Fábrián, Dipl.-Ing., TU Kaiserslautern Lehrstuhl für Maschinenelemente und Getriebetechnik*

ABSTRACT

A test bench was assembled at the drive engineering laboratory of TU Kaiserslautern Institute of Machine Elements, Gears, and Transmissions to study the tooth friction coefficient of worm gear drives. To the determination of tooth friction coefficient was accomplished the efficiency measurement of worm gear drive by the several loads with two type of oil. In this paper are published the experimental results of a worm gear set with a gear ratio twenty.

1. EINLEITUNG

Am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Getriebetechnik der TU Kaiserslautern steht ein modular aufgebaute Verspannungsprüfstand zur quasistatischen Untersuchungen von verschiedenen Antriebssträngen mit der Nennleistung 30 kW zur Verfügung.

An diesen Prüfstand wurden experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der Zahnreibungszahl von Schneckengetrieben mit verschiedenen Übersetzungen, wie 10, 20 und 40, durchgeführt. Im Folgenden werden die Messergebnisse und ihre Auswertung beim zwanziger Radsatz vorgestellt.

2. VERLUSTLEISTUNGEN VON SCHNECKENGETRIEBEN

Um den Wirkungsgrad des Getriebes zu steigern, müssen die möglichen Verlustquellen analysiert werden. Bei Schneckengetrieben können vier Verlustleistungen, wie Verzahnungs-, Lager-, Dichtungs- und Plantschverlustleistung, unterschieden werden [1]. Davon ist die mit der Zahnreibungszahl zusammenhängenden Verzahnungsverlustleistung die bedeutendste [2].

Im Mittelpunkt unserer Forschung steht die sowohl experimentelle als auch numerische Ermittlung der

Zahnreibungszahl bei Schneckengetrieben. Die Zahnreibungszahl spielt auch eine wichtige Rolle bei den ausgezeichneten schwingungsdämpfenden Eigenschaften des Schneckengetriebes. So hilft ihre Analyse nicht nur bei der Wirkungsgraderhöhung des Schneckengetriebes sondern auch bei dem Verstehen seines Schwingungsverhaltens auch.

3. EXPERIMENTELLE ERMITTLUNG DER MITTLEREN ZAHNREIBUNGSZAHL

Bei Schneckengetrieben herrscht Mischreibungszustand zwischen den kontaktierenden Zahnflanken, das bedeutet einige Rauheitsspitzen sind durch den Schmierstoff völlig getrennt, zwischen den anderen liegt Festkörperberührung vor. Bei diesen Randbedingungen wird die Zahnreibungszahl nicht nur durch das Rauheitsprofil der kontaktierenden Oberfläche, sondern durch das Material des Kontaktpartners und durch die Art des Schmierstoffes auch beeinflusst. Die mittlere Zahnreibungszahl (μ_z) bei einem Radsatz lässt sich indirekt mittels Wirkungsgradmessungen ermitteln. Sind die An (P_1) - und Abtriebsleistung (P_2), genauso wie die Lager (P_{VL})-, Dichtung (P_{VD})- und Plantschverlustleistung (P_{VS}) bekannt, dann kann der Verzahnungswirkungsgrad aus dem Energiegleichgewicht des Getriebes berechnet werden.

In der Literatur sind zahlreiche Formeln bekannt, für die oberen drei Verlustleistungskomponenten zu berechnen, z.B. Produktkatalogen der Lager- und Dichtungsherstellern, oder [1]. Eine einfache Vorgehensweise zur die Ermittlung des Verzahnungswirkungsgrades (η_z) bieten Näherungsformeln, die mit lastabhängigen (P_{VP}) und lastunabhängigen Verlustkomponenten (P_{V0}) gekennzeichnet sind. In unserer Forschung wurden die von Nass [3] hergeleiteten auf Messungen basierenden Näherungsgleichungen verwendet. Mit deren Hilfe kann Verzahnungswirkungsgrad (η_z) aus im Versuch gemessenen An- (T_1) und Abtriebsmoment (T_2), der Schne-

Wirkungsgrad des Schneckengetriebes, Mineralöl ISO VG 150 $\vartheta_s=60^\circ\text{C}$

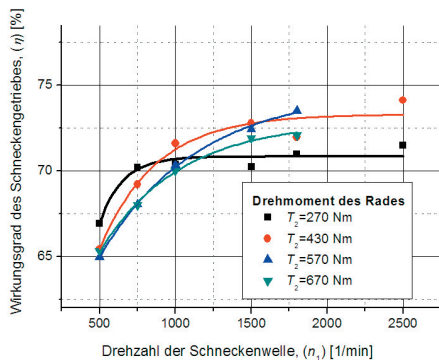


Abbildung 2. Ergebnisse der Wirkungsgradmessung bei dem Prüfling (Mineralöl, $\vartheta_s=60^\circ\text{C}$)

Der Verlauf der gemessenen Wirkungsgradkurven entspricht mit dem erwarteten theoretischen Verlauf. Die gemessenen Wirkungsgradwerte sind in praxisrelevanten Punkten über 70 %. Die Wirkungsgradwerte bei allen Drehzahlen sind trotz der verschiedenen Drehmomente innerhalb einer Spanne von +/-3%. Die Auswertung dieser Messergebnisse nach der oben geschriebenen Methode ergibt die in Abbildung 3 sichtbaren Zahnreibungszahlen.

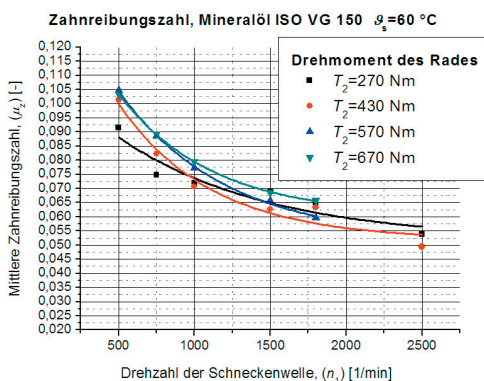


Abbildung 3. Mittlere Zahnreibungszahl des Prüfgetriebes bei verschiedenen Belastungen (Mineralöl, $\vartheta_s=60^\circ\text{C}$)

Die Zahnreibungszahl zeigt bei diesem Versuch höhere Werte, der maximale Wert liegt um 0,105 und das Minimum ist 0,05. Dies bedeutet einen größeren Festkörperreibungsanteil in der Mischreibung. Je größer die Drehzahl der Schneckenwelle ist, desto besser kann die kontaktierende Zahnflanke einen trennenden Schmierfilm aufbauen und die Zahnreibungszahl dadurch vermindern. Die Reibungskurven haben einen parallelen Verlauf, die kleineren Belastungen rufen niedrigere Zahnreibungszahlen vor.

Die Versuche wurden mit dem gleichen Mineralöl aber bei der Ölsumpftemperatur $\vartheta_s=80^\circ\text{C}$ wieder durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 zu sehen. Im Vergleich mit den Ergebnissen der vorigen Messungen sind die niedrigen Reibungszahlwerte bei höherer Temperatur gut erkennbar. Hintergrund der

kleineren Reibwerte kann die niedrigere innere Reibung des Schmierstoffes bei höherer Temperatur sein. Zwischen den oberen drei Ausgleichskurven ist kaum ein Unterschied festzustellen.

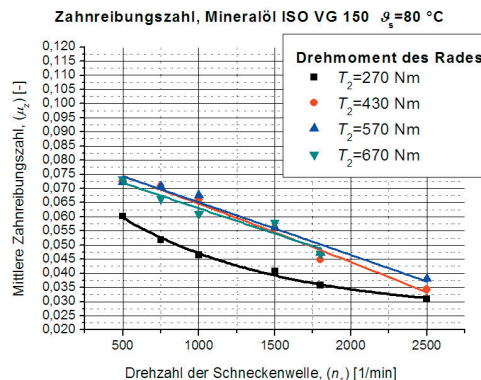


Abbildung 4. Mittlere Zahnreibungszahl des Prüfgetriebes bei verschiedenen Belastungen (Mineralöl, $\vartheta_s=80^\circ\text{C}$)

Um die Auswirkung des Schmierstoffes auf die Zahnreibungszahl erfassen zu können, wurden die Wirkungsgradmessungen auch mit einem deutlich zäheren Öl durchgeführt. Dazu wurde ein Polyalphaolefin mit der Viskositätsklasse ISO VG 1000 verwendet. Der Temperatureinfluss des Ölsumpfes auf die Zahnreibungszahl wurde auch bei den vorigen Ölsumpftemperaturen geprüft. Abbildung 5 zeigt die gemessenen Wirkungsgrade bei Ölsumpftemperatur $\vartheta_s=60^\circ\text{C}$.

Wirkungsgrad des Schneckengetriebes, PAO ISO VG 1000 $\vartheta_s=60^\circ\text{C}$

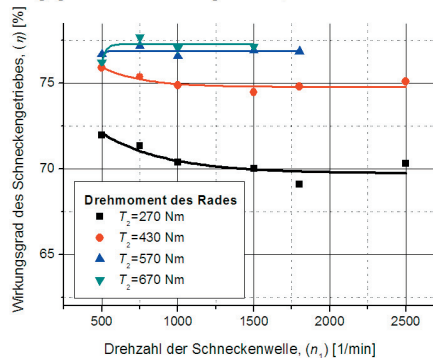


Abbildung 5. Ergebnisse der Wirkungsgradmessung bei dem Prüfling (Mineralöl, $\vartheta_s=80^\circ\text{C}$)

Die große innere Reibung des Schmierstoffes hatte einen großen Einfluss auf die Ergebnisse. Mit der Verwendung dieser Ölsorte konnte keine nennenswerte Wirkungsgradverbesserung erreicht werden. Dies stimmt mit den Erfahrungen von Laukotka überein [4]. Die mögliche Ursache sind die erheblich höheren Platschverluste. Der Verlauf der Ausgleichskurven ist quasi konstant.

Trotz der geringeren Wirkungsgradverbesserung ergab die Verwendung des PAOs eine wirksame Minderung der Zahnreibungszahl (s. Abb. 6) verglichen mit

den Ergebnissen der Abbildung 3. Bei dieser Ölsorte ruft die kleinere Belastung eine größere Reibungszahl hervor und umgekehrt.

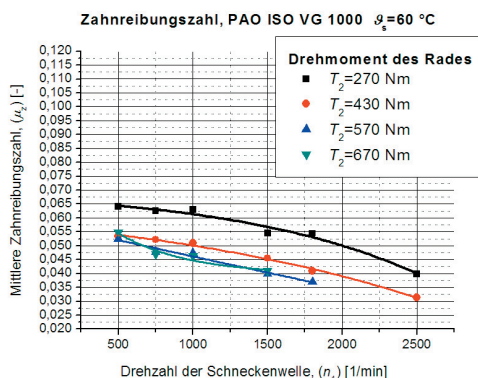


Abbildung 6. Mittlere Zahnreibungszahl des Prüfgetriebes bei verschiedenen Belastungen (PAO, $\vartheta_s=60^\circ\text{C}$)

Die Versuche wurden mit diesem Öl auch bei der Sumpftemperatur $\vartheta_s=80^\circ\text{C}$ wiederholt. Die Ergebnisse zeigt die Abbildung 7.

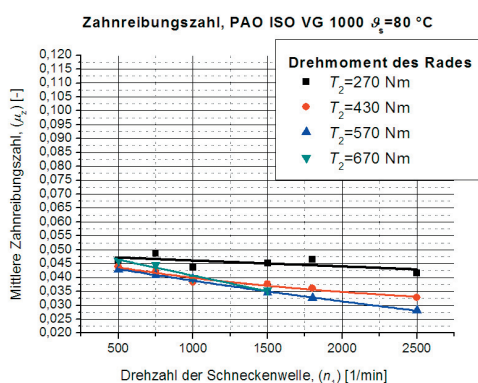


Abbildung 7. Mittlere Zahnreibungszahl des Prüfgetriebes bei verschiedenen Belastungen (PAO, $\vartheta_s=80^\circ\text{C}$)

Bei diesem Versuch wurden die kleinsten Reibungszahlen gemessen. Ihr Maximum ist um 0,05, ihr Minimum liegt bei 0,027. Die Ausgleichskurven bei den größeren Belastungen laufen fast identisch. Durch dieses hoch additivierte, zähe Synthetiköl konnte ein gut tragender Schmierfilm zwischen den Zahnflanken aufgebaut werden. Die höhere Temperatur des Schmierstoffes verursacht eine kleinere innere Reibung des Öles, so werden die Zahnreibungszahlen bei höherer Temperatur niedriger. Die Lebensdauer der Verzahnung kann mit der Verwendung dieses Öl auch bei dauerhaften großen Belastungen ausreichend sein.

7. ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Artikel wurden experimentelle Untersuchungen zur Zahnreibungszahlermittlung von Schneckengetrieben dargestellt. In verschiedenen Betriebspunkten wurden die Versuche mit zwei Ölsorten bei zwei Temperaturen durchgeführt. Mit dem vom Getriebehersteller empfohlenen Mineralöl wurden größere Reibungszahlen ermittelt. Mit dem hoch additivierten PAO sind Reibungszahlen deutlich niedriger, aber der Gesamtwirkungsgrad des Getriebes wurde nicht so stark verbessert, wegen der größeren Plantschverlustleistungen. Die Verwendung eines zähen Synthetiköles ist nur dann sinnvoll, wenn das Getriebe rund um die Uhr hochbelastet ist.

8. DANKSAGUNG

Hiermit möchten die Autoren dem Deutschen Akademischen Austausch Dienst für die finanzielle Unterstützung der Forscheraustausch auf dem gemeinsamen Forschungsgebiet „Untersuchung und Verbesserung der dynamischen Eigenschaften von Antriebssträngen“ danken. Der Ankauf der Prüflinge wurde durch das Projekt K62875 von Országos Tudományos Kutatási Alapprogram (OTKA) finanziell unterstützt. Unser Dank gilt auch OTKA.

9. LITERATUR

- [1] E DIN 3996:2005-08 Tragfähigkeitsberechnung von Zylinder-Schneckengetrieben mit sich rechtwinklig kreuzenden Achsen. Beuth-Verlag, Berlin, 2005.
- [2] Magyar, B.; Horák, P.: Csigahajtóművek veszteségeinek meghatározása ZK-típusú hajtópárok esetén. GÉP LIX 10-11. 2009, pp. 47-50
- [3] Nass, U.: Tragfähigkeitssteigerung von Schneckengetrieben durch Optimierung der Schneckenradbronze. Dissertation LMGK. Bochum, 1995.
- [4] Laukotka, E.: Schmierung von Schneckengetrieben und dafür geeignete Schmierstoffe. Tribologie + Schmierungstechnik 51. 1/2004, pp. 14-22