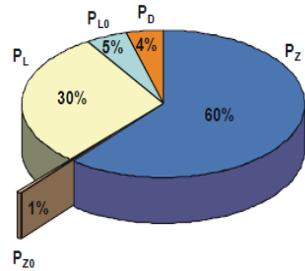


Ergebnisse der Verlustleistungs- berechnungen der Getriebe mit Hochverzahnung



Wieczorek, A.

Zusammenfassung: In der Arbeit wurden die Leistungsverluste eines einstufigen Stirnradgetriebes mit Hoch- und Standardverzahnung analysiert. Auf der Grundlage der durchgeführten Berechnungen wurde festgestellt, dass die Erhöhung der Verzahnungshöhe den Wirkungsgradverlust des Stirnradgetriebes zur Folge hat. Den geringsten Wirkungsgrad wies die Verzahnung mit der größten Verzahnungshöhe auf.

The study presents an analysis of power losses in a single-stage cylindrical gear with high-profile and standard-profile teeth. On the basis of the performed calculations, it has been found that increasing the height of teeth results in a decrease in the efficiency of the gear. The lowest efficiencies have the teeth with the highest tooth height.

1 Einführung

Die entstehende in einem Zahnradgetriebe Gesamtverlustleistung P_V /1,2/ kann man aus folgenden Gleichungen berechnen:

$$P_V = P_{zP} + P_{z0} + P_L + P_{L0} + P_D \quad (1)$$

P_V – Gesamtverlustleistung,

P_z – lastabhängige Verzahnungsverlustleistung,

P_{z0} – lastunabhängige Verzahnungsverlustleistung,

P_L – lastabhängige Lagerverlustleistung,

P_{L0} – lastunabhängige Lagerverlustleistung,

P_D – Dichtungsverlustleistung.

Die lastunabhängigen Verzahnungsverluste setzen sich aus den Anteilen zusammen:

- Planschens P_{pI} ,
- Quetschens P_Q ,
- Ventilation P_{vV}
- Ölbeschleunigung P_B

Die lastunabhängigen Verzahnungsverluste P_{Z0} berechnet man aus der Gleichung:

$$P_{Z0} = P_{PL} + P_Q + P_B + P_{VV} \quad (2)$$

P_{PL} – Planschverlustleistung

P_Q – Quetschverlustleistung

P_B – Ölbeschleunigungsverlustleistung

P_{VV} – Ventilationsverlustleistung

Bild 1 zeigt die Verlustanteile für ein einstufiges Stirnradgetriebe mit Tauchschmierung bei einer Umfangsgeschwindigkeit von 16 m/s. Bei bezüglich der Leerlaufverluste günstigen Betriebszuständen, d.h. bei kleinen Eintauchtiefen oder kleinen Einspritzmengen, betragen die lastunabhängigen Verzahnungsverluste etwa 1% der Gesamtverluste einer Stirnradstufe. Bei ungünstigen Betriebszuständen, d.h. bei großen Eintauchtiefen oder Einspritzmengen und sehr kleinen Umfangsgeschwindigkeiten, können die lastunabhängigen Verzahnungsverluste bis auf ca. 15% der Gesamtverluste ansteigen. Dabei dominieren dann die Quetschmomente mit einem Anteil von ca. 80% an den lastunabhängigen Verzahnungsverlusten (**Bild 2**) /2/.

Diese Themen wurden breiter in die Literatur /3-7/ diskutiert.

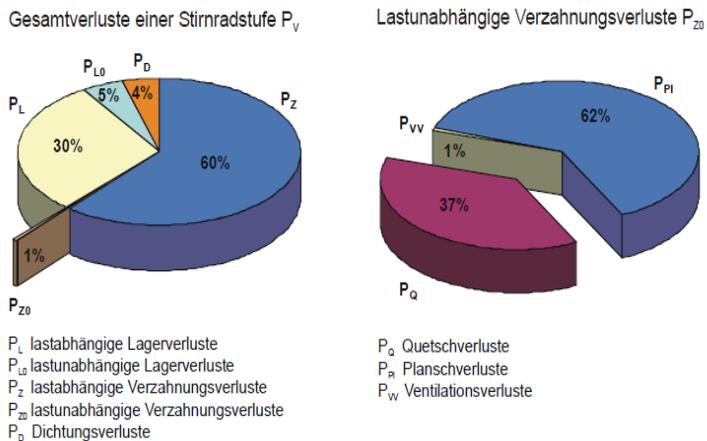


Bild 1: Verlustanteile eines einstufigen Stirnradgetriebes bei günstigem Betriebszustand /2/

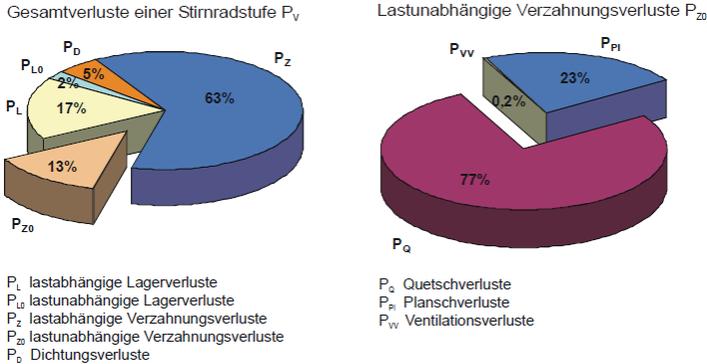


Bild 2: Verlustanteile eines einstufigen Stirradgetriebes bei ungünstigem Betriebszustand /2/

2 Ziel des Arbeit

Hochverzahnungen weisen viele Vorteile auf, vor allem besitzen sie gute vibroakustische Eigenschaften /10-14/.

Um eine vollständiger funktionale Bewertung dieser Verzahnungen durchzuführen, wurde auf der Grundlage von Berechnungen der Einfluss der Verzahnungshöhe auf den Wirkungsgrad von Zahnradgetrieben analysiert. Die Ergebnisse dieser Berechnungen wurden in dieser Arbeit vorgestellt.

3 Ergebnisse des Berechnungen

Der Einfluss der Verzahnungshöhe wurde am Beispiel eines einstufigen Stirradgetriebes bestimmt. Für die Bestimmung dieser Verluste wurde die in der Arbeit [8] vorgestellte Berechnungsmethodik angewandt.

Die Wirkungsgradberechnungen des Getriebes wurden unter folgenden Annahmen durchgeführt:

- Leistung $P=100$ kW,
- Drehzahl $n_1=1450$ min⁻¹,
- Modul $m=4$ mm,
- Zähnezahsverhältnis $u=1$,
- Eingriffswinkel $=20^\circ$,
- Einspritzschmierung mit Renolin CLP 320 (f. FUCHS).

Bild 3 zeigt die Ergebnisse der Wirkungsgradberechnungen mit Berücksichtigung des Zahnkopfhöhenfaktor-Wertes im Bereich $h_a=1 \div 1,3$ des Moduls. Auf diesem Bild ist deutlich zu sehen, dass die Erhöhung der Verzahnungshöhe den Wirkungsgradverlust des Zahnradgetriebes zur Folge hat. Den geringsten Wirkungsgrad weist die Verzahnung mit der größten Verzahnungshöhe ($h_a=1,3$ m) auf. Erst bei einer großen Anzahl der Ritzelzähne ($z_1 \approx 100$) nähert sich der Wirkungsgrad der Hochverzahnungen dem Wirkungsgrad der Standardverzahnungen an.

Identische Folgerungen kann man aus dem **Bild 4** ziehen, wo die Leistungsverlustunterschiede zwischen Getrieben mit Hochverzahnung und Getrieben mit Standardverzahnung dargestellt wurden.

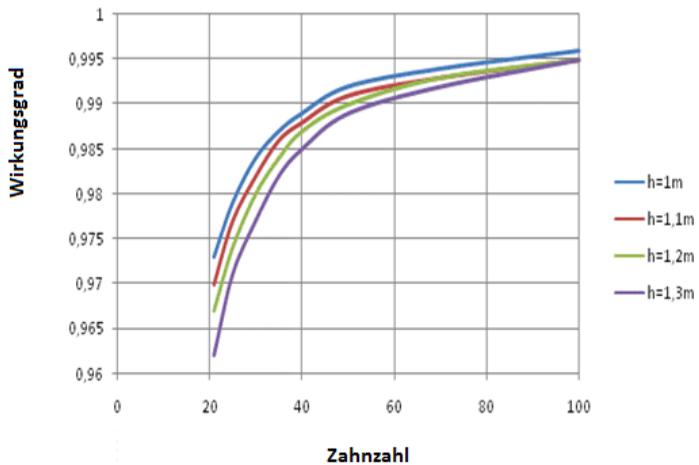


Bild. 3: Ergebnisse der Berechnungen von Getriebewirkungsgraden mit Berücksichtigung des Zahnkopfhöhenfaktor-Wertes im Bereich $h_a=1-1,3$ des Moduls.

4 Zusammenfassung

Seit vielen Jahren spielt die Erhöhung der Lebensdauer von Zahnradgetrieben eine enorme Rolle bei der Entwicklung neuer konstruktiven Lösungen. Einer der Lösungsansätze, die die Verlängerung der Lebensdauer zum Ziel haben, ist die Verringerung von dynamischen Belastungen im Getriebe. Zu den Lösungen, die dabei angewendet werden, gehört unter anderem die Erhöhung des Stirnüberde-

ckungsgradfaktors. Die Erhöhung der Werte dieses Indikators wird durch die Anwendung von sogenannten Hochverzahnungen erreicht. Hochverzahnungen besitzen im Vergleich zu Standardverzahnungen bessere vibroakustische Eigenschaften, beim Einsatz von Hochverzahnungen sind jedoch Wirkungsgradverluste des Zahnradgetriebes zu erwarten.

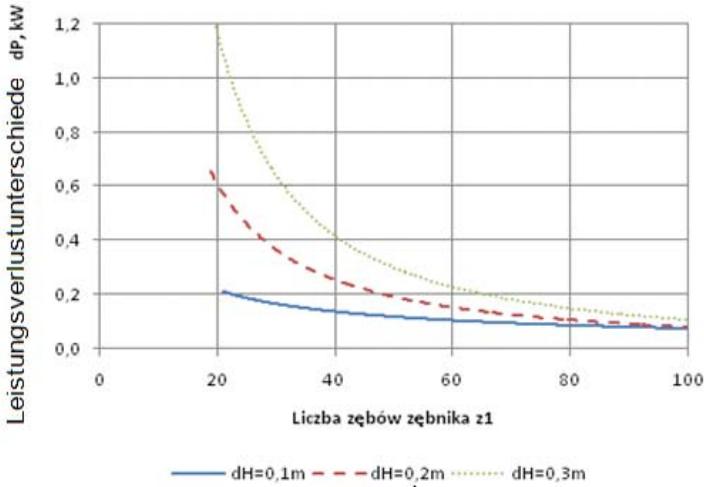


Bild. 4: Leistungsverlustunterschiede dP zwischen Getrieben mit Hochverzahnung und Getrieben mit Standardverzahnung, die bei einer Leistung von $P=100$ kW bestimmt wurden.

In der Arbeit wurden die Leistungsverluste eines einstufigen Stirnradgetriebes mit Hoch- und Standardverzahnung analysiert. Auf der Grundlage der durchgeführten Berechnungen wurde festgestellt, dass die Erhöhung der Verzahnungshöhe den Wirkungsgradverlust des Stirnradgetriebes zur Folge hat. Den geringsten Wirkungsgrad, und damit die größten Verluste, weist die Verzahnung mit der größten Verzahnungshöhe ($h_a=1,3$ m) auf.

Den Wirkungsgradverlust der Hochverzahnungen bestätigen die Ergebnisse der Temperaturmessungen des Öls, das das untersuchte Getriebe schmiert, was in der Arbeit [9] vorgestellt wurde. Die Temperaturmessungen zeigten auf, dass sich das Öl, das das Getriebe mit Hochverzahnung schmiert stärker erhitzt, und seine Temperatur damit höher ist, als bei dem Fall der Getriebe mit Standardverzahnung.

5 Literatur

- /1/ Niemann G., Winter, H.: Maschinenelemente, Bd. 1-3, Springer Verlag, Berlin / Heidelberg / New York, 1989.
- /2/ Strasser D.: Einfluss des Zahnflanken- und Zahnkopfspieles auf die Leerlaufverlustleistung von Zahnradgetrieben, Diss. Ruhr-Universität Bochum, 2005.
- /3/ Butsch M.: Hydraulische Verluste schnelllaufender Stirnradgetriebe, Diss. Universität Stuttgart, 1989.
- /4/ Dick A.: Untersuchungen zu den Leerlaufverlusten eines einspritzgeschmierten Stirnradgetriebes, Diss. Universität Stuttgart, 1989.
- /5/ Maurer J.: Lastunabhängige Verzahnungsverluste schnelllaufender Stirnradgetriebe, Diss. Universität Stuttgart, 1994.
- /6/ Mauz W.: Hydraulische Verluste von Stirnradgetrieben bei Umfangsgeschwindigkeiten bis 60 m/s, Diss. Universität Stuttgart, 1987.
- /7/ Walter P.: Untersuchungen zur Tauchschmierung von Stirnrädern bei Umfangsgeschwindigkeiten bis 60 m/s, Diss. Universität Stuttgart, 1982 .
- /8/ Leimann O.: Wärmeentstehung und Wärmeabfuhr bei Getrieben. Pektun Verlag, Iserlohn 1982.
- /9/ Wieczorek A.: Untersuchungen thermischen Verhalten der Getrieben mit Standard- und Hochverzahnungen. IMW - Institutsmittteilung Nr. 33 (2008).
- /10/ Wieczorek A., Kruk W., Joostberens J.: Lärm- und Schwingungsminderung durch Änderung der Zahnhöhe in Stirnzahnradgetriebe. IMW - Institutsmittteilung Nr. 31 (2006).
- /11/ Wieczorek A, Skoć A.: Untersuchungen dynamischen Verhalten der Getrieben mit Standard- und Hochverzahnungen. IMW - Institutsmittteilung Nr. 32 (2007).
- /12/ Weck M, Lachenmaier S.: Auslegung evolventischer Sonderverzahnungen für schwingungs- und geräuscharmen Lauf. Industrie-Anzeiger, 105/1983.
- /13/ Weck M.: Moderne Leistungsgetriebe. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1995.
- /14/ Lachenmaier S.: Auslegung von evolventischen Sonderverzahnungen von Schwingungs- und geräuscharm Lauf von Getrieben. VDI-Forschungsberichte Reihe 11, Nr. 54; Düsseldorf 1983. Diss. RWTH Aachen.