Kurzfassung Dissertation Michael Otto, 2009

Lastverteilung und Zahnradtragfähigkeit von schrägverzahnten Stirnrädern

Gegenstand dieser Arbeit ist die Ermittlung der Zahnradtragfähigkeit in Stirnradgetrieben auf Basis der örtlichen Lastverteilung. Besondere Aufmerksamkeit wird der Zahnfußspannungsberechnung sowie deren Absicherung durch Bestimmung der Zahnfußtragfähigkeit von Schrägverzahnungen im Laufversuch gewidmet.

Da die Tragfähigkeitsverfahren auf die örtliche Lastverteilung im Zahnkontakt aufbauen, wird die nach dem Stand des Wissens verwendete Berechnungsmethode umfassend dokumentiert. Die Nachgiebigkeit der Verzahnung wird mittels kontinuumsmechanischer Ansätze erfasst. Der Übergang von einem ebenen Formänderungszustand in Zahnmitte zu einem ebenen Spannungszustand im Randbereich der Flanke wird durch erhöhte Nachgiebigkeit im Bereich der Stirnseiten und des Zahnkopfes berücksichtigt. Die unterschiedliche Nachgiebigkeit der spitzen und der stumpfen Stirnseite bei Schrägverzahnungen wird in Abhängigkeit des Schrägungswinkels mit empirisch ermittelten Faktoren in die Einflusszahlen eingebracht. Örtliche Abweichungen von der Evolvente durch Fertigungsungenauigkeiten oder Flankenkorrekturen können vorgegeben werden. Aus der erhaltenen Lastverteilung wird die Verteilung der örtlichen Flankenpressung, der Kontakttemperatur und Schmierfilmdicke berechnet. Über die Bestimmung von Biegemomenteneinflusszahlen wird aus der Lastverteilung eine Zahnfußbiegemomentenverteilung berechnet. Die Bestimmung des Hebelarms und der Kerbwirkung der Zahnfußrundung erfolgt hier im Normalschnitt. Aus dem Zahnfußbiegemoment kann in Anlehnung an die Vorgehensweise der ISO 6336 die örtliche Zahnfußspannung berechnet werden.

Die Nachgiebigkeiten der Wellen und auch der Wälz- oder Gleitlagerungen werden berücksichtigt.

Auf Basis der örtlich an der Oberfläche ermittelten Beanspruchungen werden Tragfähigkeitsnachweise gegen die Schadensformen Graufleckenbildung, Grübchenbildung und Zahnfußbruch beschrieben

Die dargestellten Rechenmethoden werden an vorliegenden Versuchsergebnissen abgesichert. Dazu werden Nachrechnungen von früheren Versuchen zu Zahnverformung, Lastverteilung und Zahnfußbeanspruchung herangezogen. Es zeigt sich gute Übereinstimmung der Ergebnisse nach RIKOR-3D mit dokumentierten Messergebnissen. Das vorgeschlagene Verfahren wird dadurch gestützt. Auch die Übereinstimmung zwischen den rechnerischen Tragfähigkeiten auf Basis der örtlichen Lastverteilung und den Versuchsergebnissen ist gut.

Es werden Laufversuche zur Zahnfußtragfähigkeit von Schrägverzahnungen durchgeführt, um die Zahnfußspannungsberechnung nach RIKOR-3D abzusichern. Die Aussagen aus früheren Arbeiten bestätigen sich. Verzahnungen mit großem Schrägungswinkel und kleiner Profilüberdeckung erhalten nach ISO 6336 Zahnfußspannungen, die deutlich unterhalb der Ergebnisse von RIKOR-3D liegen. In den Laufversuchen zeigte sich, dass RIKOR-3D den Einfluss der Verzahnungshauptgeometrie auf die Zahnfußspannung gut abbildet.

Es wird eine normfähige Erweiterung der bestehenden ISO 6336 im Bereich Zahnfußtragfähigkeitsberechnung vorgeschlagen. Die vorgeschlagene Methode wird im Rahmen einer Parameterstudie mit RIKOR-3D verglichen. Die Erweiterung führt zu guter Übereinstimmung der rechnerischen maximalen Zahnfußspannungen mit RIKOR-3D.