

Lokale Zahnfußtragfähigkeit von Stirnrädern bei Biegewechselast

Die Biegewechselbeanspruchung im Zahnfuß führt zu einer deutlichen Minderung der Zahnfußtragfähigkeit. Bestehende Untersuchungen haben v.a. in Pulsatorversuchen die Biegewechselast von Geradverzahnungen fokussiert und globale Einflussfaktoren für die Biegewechselast formuliert bzw. bestätigt. Die Anwendbarkeit dieser Formulierungen auf Schrägverzahnungen ist nicht verifiziert. Durch die Einführung eines Schrägungswinkels ergeben sich im Vergleich zu Geradverzahnungen variable Spannungsverhältnisse über der Zahnbreite. Die hieraus resultierenden Beanspruchungskonfigurationen entsprechen nicht dem aus Geradverzahnungen bekannten, über der Zahnbreite konstanten Beanspruchungsfall, sodass eine direkte Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Schrägverzahnungen erschwert ist. Zur Beschreibung des Einflusses der Biegewechselast auf die Zahnfußtragfähigkeit von Schrägverzahnungen ist daher eine isolierte Betrachtungsweise erforderlich, in der nur dieser Beanspruchungsfall unter Ausschluss weiterer Einflussgrößen untersucht wird.

In dem Forschungsvorhaben „Lokale Zahnfuß-tragfähigkeit von Stirnrädern bei Biegewechsel-last“ wurde im Speziellen der Schrägungswinkeleinfluss auf die Ausprägung lokaler, über der Zahnbreite veränderlicher Zahnfußspannungen unter Wechselasteinfluss simulativ und experimentell untersucht. Hierzu wurde mit einem innovativen Biegewechselastprüfstand ein neuartiges Prüfkonzept zur isolierten Untersuchung des Wechselasteinflusses eingesetzt. Es wurden drei Prüfverzahnungen ausgelegt und gefertigt, die den Schrägungswinkeleinfluss auf die örtliche Biegewechselfestigkeit isoliert betrachtbar machen. Die Berechnung der örtlichen Spannungsverteilungen auf der Zug- und Druckseite der Verzahnung wurde anhand der Erweiterung einer etablierten FE-basierten Zahnkontaktanalyse (STIRAK) durchgeführt. Darüber hinaus wurde die Zahnfußspannungsberechnung von STIRAK durch eine DMS-Messkampagne mit verschiedenen Mikrogeometrien, die auf ein schrägverzahntes Stirnrad aufgebracht wurden, erfolgreich validiert.

■ Makrogeometrie

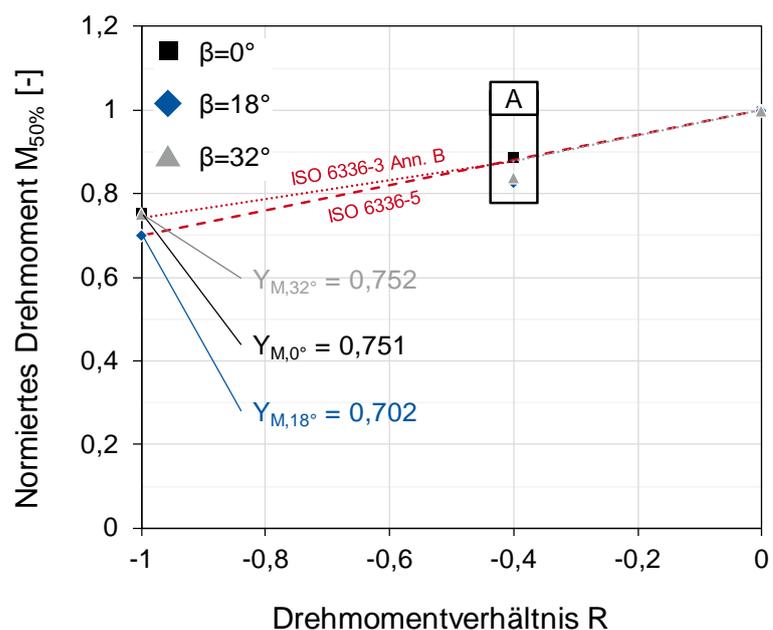
- $m_n = 1,7 \dots 2,0 \text{ mm}$
- $z_{1/2} = 45 / 68$
- $b = 16,5 / 30 \text{ mm}$
- $\alpha_n = 17 \dots 20^\circ$
- $\beta = 0 \dots 32^\circ$
- $d_{a,1/2} = 92,8 / 140,2 \text{ mm}$
- $a = 112,5 \text{ mm}$

■ Korrekturen

- $C_\beta = 2,5 / 2,5 \mu\text{m}$
- $C_{a,1/2} = 10 / 10 \mu\text{m}$
- $d_{k1/2} = 91,48 / 138,74 \text{ mm}$
- linear, tangentialer Übergang

■ Betriebsbedingungen

- Einspritzschmierung
- Rhenolin R220
- $T_{Öl} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$
- $n_1 = 2800 \text{ min}^{-1}$
- $N_G = 10 \cdot 10^6 \text{ Lastwechsel}$



Das gesetzte Ziel des Forschungsvorhabens ist ein lokaler Berechnungsansatz für die Zahnfußtragfähigkeit von Zahnrädern unter Biege-wechselast insbesondere für Schrägverzahnungen, der erfolgreich entwickelt werden konnte. Der durch die Zahnfußtragfähigkeitsuntersuchungen am Biege-wechselast-Verspannungsprüfstand validierte Berechnungsansatz ermöglicht es, die im Zahnfuß vorliegenden lokalen Zahnfußspannungen in einen normfähigen Wechselastfaktor zu überführen, sodass dieser in künftigen Auslegungen im Rahmen der Berechnungsvorschriften nach ISO 6336 genutzt werden kann. Die Zahnfußtragfähigkeitsuntersuchung zeigen weiterhin, dass die betrachteten Schrägverzahnungsvarianten ein von den bisher untersuchten Geradverzahnungen abweichendes Wechselasttragfähigkeitsverhalten. Zu betragsmäßig höheren Drehmoment- und Zahnfußspannungsverhältnissen nimmt die Tragfähigkeits-minderung einen degressiven Verlauf an, der bei der betrachteten Geradverzahnung nicht festgestellt werden konnte, siehe Detail A im Bild. Damit konnte neben dem Werkstoffeinfluss ebenfalls ein Geometrieinfluss auf die Mittelspannungsempfindlichkeit nachgewiesen werden. Eine Parameterstudie bestätigt weiterhin die nichtkonstante Wechselastempfindlichkeit von Verzahnungen in Abhängigkeit des Schrägungswinkels. Die Ergebnisse dieses Vorhabens stellen erstmals eine beträchtliche Datenbasis zur Wechselast-Zahnfußtragfähigkeit von schräg-verzahnnten Stirnrädern dar und liefern die Werkzeuge für weitergehende, detaillierte Betrachtungen der Zahnfußtragfähigkeit bei Biege-wechselast für unterschiedliche Werkstoffsysteme sowie Zahnradgeometrien.

Autoren: Jonas Pollaschek, RWTH Aachen Werkzeugmaschinenlabor, Aachen

Christian Weber, TU München Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebebau, FZG, Garching

Kontakt: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA),
Dirk Arnold
T 069- 66 03- 16 32

Das IGF-Vorhaben IGF-Nr. 18085 N der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) 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.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Hintergrundinformationen zur FVA

Die FVA ist das weltweit führende Innovationsnetzwerk der Antriebstechnik. Die 170 laufenden Projekte der industriellen Gemeinschaftsforschung fördern die Innovationsfähigkeit der Industrie im Bereich der Antriebstechnik und ist an den wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen ein wichtiger Beitrag zur Ausbildung von Jungingenieuren in und für die Branche. Die 204 Mitgliedsfirmen sind produzierende Unternehmen aus der Antriebstechnikbranche. Zusammen mit den über 40 Forschungsinstituten bildet die FVA die Basis für das weltweit führende Netzwerk der Antriebstechnik.

Die FVA versteht sich als eine wichtige Plattform der Kommunikation und des Wissenstransfers zwischen Wissenschaft und Industrie. Themenfelder sind die mechanische und die elektrische bzw. mechatronische Antriebstechnik, sowohl von stationären industriellen Anlagen als auch von Fahrzeugen, mobilen Maschinen und Luftfahrzeugen. Die Gemeinschaftsforschung hat zum Ziel, das technische Know-how der Unternehmen und die Qualität ihrer Produkte zu verbessern und die Produktionskosten zu senken.

Informationsveranstaltungen, Seminare und Tagungen der Forschungsvereinigung bieten den Unternehmen die Möglichkeit, neueste Forschungsergebnisse anzuwenden und Mitarbeiter entsprechend aus- und weiterzubilden.

Weitere Informationen unter www.fva-net.de.