

Gleichmässigkeit zur Leistungssteigerung

Schäfer, G.

Die ungleichmässige Lastverteilung in formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen schränkt deren Übertragungsfähigkeit stark ein, da immer auf die höchstbeanspruchteste Stelle dimensioniert werden muss. Durch gezielte geometrische Korrekturen an den Formelementen kann das unterschiedliche Verformungsverhalten von Wellen und Naben ausgeglichen werden. Der Grundgedanke und die rechnerische Auslegung werden am Beispiel einer Zahnwellen-Verbindung beschrieben

Shaft-hub connections are often restrained by the non uniform load distribution. The calculation is focused on the peak of stress. The correction of the geometry may lead to a well-balanced connection regarding to load and elastic deformation. The fundamental idea and calculation will be described using a spline connection as example.

1 Einleitung

Der Anlass für diesen kurzen Aufsatz sind Überlegungen zur Lastverteilung in Zahnwellen-Verbindungen von Herrn Huber, die dem Autor im Rahmen des DIN-Normenausschusses AA 2.7 „Berechnung von Zahn- und Keilwellen-Verbindungen“ überreicht wurden. Herr Huber ist pensionierter Mitarbeiter der John Deere Werke in Mannheim und ältestes Mitglied im DIN-Ausschuss AA 2.7. Herr Huber hat in seiner langjährigen Tätigkeit als Konstruktions- und Berechnungsingenieur vor etwa 25 Jahren eine Flankenlinienkorrektur zur gezielten Reduzierung von Lastüberhöhungen an der Drehmoment-Einleitungsseite der Verbindung (vgl. **Bild 1**) erstmalig vorgeschlagen.

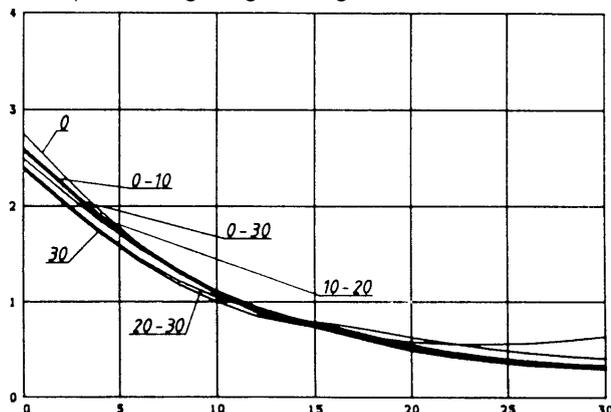


Bild 1: Lastüberhöhung an der Einleitungsseite

Aufbauend auf diesen Gedanken wird derzeit am Institut für Maschinenwesen die geometrische Berechnung der Flankenlinienkorrektur erweitert und der rechnerische Nachweis der Tragfähigkeitssteigerung mit den heute üblichen FEM-Berechnungen vorbereitet. Der experimentelle Nachweis der Wirksamkeit dieser Massnahme soll auf den Verspannungsprüfständen des Instituts zusätzlich erbracht werden.

1.1 Problemstellung

Für Zahnwellen-Verbindungen gibt es zwei wesentliche Ausfallkriterien. Dies sind zum einen der Flankenreibverschleiß und zum anderen die Gestaltfestigkeit von Welle und Nabe. Die Verschleißursachen wurden in dem FVA-Vorhaben Nr. 99 am IMW untersucht. Die Gestaltfestigkeit wurde ebenso am IMW in DFG-Vorhaben untersucht. Das in Bild 1 dargestellte Ergebnis gehört zu den DFG-Vorhaben.

Die Ergebnisse dieser beiden großen Untersuchungsprogramme wurden in Form der DIN 5466 Teil 1 und 2 /1, 2/ in eine Berechnungsvorschrift eingebracht. Aufgrund der in DIN 5480 /3/ genormten Geometrie kommt es aber immer wieder zu Schadensfällen mit folgendem Erscheinungsbild (vgl. **Bild 2**).

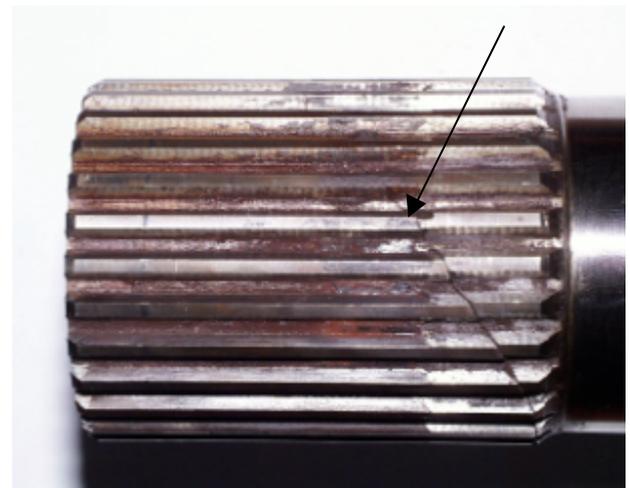


Bild 2: Torsionsbruch einer Zahnwelle an der Lasteinleitungsseite beginnend (Pfeil)

Es handelt sich hierbei um einen Torsionsbruch, dessen Ausgangsort an der Lasteinleitungsseite

der Verbindung im Zahnfuß liegt. Für die Behebung dieses Problems gibt es mehrere Wege, die auch kombiniert genutzt werden können. Eine Vergrößerung der Zahnfußausrundung bis hin zur vollen Abrundung reduziert die Kerbwirkung deutlich. Die Einbringung von Druckeigenstressungen, z.B. durch eine umformtechnische Herstellung, bringt Spannungsreserven in diesen gefährdeten Bereich. Die beiden genannten Möglichkeiten wirken über der gesamten Verbindungsbreite und ändern nichts an der grundsätzlichen Belastungsverteilung nach Bild 1. Die Ausnutzung einer solchen Verbindung ist optimierbar mit dem Ziel der gleichmässigen Lastverteilung über der Verbindungsbreite.

2 Lösungsansatz

Die lokale Spannungsüberhöhung an der Lasteinleitungsseite hat ihre Ursache in den nicht abgestimmten Verformungen der beiden Kontaktpartner Welle und Nabe. In vielen Fällen ist eine vollständige Abstimmung der Verformungen nicht möglich, was allein schon an den unterschiedlichen Torsionswiderstandsmomenten von Welle und Nabe liegen kann. Die Lösung dieses Problems ist die geometrische Anpassung der Flankenlinien unter Betriebslast. Das heisst, die Flankenlinien der Torsionsbeanspruchten Welle sollen unter Last ideale gerade Flankenlinien sein, da die Nabe dabei als ideal steifer Partner angenommen wird, was in erster Näherung vertretbar ist. Die Verteilung der Betriebslast wird dazu entsprechend der Zielvorstellung als konstant über der Verzahnungsbreite angenommen. Die Flankenlinien der lastfreien Welle müssen dazu die Gestalt der negativen Torsionsbiegeline erhalten (vgl. Bild 3).

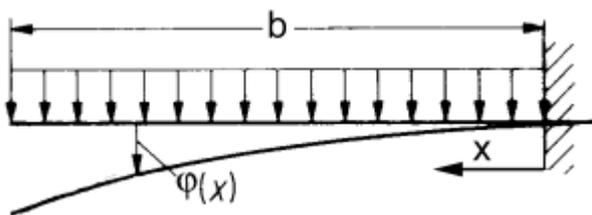


Bild 3: Torsionsbiegeline bei konstanter Flankenlast als Aufsicht (x ist Achsrichtung)

2.1 Berechnung der Flankenlinie

Die Berechnung der Flankenlinie erfolgt nach den Ansätzen zur Berechnung der Torsionsverformung, die in /4/ und /5/ wiedergegeben sind.

Für ein vereinbarungsgemäss kontinuierlich über der Verbindungsbreite b verteiltes Drehmoment T berechnet sich der Verdrehungswinkel $\varphi(x)$ nach folgender Formel:

$$j(x) = \frac{1}{G \cdot I_p} \int M_t(x) dx$$

$$\text{mit } M_t(x) = \frac{T}{b} \cdot x$$

$$j_{\max} = \frac{T \cdot b}{2 \cdot G \cdot I_p}$$

Der Werkstoff und das polare Widerstandsmoment sind dabei über der Verbindungsbreite als konstant angenommen worden, was in den meisten Anwendungsfällen zutreffend ist. Aus dem Verdrehungswinkel kann die Flankenrücknahme bezogen auf den Flankenmittenradius abhängig von der Verzahnungsbreitenkoordinate x berechnet werden.

3 Zusammenfassung

Die verformungsbezogene Flankenlinienkorrektur erlaubt es eine gleichmässige Flächenpressung über der Verbindungsbreite einzustellen. Auf diese Weise kann eine deutliche Tragfähigkeitssteigerung der Verbindung erreicht werden. Die Kontur kann mit den üblichen Fertigungsverfahren hergestellt werden und ist mit weiteren tragfähigkeitssteigernden Massnahmen kombinierbar. Bei vergleichbarer Übertragungsfähigkeit ergeben sich deutlich niedrigere Flankenpressungswerte, die sich positiv auf das Betriebs- und Verschleissverhalten auswirken.

4 Literatur

- /1/ DIN 5466-1: Tragfähigkeitsberechnung von Zahn- und Keilwellen-Verbindungen, Grundlagen, Beuth Verlag, Berlin 2000
- /2/ DIN 5466-2E: Tragfähigkeitsberechnung von Zahn- und Keilwellen-Verbindungen, Zahnwellen-Verbindungen nach DIN 5480 (Gelbdruck), Beuth Verlag, Berlin 2000
- /3/ DIN 5480-1: Zahnwellen-Verbindungen mit Evolventenflanken, Grundlagen, Beuth Verlag, Berlin 1998
- /4/ Beitz, W.; Küttner, K.-H.: Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer-Verlag Berlin, 16. Auflage 1987
- /5/ Issler, L.; Ruoß, H.; Häfele, P.: Festigkeitslehre - Grundlagen, Springer-Verlag Berlin, 1995