

FVA 467 II Tragfähigkeit von Zahnwellenver- bindungen unter praxisnahen Bedingungen – Zwischenergebnisse



Nangue, A.

Aufgrund von unterschiedlichen Schadensfällen an Zahnwellenverbindungen aus der Industrie wurde deutlich, dass erheblicher Forschungs- und Informationsbedarf zum Kerbeinfluss sowohl im Bereich des Verzahnungsauslaufs als auch in der Verbindung selbst existieren und speziell KMUs keine aufwendige Untersuchungen zur bauteilbezogenen Gestaltfestigkeit durchführen können. In dem laufenden Forschungsvorhaben wird der Kerbeinfluss wohl numerisch als auch experimentell untersucht und die daraus gewonnenen Ergebnisse vorgestellt.

Due to different cases of damage in shaft hub connections occurring in the industry, the necessity of further researches and information about the notch effect in the shaft hub connection as well as in the spline fillet has increased tremendously. Furthermore a lot of SMEs cannot afford expensive experiments in this area. The experimental and numerical examination of the notch effect in shaft hub connections constitutes the core of the currently running research project and the results obtained will be presented.

1 Motivation

Für die Berechnungen der Ermüdungsfestigkeit insbesondere von Zahnwellenverbindungen besteht der Wunsch, die gegenwärtig in den Berechnungsrichtlinien (DIN 5466 [3], DIN 743 [2]) angegebenen Empfehlungen zur Abschätzung der Kerbwirkung zu überprüfen bzw. zu präzisieren. Die Angaben der o.g. Richtlinien weisen Unstimmigkeiten auf und berücksichtigen den Einfluss einiger geometrischer Größen (Auslaufgeometrie) bei den Berechnungen nicht mit. Im Vorgängervorhaben FVA 467 I [5] wurden deshalb numerische und experimentelle Untersuchungen zur Kerbwirkung

bei Zahnwellen (Evolventenverzahnung DIN 5480 [4]) durchgeführt. Zur Validierung der an der TU Dresden durchgeführten numerischen Untersuchungen wurden experimentelle statische Untersuchungen sowie dynamische Dauerfestigkeitsversuche an Verbindungen gemäß DIN 5840 unter reiner schwellender Torsion und reiner wechselnder Biegung an der TU Clausthal durchgeführt. Für den Bereich der Torsionsbelastung konnte eine gute Übereinstimmung von den theoretisch und experimentell bestimmten Kerbwirkungszahlen erreicht werden. Für Empfehlungen von Biegeform- und Biegekerbwirkungszahlen reichten die Ergebnisse jedoch nicht aus. Insbesondere für die Überlagerung von Torsion und Biegung in praxisrelevanten Größenordnungen fehlen Aussagen, da durch die veränderten Lastverteilungsverhältnisse die bisherigen Resultate nicht übertragen werden können.

2 Probleme und Ziele

Das Ziel des Vorhabens ist die Ergänzung, Überprüfung und Vervollständigung vorhandener Unterlagen für die praktische Anwendung verallgemeinerungsfähiger Spannungsformzahlen und Kerbwirkungszahlen an Zahnwellen unter typischen Einsatzbedingungen.

Als Ergebnis des Fortsetzungsvorhabens werden Einflüsse von:

- kombinierter Belastung (Biegung und Torsion)
- Geometrievariation der Verbindung sowie von Welle und Nabe
- verfestigten Oberflächen (einsatzgehärtet, gewalzt)
- Verlagerung/Neigung/Versatz der Welle (mit Empfehlungen zu zusätzlichen anzusetzenden Belastungen) und der daraus resultierenden Lastverteilung

auf die Tragfähigkeit von Zahnwellenverbindungen künftig erfassbar sein.

Die theoretischen Untersuchungen werden vor allem mit der Finite-Elemente-Methode am Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion (IMM) der Technischen Universität Dresden durchgeführt. Infolge der komplexen Geometrie der Zahnwelle bzw. der Zahnwellenverbindung sind 3D-FEM-Volumenmodelle für die numerischen Untersuchungen notwendig. Für die Torsionsbelastungen (gilt auch für Zug/Druck) ist als Modell ein Profilsegment der Welle wie in Abbildung 1 ausreichend. Der Grund dafür ist die Spannungs-

verteilung, da die Symmetriebedingungen durch entsprechende Rand- und Nebenbedingungen sehr gut nachgebildet werden

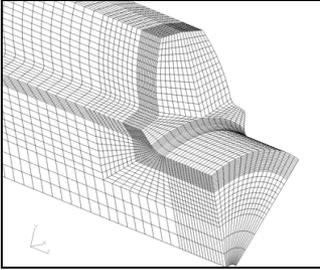


Abbildung 1: FE-Modell eines Profilssegments

3 Experimentelle Ergebnisse

Die Untersuchungen mit schwellenden Torsionsbelastungen an den einsatzgehärteten Prüflingen mit kleinen Bezugsdurchmesser aus 17CrNi6-6 sind abgeschlossen und stellten folgende Einflüsse bezüglich der Variation der Auslauform in Abbildung 2 der gefrästen Verzahnungen nach DIN 5480-25x1,75x13 fest:

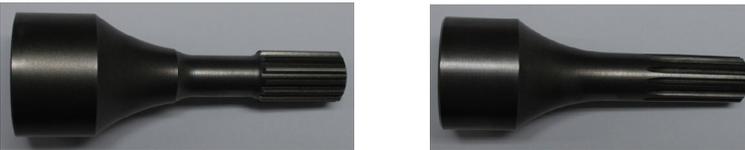


Abbildung 2: Freie (links) und gebundene (rechts) Auslauform der Verzahnung

Grundsätzlich gilt unabhängig von der Auslauform beim Vergleich der Prüflinge: Bei gleicher Fertigungsart liegen in Abbildung 3 und in Abbildung 4 die Zeitfestigkeitsgeraden der einsatzgehärteten Prüflinge aus 17CrNi6-6 deutlich über denen der blindgehärteten aus dem gleichen Material sowie der vergüteten Prüflinge aus 42CrMo4V.

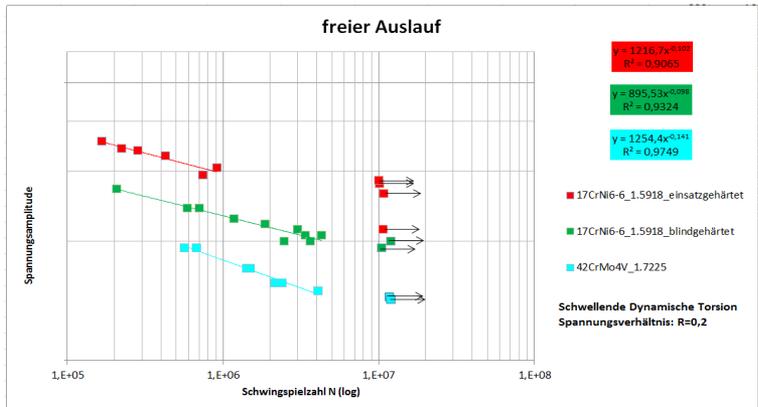


Abbildung 3: Erreichte Schwingspielzahlen und Zeitfestigkeitsgeraden der Prüflinge mit freiem Auslauf aus unterschiedlichen Materialien und Wärmebehandlungen

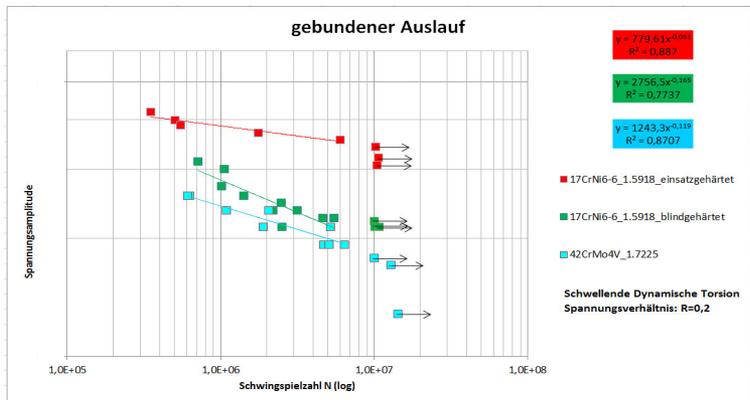


Abbildung 4: Erreichte Schwingspielzahlen und Zeitfestigkeitsgeraden der Prüflinge mit gebundenem Auslauf aus unterschiedlichen Materialien und Wärmebehandlungen

Die schon bei dem Vorgängervorhaben festgestellte Festigkeitsdifferenz der Prüflinge mit gebundenem Auslauf gegenüber denen mit freiem Auslauf wurde auch an den einsatzgehärteten Prüflingen bestätigt. Betrachtet man die beiden Zeitfestigkeitsgeraden an gehärteten Prüflingen bei gleicher Bruchschwingspielzahl, zeigt sich, dass die mittlere Spannungsamplitude bei Prüflingen mit gebundenem Auslauf etwa 1,3-mal höher liegt als bei Prüflingen mit freiem Auslauf.

Wie weiterhin in Abbildung 4 zu erkennen ist, verläuft die Zeitfestigkeitsgerade bei den einsatzgehärteten Prüflingen mit gebundenem Auslauf mit einer Neigung $k = 20$ deutlich flacher als die der blindgehärteten mit gleicher Auslaufform und einer Neigung $k = 7$. Die Neigungen der Zeitfestigkeitsgeraden bei den einsatz- und blindgehärteten Prüflingen mit freiem Auslauf sind identisch ($k=10$) und die Geraden verlaufen nahezu parallel. Des Weiteren wurden die Kerbwirkungszahlen für die einsatzgehärteten nach DIN 743 ermittelt. Für die Berechnung der für die Ermittlung der Kerbwirkungszahlen benötigten Wechselfestigkeitswerte glatter Proben werden die Werte bzw. Ergebnisse der Zugversuche aus dem Vorgängervorhaben übernommen, da die vorgesehenen Werkstoffuntersuchungen in diesem Vorhaben noch nicht durchgeführt wurden und die entsprechenden Werte noch nicht vorliegen.

Die Aussagen und Feststellungen, die aus den Vergleichen der ermittelten Kerbwirkungszahlen resultieren, werden später anhand der Werte aus den später stattfindenden Werkstoffuntersuchungen derselben Charge überprüft und ggf. bestätigt oder ergänzt.

Die Versuche an den Proben mit einer größeren Verbindung mit einem Bezugsdurchmesser $d_B = 65$ mm ohne Sicherungsringnut (SRN) sind abgeschlossen. In der Abbildung 5 ist das torsionstypische Bruchbild zu erkennen.

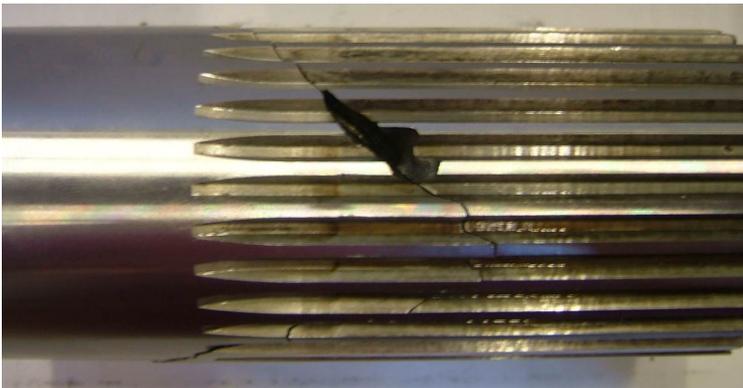


Abbildung 5: Schadensbild an großen Prüflingen bei dynamischer Torsion, ohne SRN

Die Brüche beginnen an der Nabenkante der überstehenden gebundenen Wellenverzahnung. Die entsprechende Auswertung, analog zu den kleinen Prüfteilen über der Lastwechselzahl aufgetragen und in Abbildung 6 dargestellt. Vor der Durchführung der Versuche aus dem dritten Versuchsblock wurde eine Abschätzung der Dauerfestigkeit theoretisch durchgeführt, die auf 105 N/mm^2 (rote Linie in Abbildung

6) mit einer 90% Überlebenswahrscheinlichkeit führte. Die experimentelle Ermittlung liefert eine Dauerfestigkeit von 116 N/mm^2 (schwarze Linie in Abbildung 6). Der genauere Dauerfestigkeitswert wird anhand weiterer Untersuchungen festgelegt.

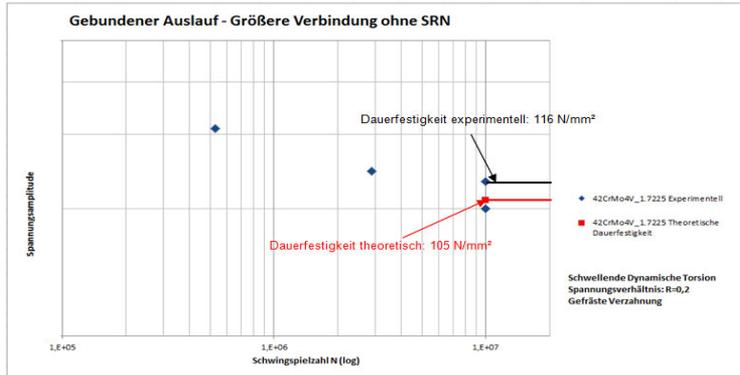
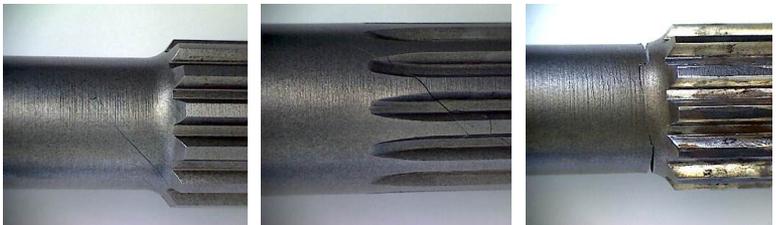


Abbildung 6: Erreichte Schwingspielzahlen der Prüflinge mit gebundenem Auslauf und größerer Verbindung ohne SRN

Das Versagen der Prüflinge unter dynamischen Belastungen kennzeichnet sich durch Rissbildung (Torsion) in der Verzahnung und des Auslaufs und Brüche (Umlaufbiegung) im Bereich des Auslaufs bei Prüflingen mit freiem Auslauf.



Rissbildung freier Auslauf (dyn. Torsion)

Rissbildung gebundener Auslauf (dyn. Torsion)

Bruch freier Auslauf (Umlaufbiegung)

Abbildung 7: Schadenbilder an gehärteten Prüflingen bei dynamischen Belastungen (Biegung und Torsion)

4 Weitere Vorgehensweise

Das Gros der Untersuchungen mit kombinierter Belastung (statische Torsion + Umlaufbiegung) wird auf einem bereits vorhandenen Torsionsverspannprüfstand durchgeführt, der die Aufbringung der erforderlichen Biegemomente durch eine zusätzliche Belastungseinrichtung erlaubt (siehe Abbildung 8). Um den Verschleißeinfluss durch

Reibkorrosion zu minimieren, wird die Verbindung im Versuch ölgeschmiert.

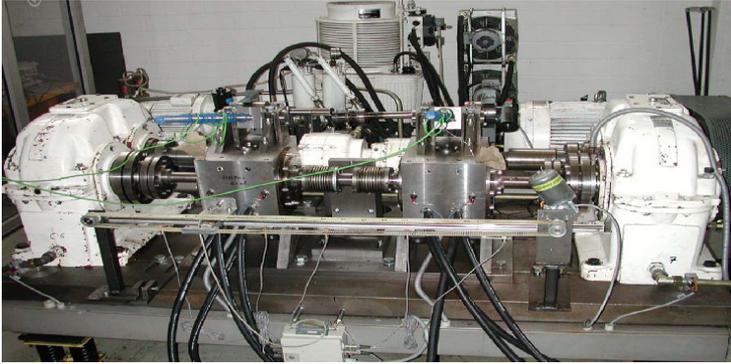


Abbildung 8: Prüfstand für Versuche bei kombinierter Belastung

Die Untersuchungen mit dynamischer Torsion und dynamischer Biegung finden auf einem Prüfstand statt, der die Biegung mittels eines Exzenters weggesteuert aufbringt, wie in Abbildung 9 dargestellt. Der Prüfstand wurde angepasst, so dass der Versuch an dem Prüfling mit kombinierten Belastungen synchron durchgeführt werden kann.

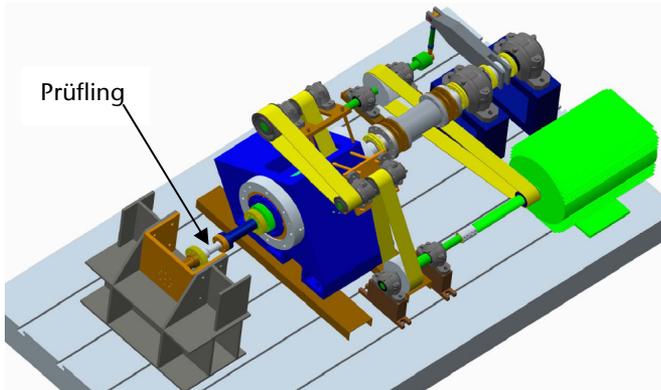


Abbildung 9: Versuchsprüfstand bei dyn. Biegung und dyn. Torsion

Für die Untersuchungen des Einflusses der größeren Verbindungsdurchmessers bei schwelender Torsion (Bezugsdurchmesser von 65 mm) steht ein Torsionsprüfstand in Abbildung 10 zur Verfügung, der sich eines mechanischen Hebelsystems bedient und auf dem dynamischen Lasten bis zu 30 kNm realisiert werden können.



Abbildung 10: Prüfstand für Versuche bei dyn. Torsion (größere Verbindungsdurchmesser)

5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Artikels wurde auf die dem FVA-Projekt zugrunde liegende Problematik eingegangen sowie erste ausgewählte Ergebnisse aus den Bereichen der experimentellen Untersuchungen zunächst vorgestellt. Die bislang vorliegenden und teilweise vorgestellten Ergebnisse konnten die erwarteten Ziele erfüllen.

6 Literatur

- /1/ BÖHME, Toni: *Rechnerische Ermittlung von Kerbform-, Stütz- und Kerbwirkungszahlen an Zahnwellenverbindungen unter kombinierter Belastung*. Dresden, Technische Universität Dresden, Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion. Diplomarbeit. 2010
- /2/ Norm DIN 743. 2000-10-00. *Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen*
- /3/ Norm DIN 5466. 2000-10-00. *Tragfähigkeitsberechnung von Zahn- und Keilwellen-Verbindungen*
- /4/ Norm DIN 5480. 2006-03-00. *Passverzahnungen mit Evolventenflanken und Bezugsdurchmesser*
- /5/ FORSCHUNGSVEREINIGUNG ANTRIEBSTECHNIK E.V.: *Profilwellen-Kerbwirkung : Ermittlung der Kerbwirkung bei Profilwellen für die praktische Getrieberechnung von Zahnwellen*. Forschungsvorhaben Nr. 467 I. 2009 (FVA-Heft 905)