

Zahnwelle 3.0

Schäfer, G.

Die Ausnutzung verfügbarer Potentiale ist auch bei der Gestaltung von Passverzahnungen eine sinnvolle Strategie, zumal dabei keine zusätzlichen Arbeitsschritte notwendig sind und die Kompatibilität in dieser z.B. nach DIN 5480 genormten Welle-Nabe-Verbindung erhalten bleibt.



The modification of splined shaft-hub connections promises significant benefits in compliance with the geometry standard DIN 5480.

Einleitung

Passverzahnungen, im allgemeinen Sprachgebrauch auch Zahnwellen oder Steckverzahnungen genannt, sind als leistungsfähige Welle-Nabe-Verbindung in Antriebssträngen häufig zu finden. Ausfallursachen sind einerseits Verschleiß durch z.B. mangelhafte Schmierung oder ungünstige Belastungskombinationen und andererseits Bruch, wie oben rechts im Bild zu sehen. Der Rissbeginn und damit bruchursächlich ist die Kerbe durch den Fußrundungsradius an der Lastflanke.

Entschärfung der Fußrundungskerbe

Nach DIN 5480 /4/ wird bislang für die spanend hergestellte Wellenverzahnung ein Fußrundungsradius des Bezugsprofils von $\rho_{FP} = 0,16 \cdot m$ vorgegeben, gleichzeitig wird aber auch ein „Mindest-Formübermaß“ (Tabelle 1) und ein „mindestens“ einzuhaltendes Kopfspiel genannt. Aus diesen Formulierungen ist eine Freiheit zur Modifikation erkennbar, deren sinnvolle Ausgestaltung nachfolgend betrachtet wird.

Grundsätzlich lässt die Vergrößerung des Fußrundungsradius als Kerbradius eine Reduzierung der Kerbschärfe erwarten, was in der Folge eine Reduzierung der Beanspruchung bedeutet. In /1/ wurden dazu grundlegende Untersuchungen angestellt, die in /2/ und /3/ mit Erweiterungen kurz zusammengefasst dargestellt wurden. In Abbildung 1 ist eine zentrale Aussage daraus grafisch dargestellt. Durch die Vergrößerung des Fußrundungsradius kann die Zahnfußbeanspruchung um mindestens 15% reduziert werden, wobei mit einem Verhältnis $\rho_{FP}/m = 0,48$ ein Optimum erreicht ist. Die weitere Vergrößerung zur Vollausrundung führt zu einer signifikanten Reduzierung des Wellenkernquerschnitts, was eine Beanspruchungserhöhung zur Folge hat. Der größer werdende Fußrundungsradius ist grundsätzlich über den Wellenfußformkreisdurchmesser d_{FF1} an die Evolvente gekoppelt und schneidet damit bei größerem ρ_{FP} tiefer in die Welle ein, siehe auch Abbildung 2.

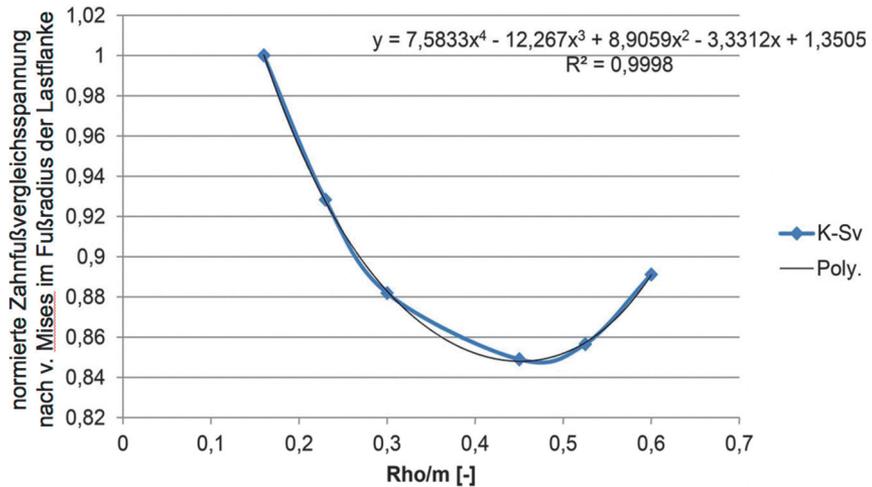


Abbildung 1: Verhalten der Zahnfußvergleichsspannung als Funktion des Zahnfußrundungsradius für Profile nach DIN 5480 /4/ aus /1/

Die vergleichbare internationale Norm ISO 4156 /6/ sieht für den Fußrundungsradius das Verhältnis 0,2 und alternativ die Vollausrundung vor, womit das Optimum auch in diesem Standard nicht perfekt abgebildet ist. Das optimale Verhältnis von 0,48 für die allgemein günstige 30°-Verzahnung ist damit dreimal so groß wie die Vorgabe der DIN 5480 /4/, woraus sich der Titel dieses Beitrags erklärt.

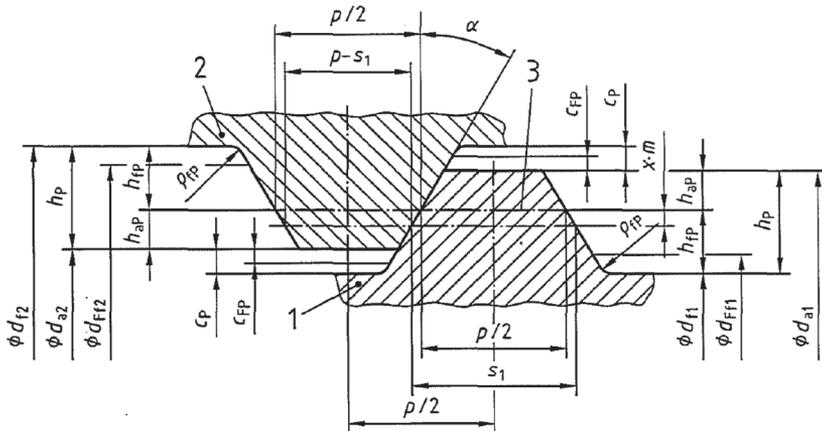


Abbildung 2: Bezugsprofil DIN 5480 /4/

FAQ's bei der Umsetzung

Die aus Gründen der Tragfähigkeit dringende Empfehlung zur Verdreifachung des üblichen Fußrundungsradius bei spanender Herstellung wird inzwischen von den Nutzern schnell erkannt, offen bleibt dann häufig die Frage wie die Werkzeugkonstruktion erfolgen soll. Um vollständige Kompatibilität mit den nach Norm gefertigten Naben zu behalten, muss der Wellen-Fußformkreisdurchmesser $d_{F1} \leq |d_{a2}| - 2 \cdot c_{Fmin}$ unbedingt eingehalten werden. Werte für c_{Fmin} finden sich in Tabelle 1 und /4/, d_{a2} ist der Nabenkopfkreis nach /4/. Weitere Einschränkungen sind bei der Fußgestaltung zur Einhaltung der Kompatibilität nicht zu berücksichtigen.

Tabelle 1: Mindest-Formübermaß /4/

d_B mm	Mindest-Formübermaß c_{Fmin} µm		
	Modul 0,5 bis 1,5	Modul 1,75 bis 4	Modul 5 bis 10
bis 12	25	–	–
über 12 bis 25	28	30	–
über 25 bis 50	30	35	40
über 50 bis 100	35	40	45
über 100 bis 200	40	45	50
über 200 bis 400	–	50	55
über 400	–	–	65

Bei der Konstruktion des Werkzeugs ist für die Festlegung des Wellen-Fußkreisdurchmessers d_{F1} dann der Fußrundungsradius r_{FP} so an die Evolvente anzuschließen, dass sich ein tangentialer Übergang ergibt. In der Regel verbleibt dann zwischen den beiden Fußausrundungen ein kurzer Kreisbogenabschnitt mit dem Fußkreisdurchmesser d_{F1} . Weitere Hinweise zur Berechnung des genauen Wellen-Fußkreisdurchmessers finden sich auch in DIN 5480-16 /5/. Mit dieser Konstruktionsstrategie sind die Werkzeughersteller in der Lage das optimierte Werkzeug auszuliefern. Es bleibt zu hoffen, dass zukünftig diese Modifikation Eingang in Lager- oder kurzfristig verfügbare Artikel findet, zumal damit die Paarbarkeit mit Normnaben gegeben ist und gleichzeitig ein Festigkeitsgewinn von mindestens 15% für die Verbindung erreicht wird, da die Nabe üblicherweise im Vergleich der beiden Bauteile eine entsprechende Reserve bereithält. Aus diesem Grund ist die Fußradiusvergrößerung in der Nabe nicht zwingend notwendig. Grundsätzlich ist aber auch in der Nabe eine Vergrößerung des Fußrundungsradius möglich und sinnvoll, dabei ist die verbleibende Restwandstärke speziell bei dünnwandigen Naben zu beachten.

Zusammenfassung

Für die Auslegung von Passverzahnungen als Welle-Nabe-Verbindung konnten in den letzten Jahren einige allgemeingültige Hinweise erarbeitet werden [7], so ist der 30° Flankenwinkel und eine Verzahnungsbreite von $0,6$ bis $0,8 \cdot$ Bezugsdurchmesser für allgemeine Anwendungen empfehlenswert. Für die Wahl der beiden abhängigen Größen Modul und Zähnezahl sollte eine Zähnezahl von ca. 30 angestrebt werden. Im Rahmen des hier vorliegenden Artikels wird dazu ein Wellen-Fußrundungsradius von $0,48 \cdot$ Modul empfohlen, der vollständige Kompatibilität mit den nach Norm gefertigten Naben gewährleistet. Die dazu notwendige Strategie bei der Werkzeugkonstruktion mit der unbedingten Beachtung des Wellen-Fußformkreises und die tangentielle Übergangsbedingung zwischen Evolvente und Fußrundungsradius wurden kurz erläutert

Literatur

- /1/ Biansompa, E. N.; Schäfer, G.: Zahnwellenberechnung: FVA-Berechnungsrichtlinie für Zahnwellen-Verbindungen. FVA-Forschungsvorhaben Nr. 591 I. Frankfurt/Main, 2015 (FVA-Heft 1139)
- /2/ Schäfer, G.: Betrachtung der Zahnfußausrundung von Passverzahnungen, Institutsmitteilung Nr. 40, Seite 23 – 28, IMW Clausthal 2015, ISSN 0947-2274
- /3/ Schäfer, G.: Kerbspannungen von Passverzahnungen auf Hohlwellen, Institutsmitteilung Nr. 41, Seite 21 – 28, IMW Clausthal 2016, ISSN 0947-2274
- /4/ DIN 5480-1: Passverzahnungen mit Evolventenflanken und Bezugsdurchmesser, Teil 1: Grundlagen, Hrsg. Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag, Berlin, März 2006
- /5/ DIN 5480-16: Passverzahnungen mit Evolventenflanken und Bezugsdurchmesser, Teil 16: Werkzeuge, Hrsg. Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag, Berlin, März 2006
- /6/ ISO 4156: Straight cylindrical involute splines – Metric modul, side fit – Generalities, dimensions and inspection. International Standards Organization (ISO), 1989
- /7/ Schäfer, G.: Zahnwellenverbindung – Auslegung, Potentiale und Festigkeitsnachweis von Passverzahnungen, Institutsmitteilung Nr. 39, Seite 5 – 12, IMW Clausthal 2014, ISSN 0947-2274