

## Fräsen versus Erodieren – Schwingfestigkeitseinfluss

Schäfer, G.

*Das Institut für Maschinenwesen (IMW) untersucht Profilwellenverbindungen bezüglich ihres Verschleiß- und Tragfähigkeitsverhaltens numerisch und experimentell. Für die flexible Fertigung von Profilvarianten wird seit Anfang 2017 auch eine eigene Drahterodiermaschine eingesetzt. Vergleichs-versuche mit klassischen Profilformen zeigen einen deutlichen negativen Einfluss des Drahterodierens auf die Dauerfestigkeit der Bauteile.*



*Milling versus EDM: Numerical and experimental investigations on wear and fatigue of splined shaft-hub connections are a core topic of IMW. Since the beginning of 2017 it's possible to use our own wire EDM machine to manufacture special profile geometries. First fatigue tests with standard geometry made by wire EDM and milling, showed a significant loss of fatigue resistance for the parts made by EDM.*

### Einleitung

Die Arbeitsgruppe Welle-Nabe-Verbindungen untersucht die Verbindungen und ihre Tragfähigkeit nicht nur numerisch, sondern auch in großem Umfang experimentell. Neben der klassischen Profilform mit Evolventenflanken werden auch modifizierte Profile mit dem Ziel erhöhter Drehmomentübertragungsfähigkeit untersucht. Um diese Profile kurzfristig in kleinen Stückzahlen in Bauteilproben umsetzen zu können, wurde Anfang des Jahres 2017 eine neue Drahterodiermaschine in der Institutswerkstatt in Betrieb genommen. Damit verfügt das IMW jetzt neben einer Senkerodiermaschine auch über diese zweite Variante der funkenerosiven Bearbeitung. Die Maschine erlaubt den Schnitt im Wasserbad und im koaxialen Wasserstrahl bis zu einer Bauteilhöhe von 305 mm.

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse wurden an Profilwellen aus dem Werkstoff 42CrMo4+QT unter statischer und dynamischer Torsionslast ermittelt /1/. Als Referenzprofil A wurde ein Passverzahnungsprofil nach DIN 5480 genutzt. Es wurden zwei Profilformen untersucht, die sich in Ihrer Kerbschärfe und ihrem Nennquerschnitt unterscheiden. Als Folge dieser Unterschiede ist das Profil B rechnerisch ca. 25% tragfähiger als das Profil A. Das Profil A wurde durch Fräsen und Drahterodieren erzeugt. Das Profil B wurde durch Senkerodieren und Drahterodieren erzeugt.

## Werkstoff- und Oberflächenkennwerte

Für den Vergleich der zwei Fertigungsverfahren wurden Proben aus 42CrMo4+QT genutzt. Aus logistischen Gründen musste auf zwei Werkstoffchargen zurückgegriffen werden, die sich gemäß Tabelle 1 unterscheiden. Die erste Charge war am IMW lagernd und wurde für alle erodierten Profile genutzt. Die zugelieferten gefrästen Profile stammten aus einer zweiten Werkstoffcharge, siehe Tabelle 1, mit einer 25% höheren Streckgrenze. Gleichzeitig ist die Bruchdehnung aber auch ca. 25% kleiner, was sich negativ auf die Dauerfestigkeit auswirkt. Ebenso ungünstig wirkt sich die in Tabelle 2 dargestellte Rauigkeit auf die Dauerfestigkeit der gefrästen Teile aus. Für den folgenden Vergleich wurden diese beiden abschwächenden Einflüsse unberücksichtigt gelassen. Die Umwertung der statischen und dynamischen Versuchsergebnisse erfolgte lediglich auf Basis der Streckgrenzen der beiden Werkstoffchargen, mit dem Werkstoffreduktionsfaktor  $927,8/1162 = 0,7985$ . Würde man den Einfluss der unterschiedlichen Rauigkeiten und Bruchdehnungen zusätzlich in die Werkstoffumwertung einbeziehen, so würden die nachfolgend dargestellten Festigkeitsunterschiede zwischen den Herstellungsvarianten noch etwas größer ausfallen. Alle erodierten Bauteile sind aus der ersten Werkstoffcharge hergestellt worden. Das Drahterodieren wurde, um optimale Oberflächen zu erhalten, durch Schruppen und vier anschließende Schlichtstufen realisiert. Als Ergebnis sind die in Tabelle 2 zusammengestellten günstigen Rauigkeiten erreicht worden.

Tabelle 1: Durch Zugversuche ermittelte Werkstoffkennwerte der beiden Werkstoffchargen (42CrMo4+QT) /1/

		Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	arith. Mittel
Erodiert	$R_{p0,2}$ in N/mm <sup>2</sup>	957	956	866	970	890	927,8
	$R_m$ in N/mm <sup>2</sup>	1.059	1.059	1.001	1.070	1.016	1.041
	A in %	21,8	20,5	21,5	19,0	18,2	20,2
Gefräst	$R_{p0,2}$ in N/mm <sup>2</sup>	1161	1155	1166	1164	1165	1162
	$R_m$ in N/mm <sup>2</sup>	1297	1282	1294	1282	1284	1288
	A in %	14,9	14,9	13,5	14,7	14,1	14,4

Tabelle 2: Oberflächenrauigkeitskennwerte im Bruchort (Zahnfuß)

Fertigungsverfahren	$R_z$ in $\mu\text{m}$	$R_a$ in $\mu\text{m}$	$R_{tmax}$ in $\mu\text{m}$
Drahterodiert	3,7	0,5	4,9
Senkerodiert	7,2	1,1	8,8
Gefräst	7,5	0,8	9,2

## Statische Tragfähigkeit

Die statischen Tragfähigkeiten der verschiedenen Profile wurden mit jeweils drei Proben in zügigen Verdrehversuchen mit Aufzeichnung des Drehmomentes über dem Verdrehwinkel bestimmt. Die Kennlinienform ähnelt damit der eines normalen Zugversuchs, entsprechend kann auch das Drehmoment am Beginn plastischer Verformungen der Welle ausgewertet werden.

Tabelle 3: *Ertragbares statisches Drehmoment an der Streckgrenze /1/*

Fertigungsverfahren	Profilform	Drehmoment in Nm
Drahterodiert	B	1480
Drahterodiert	A	1180
Senkerodiert	B	1490
Gefräst, Referenz	A	1860

Betrachtet man die statisch ertragbaren Drehmomente in Tabelle 3 und rechnet dazu zunächst den Werkstoffeinfluss aus den gefrästen Probe heraus, so erhält man (1860 Nm  $\cdot$  0,7985) 1485 Nm bezogen auf den Werkstoff der erodierten Proben. Vergleicht man diesen Wert mit dem der profilidentischen drahterodierten Proben A von 1180 Nm, so halten die gefrästen Proben  $1485/1180 = 126\%$  der drahterodierten Vergleichsproben unter statischer Last.

Aus dem Vergleich der beiden Probenreihen mit Profil B ergibt sich für die senkerodierten Proben eine Tragfähigkeit von  $1490/1480 = 101\%$  der drahterodierten Vergleichsproben unter statischer Last.

## Dynamische Tragfähigkeit

Die dynamischen Tragfähigkeiten der Profilverbindungen wurden im IABG-Treppeverfahren für das Spannungsverhältnis  $R = 0,2$  (Schwellbelastung) ermittelt.

Ebenso wie bei den statischen Untersuchungen, trat auch bei den dynamischen Untersuchungen das Versagen (Bruch) an den Wellen und nicht an den Naben auf.

Betrachtet man die dynamisch ertragbaren Drehmomente in Tabelle 4 und rechnet dazu zunächst den Werkstoffeinfluss aus den gefrästen Proben heraus, so erhält man  $472 \pm 315$  Nm. Damit halten die gefrästen Proben  $472/278 = 170\%$  der drahterodierten Vergleichsproben unter dynamischer Last, d.h. die drahterodierten profilidentischen Proben A halten nur  $59\%$  der gefrästen Referenzproben A.

*Tabelle 4: Dauerfest ertragbares dynamisches Drehmoment beim Spannungsverhältnis  $R = 0,2 / 1/$*

<b>Fertigungsverfahren</b>	<b>Profilform</b>	<b>Mittellast in Nm</b>	<b>Amplitude in Nm</b>
Drahterodiert	B	333	222
Drahterodiert	A	278	185
Senkerodiert	B	317	211
Gefräst, Referenz	A	591	394

Aus dem Vergleich der beiden Proben mit Profil B ergibt sich zusätzlich für die senkerodierte Probe eine Tragfähigkeit von  $317/333 = 95\%$  der drahterodierten Vergleichsprobe unter dynamischer Last.

## Synopse

Der Wechsel von fräsender zu erodierender Herstellung hat einen erheblichen Einfluss auf die Dauerfestigkeit der damit erzeugten Bauteile. Am Beispiel der Profilwellen aus 42CrMo4+QT wurde eine auf unter 60% gesunkene Dauerfestigkeit des drahterodierten Bauteils ermittelt. Entscheidend dafür ist nach ersten Untersuchungen der Bauteile, die durch das mit erheblichen Temperaturgradienten ablaufende lokale Aufschmelzen erzeugte spröde Ledeburitschicht mit einzelnen Rissen. Die durch Senkerodieren hergestellten Proben wiesen eine darüber hinaus um weitere 5% niedrigere Dauerfestigkeit auf, was durch die längere Einwirkzeit des Erodierprozesses nachvollziehbar ist. Unter statischer Belastung ist die Festigkeitsminderung deutlich geringer aber auch vorhanden.

## Literatur

- /1/ Mörz, F.; Selzer, M.; Wild, J.: FVA 742 I, Optimierung des Zahnwellenprofils primär zur Drehmomentübertragung unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Fertigungsmöglichkeiten, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 742 I (AiF 18406 BG), Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (in Vorbereitung)