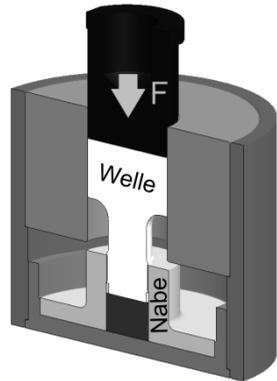


Neues vom Projekt „Untersuchungen von Press- verbindungen mit gerändelter Welle“

Mänz, T.

In der letzten Institutsmitteilung wurde die Pressverbindung mit gerändelter Welle vorgestellt. Nun wird ein Einblick in aktuelle Forschungsergebnisse gegeben.



In the last Institutsmitteilung knurled interference fits were presented. Now an insight into current research results is given.

1 Einleitung

Die Pressverbindung mit gerändelter Welle ist eine Alternative zu rein form- oder kraftschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen, die Vorteile wie Spielfreiheit, hohe Übertragbarkeit sowie hohe Verdrehsicherheit miteinander verbindet. Weiterhin ist die Übertragungsfähigkeit auch bei hohen Temperaturen gegeben. Die Verbindung wird durch Einpressen der profilierten Welle (mit Überdeckung) in eine „weichere“ Nabe, z.B. aus Aluminium, Kunststoff oder „weichem“ Stahl, hergestellt (Abbildung 1). Da Werkzeug und Füge­teil identisch sind, sind Teilungsabweichungen prinzipbedingt ausgeschlossen.

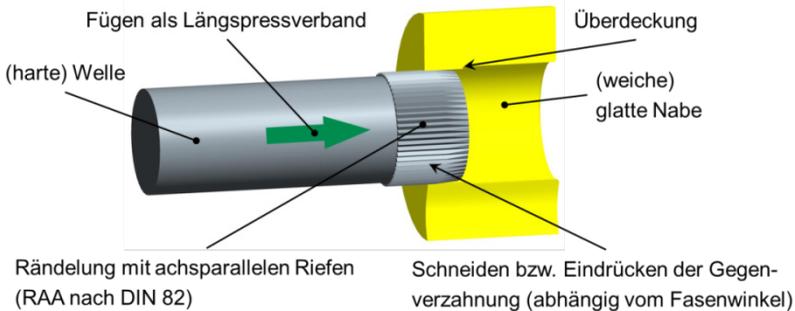


Abbildung 1: Charakteristika einer Pressverbindung mit gerändelter Welle

Ziel des FVA-/AiF-Forschungsvorhabens (FVA-Nr. 658, IGF-Nr. 17086 N / 1) ist es, eine experimentell abgesicherte Auslegungsgrundlage für die Dimensionierung und den Festigkeitsnachweis von gerändelten Pressverbindungen zu entwickeln, wie in der letzten Ausgabe der Institutsmittellung geschildert wurde /1/. Bisher liegen nur wenige Arbeiten zur Auslegung dieser Verbindung vor (u. a. /3/ bis /6/). Im Folgenden wird die Berechnung der Fügekräfte von schneidend und umformend gefügten Verbindungen vorgestellt.

2 Berechnung der Fügekräfte

Beim Fügen der Verbindung wird gleichzeitig die Verzahnung der Nabe hergestellt. Damit hat der Fügevorgang maßgeblichen Einfluss auf das Verhalten der Verbindung unter Belastung. Weiterhin ist die Abschätzung der Fügekräfte für die Auslegung der Fertigungsanlagen von Bedeutung. Deshalb wurde eine Berechnungsgrundlage entwickelt, mit dem die Vorgänge beim Fügen abgebildet und die Fügekräfte berechnet werden können.

Maßgeblich für die Art des Fügevorgangs ist der Fasenwinkel ϕ der Welle. Beträgt dieser 90° , so bedeutet dies, dass keine Fase vorhanden ist. Die Nabe wird beim axialen Fügen zerspannt. Dadurch tritt nur eine sehr geringe Flächenpressung und damit auch eine sehr geringe Reibkraft auf. Der Verlauf der Fügekraft über dem Fügeweg steigt in Folge der Schittkräfte zunächst stark an. Dann ändert sich die Fügekraft bis die Nabe über die gesamte Länge zerspannt wurde nur noch wenig (siehe Abbildung 2). Nach der Verzahnung der Nabe fällt die Kraft auf die Reibkraft ab.

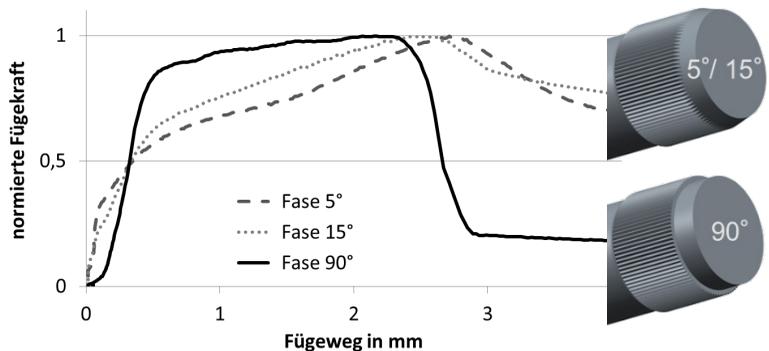


Abbildung 2: Vergleich des Fügekraftverlaufs $F_e/F_{e,max}$ von Proben mit unterschiedlichen Fasen

Je kleiner der Fasenwinkel ist, desto mehr Nabenmaterial wird radial nach außen verformt. Dadurch ergibt sich eine radiale Vorspannung mit entsprechender Flächenpressung und eine daraus resultierende Reibkraft. Der Verlauf der Fügekraft (Abbildung 2) steigt während des Verzahnungsprozesses kontinuierlich an und fällt danach auf eine vergleichsweise hohe Reibkraft ab.

Um das Fügeverhalten abhängig vom Fasenwinkel abbilden zu können, wurden zwei Berechnungsmodelle entwickelt, die sich an bereits vorhandene und erprobte Modellvorstellungen anlehnen.

2.1 Verbindungen mit schneidendem Fügeprozess

Für Verbindungen mit 90°-Fase, bei denen die Nabe zerspannt wird, wurde auf die Schnittkraftberechnung aus der Fertigungstechnik zurückgegriffen. Insbesondere beim Stoßen sind viele Ähnlichkeiten vorhanden (u. a. /7/, /8/). Unter Berücksichtigung der empirisch gewonnenen Gleichungen und Eingangsgrößen konnte eine gute Übereinstimmung zwischen der berechneten und der im Experiment gemessenen Schnittkraft erzielt werden, wie Abbildung 3 zeigt. Insbesondere kleine Schnittkräfte können sehr gut vorhergesagt werden. Die Fügeversuche erfolgten anhand des im Titelbild dargestellten Versuchsaufbaus (weiß: Welle, gelb: Nabe).

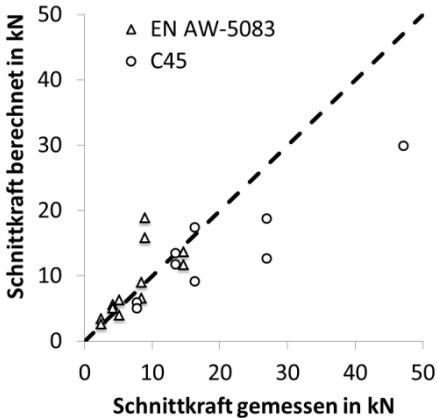


Abbildung 3: Vergleich zwischen berechneter und gemessener Schnittkraft im 45°-Diagramm

Die Streuungen bei größeren Kräften ergeben sich aus qualitativ nicht bestimmaren Größen, wie Fertigungstoleranzen, sowie der Passivkraft, welche eine Aufweitung der Nabe zur Folge hat.

2.2 Verbindungen mit umformendem Fügeprozess

Bei Verbindungen mit 5°- bzw. 15°-Fase erfolgt der Verzahnungsprozess umformend. Dies führt zu hohen Kontaktkräften zwischen Welle und Nabe, die zu einer elastischen und/oder plastischen Aufweitung der Nabe führen. Diese Aufweitung hat wiederum einen signifikanten Einfluss auf das verformte Volumen. Daraus ergibt sich der in Abbildung 4 dargestellte Kreislauf, mit dem Ziel einen Gleichgewichtszustand zwischen Radialkräften aus der Verzahnung und der elastischen Nabenaufweitung herzustellen. Bei der Berechnung der jeweiligen Kräfte wurde wiederum auf die Fertigungstechnik (u. a. /9/) sowie auf die Grundlagen zur Berechnung von Pressverbindungen (/10/, /11/) zurückgegriffen. Ergebnis dieser iterativen Berechnung sind die Radial- und damit die Reibkräfte in der Verbindung nach Abschluss des Verzahnungsvorgangs. Daneben werden u. a. die Nabenaufweitung, die Nabenplastifizierung, der Umformgrad und die sich einstellende Flächenpressung bestimmt. Mit diesen Größen kann danach auch die Umformkraft u. a. nach /12/ bestimmt werden.

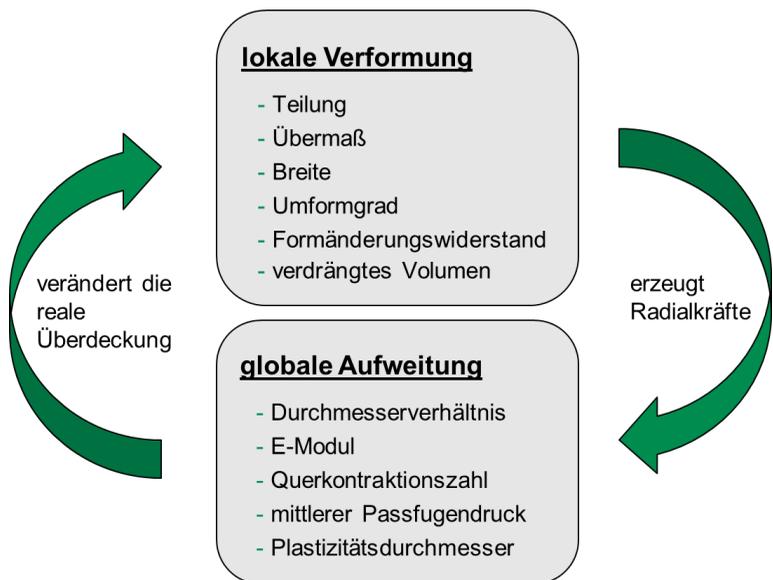


Abbildung 4: Abhängigkeit zwischen lokaler Verformung (Verzahnung der Nabe) und globaler Aufweitung (elastische und/oder plastische Verformung der Nabe)

Abbildung 5 zeigt wiederum den Vergleich zwischen den berechneten und den experimentell bestimmten Fügekräften, welcher eine sehr gute Übereinstimmung zeigt.

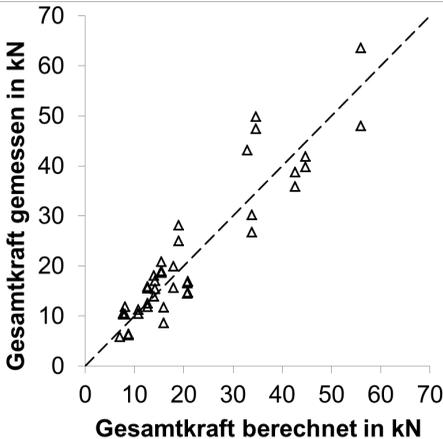


Abbildung 5: Vergleich zwischen berechneter und gemessener Gesamtkraft bei Verbindungen mit umformendem Fügevorgang

3 Zusammenfassung

Im vorliegenden Artikel wurde ein Einblick in die Berechnung der Fügekräfte von Pressverbindungen mit gerändelter Welle gegeben. Der Vergleich zwischen den rechnerisch und experimentell bestimmten Fügekräften zeigt die gute Eignung der Modelle. Weitere Details zu den Berechnungsmodellen finden sich /2/ sowie den Berichten zum FVA-Projekt Nr. 658.

4 Danksagung

Der Autor bedankt sich bei der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) und ihren Mitgliedern für die inhaltliche Betreuung sowie bei der AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) für die finanzielle Unterstützung des Projekts „Untersuchungen an Pressverbindungen mit gerändelter Welle“ (FVA-Nr. 658, IGF-Nr. 17086 N / 1).

5 Literatur

- /1/ Mänz, T.: Untersuchungen zu kombinierten reib-/formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen, Institutsmitteilung Nr. 39, IMW Clausthal 2013
- /2/ Mänz, T. ; Lohrengel, A.; Schäfer, G.: Untersuchungen an Pressverbindungen mit gerändelter Welle, VDI-Berichte Nr. 2238, 2014, S. 119-130, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 2014
- /3/ Thomas, K.: Die Presspassung mit unterbrochener Fuge. Technische Universität Hannover, Diss., 1969
- /4/ Bader, M.: Das Übertragungsverhalten von Pressverbänden und die daraus abgeleitete Optimierung einer formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindung. Graz, Techn. Univ., Diss., 2009
- /5/ Bader, M.: Untersuchungen von Rändel-Welle-Nabe-Verbindungen mit am Praxiseinsatz orientierten Randbedingungen. VDI-Berichte Nr. 2176, 2012, S. 105-116
- /6/ Lätzer, M., Leidich, E., Kleditzsch, S., Awiszus, B.: Experimentelle und numerische Untersuchungen von Stahl-Aluminium Rändelpressverbänden. VDI-Berichte Nr. 2176, 2012, S. 117-127
- /7/ Paucksch, E., Holsten, S., Linß, M., Tikal, F.: Zerspantechnik. 12. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2008.
- /8/ Klocke, F., König, W.: Fertigungsverfahren 1. 8. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008
- /9/ Tschätsch, H., Dietrich, J.: Praxis in der Umformtechnik Arbeitsverfahren, Maschinen, Werkzeuge. 9. Auflage. Wiesbaden: Teubner und Vieweg Verlag 2008
- /10/ Kollmann, F. G.: Welle-Nabe-Verbindungen. 1. Auflage. Berlin: Springer, 1984
- /11/ DIN 7190: Pressverbindungen – Berechnungsgrundlagen und Gestaltungsregeln. Deutsche Norm, 2001
- /12/ Hoffmann, H., Neugebauer, R., Spur, G.: Handbuch Umformen. 2., vollst. neu bearb. Auflage. München: Hanser, 2012