

Ausschöpfung des Kaltverfestigungspotenzials bei der Herstellung von Wellen mittels Fließpressen

In einem Projektabschnitt des Forschungsverbunds „Massiver Leichtbau“ wurde die Fertigung von Getriebewellengrundkörpern mit definierten lokalen Eigenschaften durch Voll-Vorwärts-Fließpressen numerisch bezüglich der resultierenden Bauteileigenschaften optimiert und experimentell realisiert. Das Ziel war zum einen, Fließpresswerkzeuge derart auszulegen, dass Wellen mit lokal definierten und optimierten mechanischen Eigenschaften gefertigt werden können. Zum anderen galt es zu ermitteln, ob und inwieweit nachgeschaltete Wärmebehandlungen durch die reine Ausschöpfung der Kaltverfestigung zu substituieren sind.

AUTOREN



Felix Kolpak, M. Sc.

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umformtechnik und Leichtbau (IUL) der Technischen Universität Dortmund



Dr.-Ing. Christoph Dahnke

ist ehemaliger Abteilungsleiter der Abteilung Massivumformung am Institut für Umformtechnik und Leichtbau (IUL) der Technischen Universität Dortmund



Prof. Dr.-Ing. A. Erman Tekkaya

leitet das Institut für Umformtechnik und Leichtbau (IUL) der Technischen Universität Dortmund

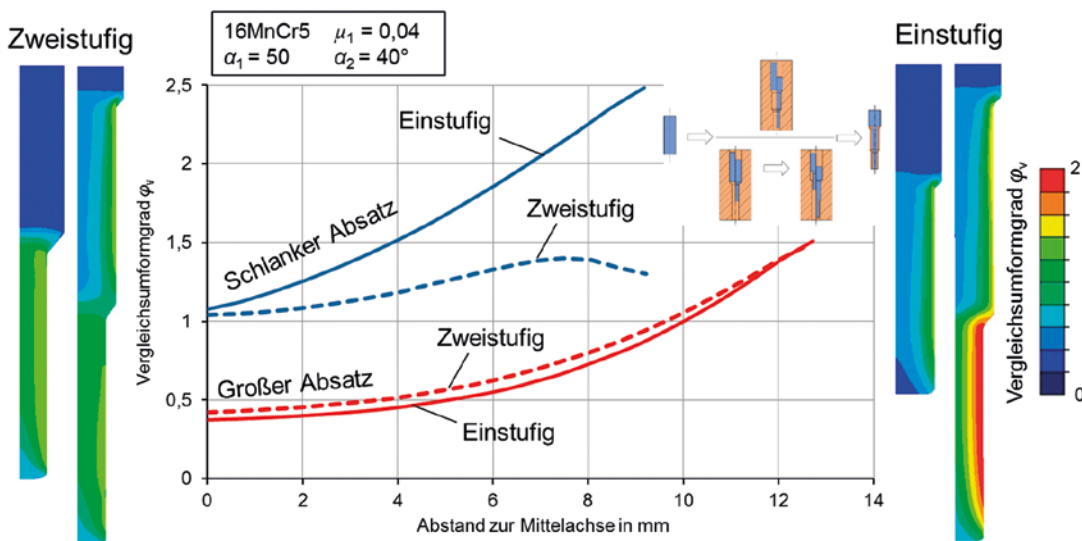


Bild 1: Einfluss der Prozessroute auf den Umformgrad über den Bauteilradius

Getriebewellen sind dynamisch hochbelastete Bauteile. Eine Methode zur Herstellung von Getriebewellen ist das Konzept der gebauten Welle. Dabei entstehen der Wellengrundkörper sowie ein oder mehrere Ritzel zunächst in getrennter Fertigung, ehe sie zu einer Getriebewelle zusammengefügt werden. Für einzelne Komponenten fällt die Wahl dabei häufig auf das Verfahren der Kaltmassivumformung. Die Vorteile liegen unter anderem in der hohen Werkstoffausnutzung, dem ununterbrochenen resultierenden Faserverlauf sowie in der Kaltverfestigung des Werkstoffs und damit der Verbesserung der mechanischen Eigenschaften [1].

Neben der Variation der Werkzeugparameter untersuchte die Projektgruppe eine einstufige sowie eine zweistufige Prozessvariante zur Herstellung einer doppelt abgesetzten Welle und verglich die resultierenden mechanischen Eigenschaften der umgeformten Bauteile.

Die Umformgrade wurden für die vorliegenden Untersuchungen als gegeben angenommen. Als freie Parameter zur Prozessoptimierung hinsichtlich Oberflächenhärte, Festigkeit, Rauheit sowie Eigenspannung legte die Projektgruppe insbesondere die Prozessroute sowie die gewählten Schulteröffnungswinkel der einzelnen Umformstufen und die Werkzeugradien fest. Alle Untersuchungen wurden anhand von drei Halbzeugwerkstoffen mit unterschiedlichem Verfestigungsverhalten durchgeführt (Einsatzstahl 16MnCr5, höherfester 100Cr6, sowie 18CrNiMo7-6). Diese lagen im weichgeglühten Zustand vor.

NUMERISCHE PROZESSAUSLEGUNG

Bild 1 zeigt die Umformgradverteilung über den Radius zweistufig und einstufig gepresster Wellen. Im Bereich des großen Absatzes sind kaum Unterschiede zwischen den beiden Prozessvarianten erkennbar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass dieser Bereich bei beiden Varianten ähnlich stark umgeformt wird. Im schlanken Absatz zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen den beiden Varianten.

Obwohl der geometrische Umformgrad bei beiden Varianten 0,9 beträgt, ruft die zweifache Umformung aufgrund der damit einhergehenden zusätzlichen Scherung einen Unterschied von $\Delta\varphi_V = 1,2$ im Randbereich hervor. Neben der gewählten Prozessroute, den Werkzeugradien und dem Reibwert haben die Schulteröffnungswinkel der Matrizen den größten Einfluss auf die randnahen Umformgrade. Bild 2 zeigt, dass eine Erhöhung der Winkel von 60 auf 145° beim zweistufigen Prozess im grossen Absatz eine maximale Umformgradsteigerung $\Delta\varphi$ von bis zu 2,8 bewirkt.

MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN DER WELLEN

Zur Validierung der numerischen Ergebnisse wurden Fließpressversuche an einer hydraulischen Ziehpresse des Typs M+W BZE 1000-30.1.1 mit einer Nennkraft von 10 MN durchgeführt. Der verwendete Aufbau sowie die produzierten Wellen sind exemplarisch in Bild 3 dargestellt.

Zur Analyse der mechanischen Eigenschaften der Wellen wurden Längs- und Querschliffe angefertigt und Härtemessungen sowie Rauheitsmessungen an der Wellenoberfläche

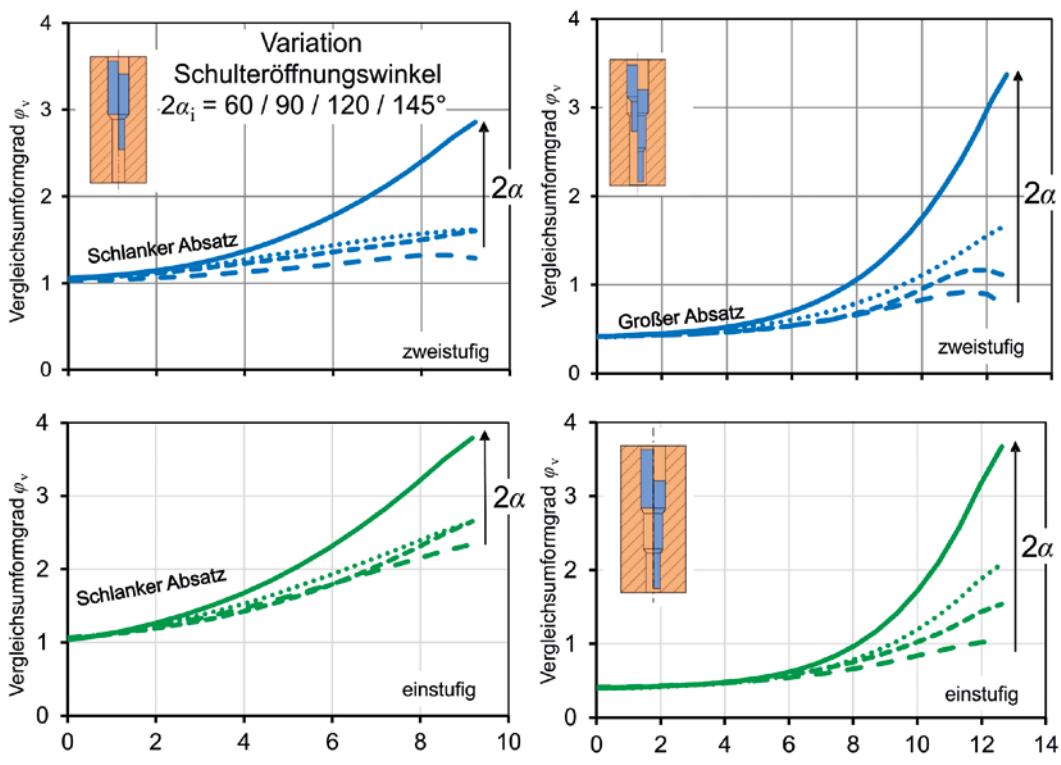


Bild 2: Einfluss der Schulteröffnungswinkel auf die Umformgradverteilung (zweistufiges und einstufiges Fließpressen)

Die Anpassung der Schulteröffnungswinkel ist eine naheliegende Methode zur Steigerung der oberflächennahen Festigkeit. Es ist jedoch zu beachten, dass die kombinierte Wahl von geringen Werkzeugradien und hohem Schulteröffnungswinkel die notwendige Umformkraft erhöht. Die Werkzeuge werden somit stärker belastet. Außerdem sind oberflächennahe Bereiche der umgeformten Werkstücke durch die stärkere Werkstoffumlenkung empfindlich für Oberflächenrisse.

durchgeführt. Durch Zug- und Druckversuche an Werkstoffproben aus der Wellenmittellachse wurde das Verfestigungsverhalten beziehungsweise die Restumformbarkeit der Wellen analysiert. Zudem wurden die lokalen Eigenspannungen mittels Bohrlochmethode bestimmt.

Der Vorteil einer qualitativen Festigkeitsbewertung anhand von Härtemessungen liegt in der Möglichkeit zur Abschät-

zung lokaler Festigkeiten und in der einfachen Versuchsdurchführung. Bild 4 zeigt exemplarisch die ermittelten Härten in Abhängigkeit vom Bauteilradius der fließgepressten Wellen aus 16MnCr5 im großen und schlanken Absatz sowie die Ausgangshärte als gestrichelte Linie.

Während die Ausgangshärte des Werkstoffs bei rund 195 HV liegt, liegen im großen Absatz entlang der Mittellinie ($\varphi = 0,4$) Härtewerte von rund 250 HV vor (plus 28 Prozent). Entlang der Mittellinie des schlanken Absatzes ($\varphi = 0,92$) liegen Härten bis rund 270 HV vor (plus 38 Prozent). Die Härte nimmt mit zunehmendem Bauteilradius zu. Dies ist, wie zuvor beschrieben, auf den steigenden Umformgrad infolge der Werkstoffschöpfung in Richtung Bauteiloberfläche zurückzuführen [2]. Zur Verdeutlichung des Verfestigungspotenzials wurden die experimentell ermittelten Härten entlang der Wellenmittelachse in Abhängigkeit des Umformgrads für die drei untersuchten Halbzeugwerkstoffe analysiert. Insbesondere für 100Cr6 ist das Verfestigungspotenzial für $\varphi = 1,0$ noch nicht vollständig ausgeschöpft, sodass hier weiteres Potenzial zur möglichen Substitution von Wärmebehandlungen durch Kaltverfestigung vorliegt.

Die maximal erzielten Härten im Randbereich lagen hier bei über 350 HV10. Die Ergebnisse sind auf andere Werkstoffe mit geringer Anfangsfließspannung und hohem Kaltverfestigungspotenzial übertragbar.

FAZIT

Der randnahe Umformgrad und damit die lokale Festigkeit fließgepresster Wellen sind abhängig von vielen Einflussgrößen. Durch eine Anpassung der Werkzeuge und Prozessfolgen kann der Festigkeitsanstieg infolge der Kaltverfestigung gegenüber konventionellen Prozessrouten gesteigert werden. Die angepassten Werkzeuge führen dabei jedoch zu besonderen Anforderungen an die Matrizen, den Halbzeugwerkstoff und das verwendete Schmiermittelsystem, da höhere Prozesskräfte und Drücke vorliegen. Während sich nachgeschaltete Härteprozesse nicht substituieren lassen, deuten die Ergebnisse für die untersuchten Versuchswerkstoffe an, dass Vergütungsprozesse bei entsprechend geringeren Anforderungen mittels reiner Kaltverfestigung zu ersetzen sind.



Bild 3: Versuchsaufbau zur Herstellung skaliertener Getriebewellen durch Voll-Vorwärts-Fließpressen (links) und erzeugte Wellen (rechts)

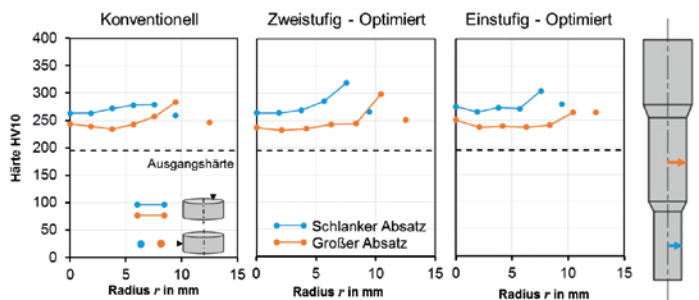


Bild 4: Härteverläufe über den Bauteilquerschnitt (16MnCr5, konventionell: $2\alpha_1 = 2\alpha_2 = 100^\circ$, optimiert: $2\alpha = \alpha_2 = 145^\circ$) Bilder: Autoren

Das IGF-Vorhaben 18229 N der FOSTA – Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. zusammen mit der Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik e.V. (AWT), der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) und der Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. (FSV) wurde über die AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert. Die Langfassung des Abschlussberichts kann bei der FOSTA, Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf, angefordert werden.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

IGF Industrielle Gemeinschaftsforschung

aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages

[1] Lange, K.; Kammerer, M.; Pöhlant, K.; Schöck, J.: Fließpressen – Wirtschaftliche Fertigung metallischer Präzisionswerkstücke, Springer Verlag, Berlin, 2008

[2] Tekkaya, A.E.; Lange, K.: An Improved Relationship between Vickers Hardness and Yield Stress for Cold Formed Materials and its Experimental Verification, Annals of the CIRP 49, 2000