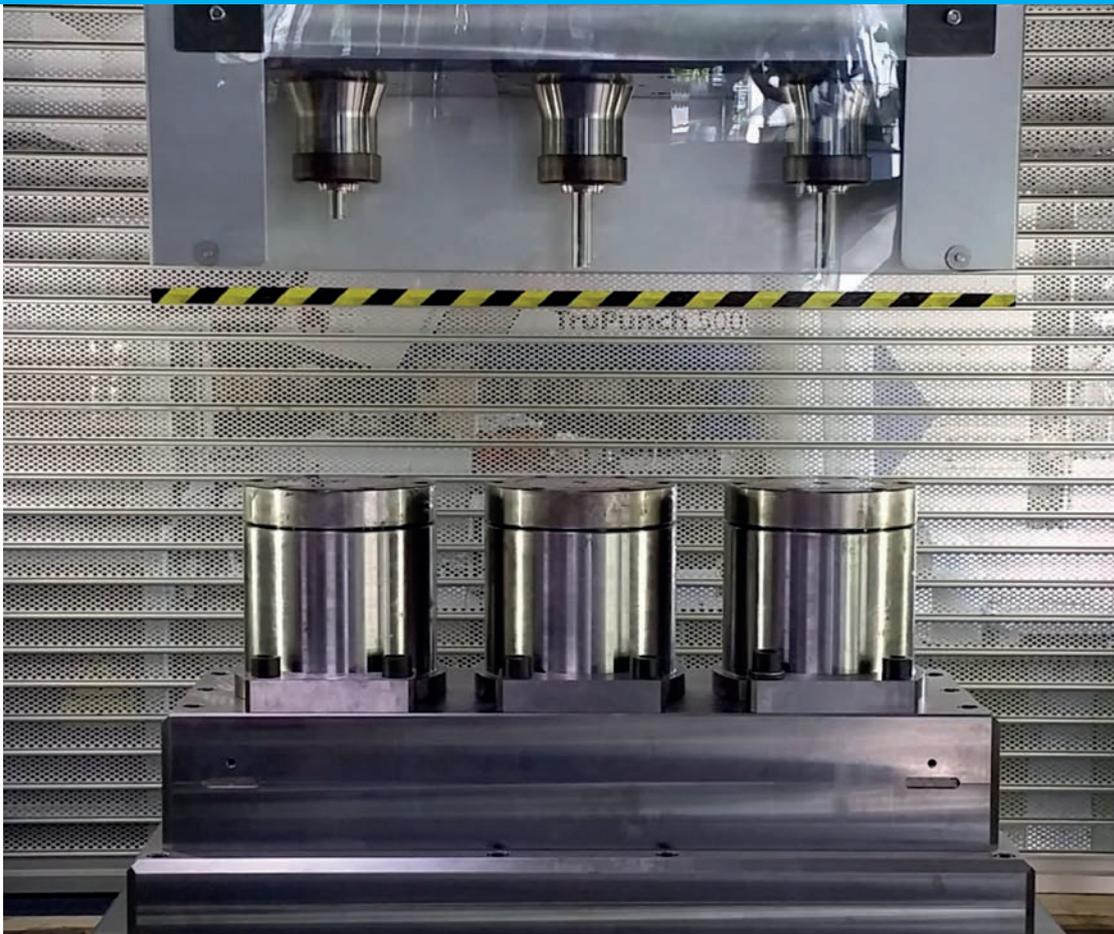


Einfluss des Fließpressens auf die Fertigungsabweichungen und den Verzug



Kaltfließpressprozesse ermöglichen eine wirtschaftliche und ressourceneffiziente Herstellung von Bauteilen in großen Stückzahlen. Allerdings treten fertigungsbedingte Abweichungen nach der Umformung auf, die zusätzlich von Maß- und Formänderungen aufgrund einer häufig nachfolgen-

den Wärmebehandlung überlagert werden. Formabweichungen erfordern oft eine aufwendige Nachbearbeitung. Daher wurde der Einfluss signifikanter Faktoren auf die Fertigungsabweichungen und den Verzug entlang der gesamten Prozesskette untersucht.

AUTOREN



**Dipl.-Ing.
Dawid Nadolski**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Wärmebehandlung am Institut für Werkstofftechnik in Bremen



**Dr.-Ing.
Alwin Schulz**

ist Arbeitsgruppenleiter in der Abteilung Wärmebehandlung am Institut für Werkstofftechnik in Bremen



**Dr.-Ing.
Matthias Steinbacher**

ist Leiter der Abteilung Wärmebehandlung am Institut für Werkstofftechnik in Bremen



**Prof. Dr.-Ing.
Franz Hoffmann**

fungierte bis Ende 2015 als Leiter der Abteilung Wärmebehandlung am Institut für Werkstofftechnik in Bremen



**Oliver Hering,
M.Sc.**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Massivumformung am Institut für Umformtechnik und Leichtbau in Dortmund



**Dipl.-Ing.
Stefan Ossenkemper**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Massivumformung am Institut für Umformtechnik und Leichtbau in Dortmund



**Christoph Dahnke,
M.Sc.**

ist Leiter der Abteilung Massivumformung am Institut für Umformtechnik und Leichtbau in Dortmund



**Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing.
E.h. A. Erman Tekkaya**

ist Leiter des Instituts für Umformtechnik und Leichtbau in Dortmund

Die Qualität gefertigter Komponenten wird durch den Herstellungsprozess beeinflusst. Kaltfließpressen als ressourceneffizientes Fertigungsverfahren führt zu einer höheren Oberflächengüte und einer höheren geometrischen Genauigkeit der Bauteile gegenüber den Verfahren der Warmumformung [1]. Dem Fließpressen folgt oft eine Wärmebehandlung, wie zum Beispiel das Spannungsarmglühen oder Einsatzhärten, um die gewünschten mechanischen Eigenschaften zu erzielen. Diese nachfolgenden Wärmebehandlungsprozesse führen zu Maß- und Formänderungen der Bauteile und beeinflussen somit die Endgeometrie [2]. Die Unterschiede im Verzugsverhalten von kaltumgeformten und zerspannten Bauteilen sind zwar bekannt [3, 4], ihre Einflussfaktoren und Mechanismen aber noch nicht vollständig geklärt.

Die Beziehung zwischen Fließpressen und anschließender Wärmebehandlung wird im Rahmen eines gemeinsamen Pro-

jekts zwischen dem Institut für Umformtechnik und Leichtbau (IUL), dem Institut für Werkstofftechnik (IWT) und Partnern aus der Industrie experimentell sowie numerisch analysiert und quantifiziert, um die Fertigungsabweichungen und den Verzug der Bauteile zu minimieren.

PROZESSKETTE

Die untersuchte Prozesskette sowie die dabei variierten Einflussfaktoren sind in Bild 1 dargestellt und werden im Folgenden erläutert:

Für die Untersuchungen wurde der stranggegossene Einsatzstahl 20MnCr5 mit einem Durchmesser von 36,5 mm verwendet. Der Werkstoff wurde in den Gefügeständen GKZ und FP untersucht. Zur Beurteilung der Chargenabhängigkeit wurde Stangenmaterial von zwei verschiedenen Stahlwerken genutzt. Für das Fließpressen wurden zunächst

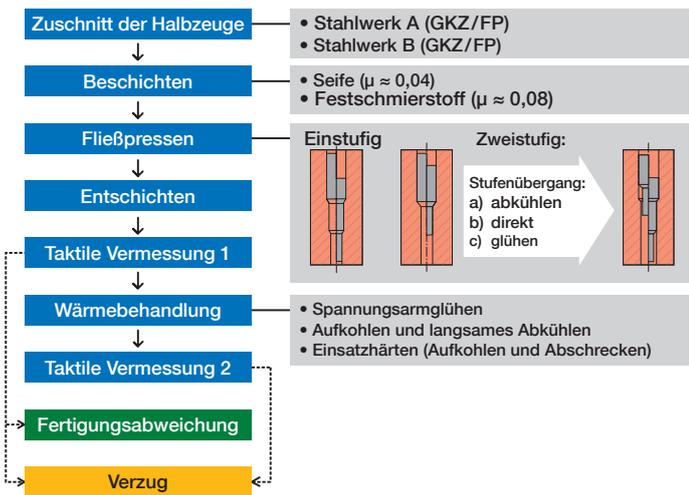


Bild 1: Prozesskette und Auflistung der variierten Einflussgrößen

Halbzeuge mit einer Länge von 180,5 mm gesägt und anschließend beschichtet. Bei den aufgetragenen Beschichtungen handelt es sich um eine Zinkseife (ZWEZ Lube Z) oder einen Festschmierstoff (ZWEZ Lube MD), jeweils auf Zinkphosphat-Basis. Die beschichteten Halbzeuge wurden anschließend mittels Voll-Vorwärts-Fließpressen bei Raumtemperatur zu einer zweifach abgesetzten Welle umgeformt. Die Umformung der Wellengeometrie erfolgte sowohl ein- als auch zweistufig (Bild 2).

Beim einstufigen Fließpressen wird die Wellengeometrie in einem Hub unter Verwendung eines einzelnen Umformwerkzeugs gepresst. Bei der zweistufigen Prozessvariante wird zunächst der Wellenabschnitt III umgeformt, anschließend wird das Bauteil entnommen und in einer zweiten Matrize der Wellenabschnitt II gefertigt. Bei der zweistufigen Variante wurde zudem der Stufenübergang variiert. Im Verfahrensweg „abkühlen“ wurden die Wellen nach dem ersten Fließpressvorgang zunächst auf Raumtemperatur abgekühlt, bevor im Anschluss die zweite Stufe gepresst wurde. Bei der Variante „direkt“ wurde der mittlere Absatz unmittelbar nach dem ersten Fließpressvorgang unter Nutzung der durch die Deformationsenergie eingebrachten Wärme gefertigt. Zudem wurde in einer weiteren Untersuchungsvariante die im ersten Umformschritt erzielte Kaltverfestigung durch eine zwischengeschaltete Wärmebehandlung (Glühen bei 600 °C) vor der Umformung in der zweiten Stufe abgebaut. Nach dem

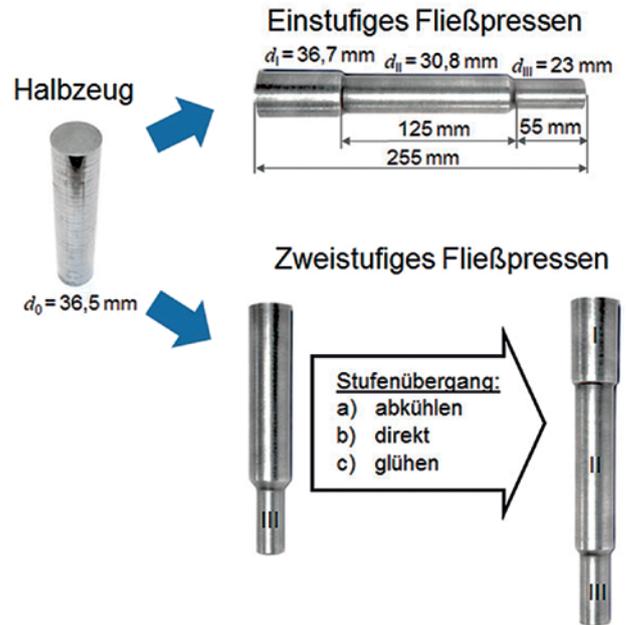


Bild 2: Untersuchte Prozesspfade zur Erzeugung zweifach abgesetzter Wellen

Fließpressen erfolgte ein Entschichten aller Wellen unter Verwendung einer alkalischen Lösung. Um die Auswirkung des Herstellungsverfahrens auf die Formabweichungen zu analysieren, wurden analog zu den fließgepressten Wellen auch Referenzbauteile mit gleicher Endgeometrie spanend gefertigt. Nach dem Herstellprozess wurde die Bauteilgeometrie mit einem taktilen Koordinatenmessgerät vermessen und daraus die Formabweichungen der Welle ermittelt.

Im Anschluss an die Umformung wurden die Wellen verschiedenen Wärmebehandlungen unterzogen, einem Spannungsarmglühen, einem Aufkohlen unter langsamem Abkühlen sowie einem Einsatzhärten. Nach der Wärmebehandlung fand eine erneute Vermessung der Wellengeometrie statt. Aus dem Vergleich der Wellengeometrie nach und vor dem Wärmebehandlungsschritt wurden die Maß- und Formänderungen berechnet.

UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Im Rahmen der Untersuchungen zeigte sich, dass sowohl das Herstellungsverfahren als auch die Wärmebehandlung das Ausmaß der Maß- und Formabweichungen des Werkstücks stark beeinflussen. Im Folgenden werden exemplarisch die wesentlichen Erkenntnisse beschrieben. Gezeigt wird der Einfluss des Fertigungsverfahrens auf die Formabweichungen sowie auf den Verzug infolge des Spannungsarmglühens.

Dazu werden exemplarisch folgende Fertigungsrouten unterschieden:

- einstufig fließgepresste Wellen
- zweistufig fließgepresste Wellen (abgekühlt nach der ersten Umformstufe)
- zweistufig fließgepresste Wellen (direkte Umformung unter Ausnutzung der Restwärme)
- zerspannte Wellen (gedrehte Referenzbauteile)

FERTIGUNGSABWEICHUNGEN

Mit dem Ziel einer differenzierten Bewertung der Formabweichungen wurden die Wellenabschnitte I-III einzeln hinsichtlich ihrer Form betrachtet. Ermittelt wurde die Krümmung (Durchbiegung) in den drei Sektoren nach dem Fertigungsprozess. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Formabweichungen bei umgeformten Wellen deutlich größer sind als bei zerspannten Wellen (Bild 3). Die Umformrouten haben unterschiedliche Einflüsse auf die Krümmung der einzelnen Wellenabschnitte. Während das zweistufige Fließpressen deutlich höhere Krümmungen im Wellenabschnitt II verursacht, sind bei einstufig fließgepressten Wellen die Krümmungen im Wellenabschnitt III stärker ausgeprägt.

Die größeren Gesamtformabweichungen bei zweistufigen Prozessen lassen sich dadurch erklären, dass das Bauteil beim mehrstufigen Fließpressen wiederholte Auswurf- und

Einlegevorgänge erfährt. Des Weiteren müssen beim Fließpressen die Presskräfte und die damit in direktem Zusammenhang stehenden tribologischen Effekte als Ursache für Formabweichungen in Betracht gezogen werden.

VERZUG INFOLGE DER WÄRMEBEHANDLUNG

Durch die nachfolgenden Wärmebehandlungen wurden nicht nur die gewünschten Eigenschaftsänderungen, wie zum Beispiel der Abbau der Eigenspannungen und der Kaltverfestigung beim Glühen im Temperaturbereich von 600 °C oder die Härtung der Randschicht beim Einsatzhärten, eingestellt, sondern auch unerwünschte Verzüge (Maß- und Formänderungen) ausgelöst.

Es konnte dabei ein deutlicher Einfluss der Wärmebehandlung in Verbindung mit der gewählten Fertigungsroute sowohl auf die Maß- als auch auf die Formänderungen festgestellt werden. Obwohl die Formänderungen infolge der Wärmebehandlung im Vergleich zu den Formabweichungen nach der Fertigung teilweise um eine Zehnerpotenz geringer sind, zeigt sich ein systematischer Zusammenhang zwischen Fertigungsabweichungen und Formänderungen nach der Wärmebehandlung. Für die Krümmungsänderungen infolge der Wärmebehandlung konnte abgeleitet werden, dass diese direkt proportional zu den Abweichungen der Krümmung nach dem Fertigungsprozess sind (Bild 3 und Bild 4).

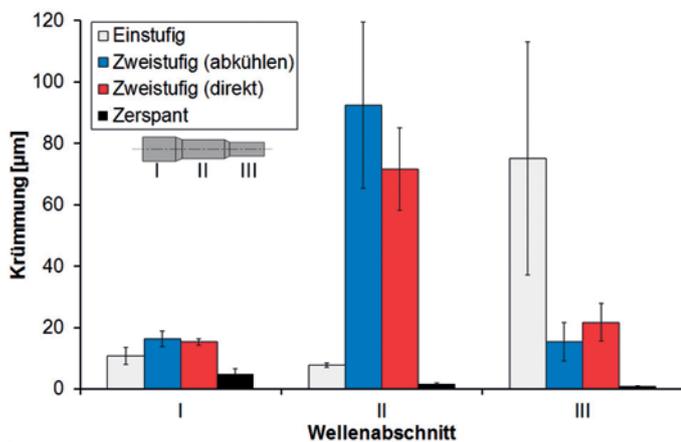


Bild 3: Einfluss des Fertigungsverfahrens auf die Krümmung der Wellenabschnitte

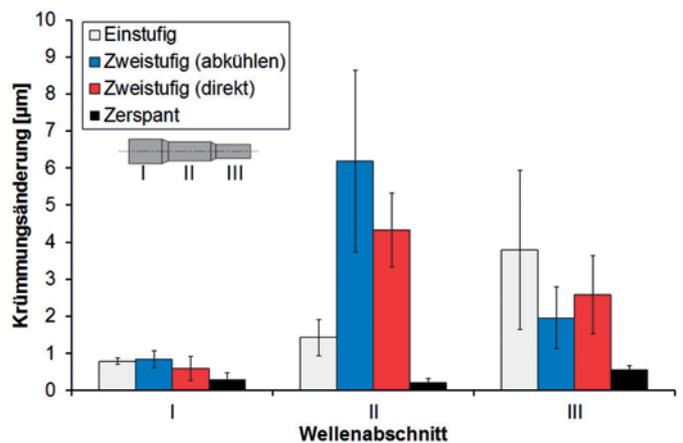


Bild 4: Einfluss des Fertigungsverfahrens auf die Krümmungsänderungen in den Wellenabschnitten infolge des Spannungsarmglühens
Bilder: Autoren

Die Maß- und Formänderungen nach dem Spannungsarmglühen lassen sich mit dem Abbau von Eigenspannungen erklären, die beim vorherigen Fließpressen entstehen. Alle Eigenspannungen, die die Fließspannung bei der Wärmebehandlungstemperatur übersteigen, werden plastisch abgebaut und führen zu einem bleibenden Verzug. Da zerspante im Vergleich zu kaltfließgepressten Teilen als eigenspannungsarm betrachtet werden können, sind auch die Maß- und Formänderungen nach einem reinen Spannungsarmglühen deutlich geringer.

Wärmebehandlungen mit Phasenumwandlungen, wie beispielsweise das Einsatzhärten, führen zu weiteren Veränderungen der Bauteilabmessungen, da diese mit unvereinbaren physikalischen Effekten, unter anderem einer Volumenzunahme bei Bildung der hochfesten Phase Martensit, einhergehen.

FAZIT

Die gezielte Auswahl der Herstellungsrouten bei fließgepressten Bauteilen kann dazu beitragen, Formabweichungen nach dem Herstellprozess sowie den Verzug zu verringern und somit den Aufwand einer Nachbearbeitung, wie beispielsweise einer zusätzlichen spanenden Bearbeitung oder eines Richtvorgangs, zu reduzieren oder sogar vollständig einzusparen. Es bedarf dazu allerdings der Betrachtung der gesamten Prozesskette, um die Wechselwirkungen zwischen Werkstoff, Fertigungs- und Wärmebehandlungsparametern zu analysieren und Korrekturmaßnahmen einzuleiten.

Es konnte festgestellt werden, dass bei Verwendung eines GKZ-Ausgangsgefüges in Kombination mit einer einstufigen Umformung, unabhängig von der Beschichtung, die geringsten Formabweichungen nach der Wärmebehandlung erzielt werden können. Bei zweistufigen Umformprozessen waren die Formabweichungen tendenziell höher und zudem von der Beschichtungsart abhängig.



Das Vorhaben IGF 478ZN der Forschungsvereinigungen Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. (FSV), Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA) und Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik e.V. (AWT) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert. Der Schlussbericht kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.



- [1] Lange, K.; Kammerer, M.; Pöhlandt, K.; Schöck, J.: Fließpressen – Wirtschaftliche Fertigung metallischer Präzisionswerkstücke, Springer Verlag, Berlin, 2008
- [2] Heeß, K.; et al.: Maß- und Formänderung infolge Wärmebehandlung. Grundlagen – Ursachen – Praxisbeispiele, 3. völlig neu bearbeitete Auflage, Expert Verlag, Renningen Malmsheim, 2007
- [3] Cho, J. R.; Kang, W. J.; Kim, M. G.; Lee, J. H.; Lee, Y. S.; Bae, W. B.: Distortion induced by heat treatment of automotive bevel gears, Journal of Materials Processing Technology 153 – 154, 2004, S. 476 – 481
- [4] Nadolski, D.; Schulz, A.; Hoffmann, F.; Zoch, H.-W.; Hänisch, S.; Ossenkemper, S.; Haase, M.; Tekkaya, A. E.: Einfluss einer Kaltmassivumformung und Wärmebehandlung auf die Maß- und Formänderungen, Journal of Heat Treatment and Materials 69, 2014, S. 296 – 305