

Combined forming and punching of precision-forged construction components

Many forged construction components, such as conrods or ring spanners, have hollow cavities, holes or breaks, which are made in a further process step, usually by hot punching. A combined forging and punching method developed by the Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH (IPH-Hanover Institute for Integrated Production, non profit company) enables the integration of the punching into the precision forming process.

Kombiniertes Umformen und Lochen bei gratlos geschmiedeten Bauteilen

Dipl.-Ing. (FH) Judith Kerkeling, Dipl.-Wirt.-Ing. Karsten Müller und Dr.-Ing. Dipl.-Oec. Rouven Nickel, Hannover

Viele geschmiedete Bauteile, zum Beispiel Pleuel oder Ringschlüssel, weisen Hohlräume, Löcher oder Durchbrüche auf, die in einem weiteren Prozessschritt, meistens durch Warmlochen, hergestellt werden. Ein am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH entwickelter kombinierter Umform- und Lochprozess ermöglicht die Integration des Durchlochens in einen gratlosen Umformprozess.

Einleitung

Ressourceneffizienz, Kosteneinsparung und Prozessoptimierung sind zu entscheidenden Wettbewerbsfaktoren in heutigen Unternehmen geworden. Dies verursacht einen ständig wachsenden Konkurrenzdruck in der Schmiedeindustrie. Dieser Druck zwingt die Schmiedeindustrie die Fertigungsverfahren immer weiter zu entwickeln, um somit ihre Herstellungskosten weiter senken zu können [Ste09].

Möglichkeiten zur Senkung der Herstellkosten bestehen

in der Reduzierung des Materialeinsatzes im Schmiedeprozess sowie der Bearbeitungszeit zur Herstellung des Schmiedeproduktes. Das gratlose Präzisionsschmieden ermöglicht bei-

des. Auf der einen Seite kann die Einsatzmasse verringert werden, da die Gratbildung des konventionellen Schmiedens nicht erfolgt, und auf der anderen Seite entfällt eine

aufwendige spanende Nachbearbeitung aufgrund einer endkonturnahen Fertigung [Kud90, Mat90, Mue09].

Schmiedebauteile mit Hohlräumen, Löchern oder Durchbrüchen werden heutzutage in einem zweiten, dem Umformprozess nachfolgenden, Arbeitsschritt warm

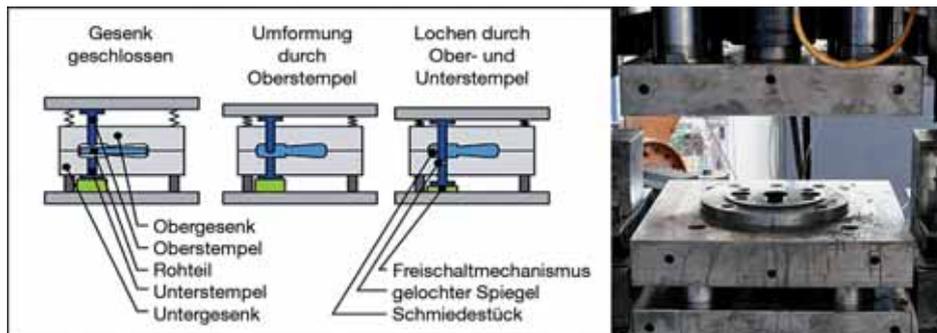


Bild 1: Werkzeug zum kombinierten gratlosen Umformen und Lochen (Prinzipische Skizze); Fotoausschnitt des eingebauten Werkzeugs.

durchgelocht und teilweise gleichzeitig entgratet. Dieser zweite Arbeitsschritt erhöht die Bearbeitungszeit und die Herstellungskosten, da ein zweites Werkzeug zum Lochen des Bauteils benötigt wird. Mittels einer Kombination von Umform- und Lochprozess können Bauteile in einem Schritt gratlos umgeformt und gelocht werden. Dies führt zu einer kürzeren Bearbeitungszeit im Herstellprozess sowie zu geringeren Werkzeugkosten, da ein Folgewerkzeug eingespart werden kann. Im Rahmen des kombinierten Umform- und Lochprozesses können in den Durchbrüchen der Bauteile hohe Oberflächengüten erreicht werden, so dass eine zusätzliche spanende Nachbearbeitung entfallen kann. Die Kombination von Umform- und Lochprozess ist sowohl für rotations-symmetrische Bauteile als auch für Bauteile mit ausgeprägter Längsachse anwendbar.

Werkzeugaufbau und Verfahrensablauf

Das Werkzeugprinzip für den kombinierten gratlosen Umform- und Lochprozess wurde am IPH im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Forschungsprojektes „Untersuchungen zum kombinierten Umformen und Lochen“ (RE 2207/8-2) für rotations-symmetrische Bauteile entwickelt [Beh06] und für Bauteile mit ausgeprägter Längsachse im Folgeprojekt (BE 1691/77-3) modifiziert. Das Werkzeug besteht aus einem Obergesenk, einem Oberstempel (Umform- und Lochstempel), Federelementen, einem Untergesenk, einem Unterstempel und einem Freischaltmechanismus (vgl. Bild 1). Für das Werkzeug wurde der Werkstoff 1.2365 und für die Bauteile der Werkstoff 16MnCr5 festgelegt.

Nach dem Schließen der Gesenke fährt der Oberstempel in den Gravurhohlraum ein und verdrängt Material aus der Mitte des Schmiedewerkstücks bis zur vollständigen Gravurfüllung. Um ein Öffnen der Gesenke durch den steigenden Gravurrinnendruck während des kombinierten Umform- und Lochprozesses und somit die Gratbildung zu verhindern, werden Federelemente zur Aufbringung einer Schließkraft verwendet.

Die vollständige Formfüllung wird durch einen Freischaltmechanismus in Form einer

richtung abgesichert werden. Über die Anzahl der Scherstifte kann der Freischaltzeitpunkt des Unterstempels festgelegt werden.

Das zwischen den beiden Stempeln verbleibende Material – der so genannte Spiegel – wird durch den Oberstempel samt Unterstempel so weit nach unten gedrückt, bis das Werkstück vollständig gelocht ist. Abschließend wird der Oberstempel aus dem Werkstück zurückgezogen und die beiden Gravurhälften werden geöffnet. Das gelochte Schmiedestück sowie der Spiegel können dem Werkzeug entnommen werden.

Untersuchung der Bauteile Simulation

Durch Stofffluss-Simulationen mittels der Finite-Elemente-Methode (FEM) konnte die prinzipielle Anwendbarkeit des Verfahrens für Langteile nachgewiesen werden. Anhand des Umformgrads im Werkstück und der auftretenden Spannungen im Werkzeug wurden die Simulationen analysiert und bewertet, um iterativ die Werkstück- und Werkzeugform bestimmen zu können.

Erfolgt das Schließen der Gesenke umformfrei können die bei der anschließenden Umformung auftretenden Spannungen von den Werkzeugen nicht aufgenommen werden. Während der Umformung treten bis zur vollständigen Gravurfüllung im Kopfbereich des Bauteils Spannungen von 1540 bis 3500 N/mm² auf. Diese übersteigen die Belastungsgrenze

des Werkzeugstahls (Dehngrenze $R_{p0,2} = 790 \text{ N/mm}^2$), sodass eine alleinige Umformung durch den Umformstempel nicht realisierbar ist.

Zur Verringerung der auftretenden Spannungen erfolgt daher während des Schließens der Gesenke eine Vorformung

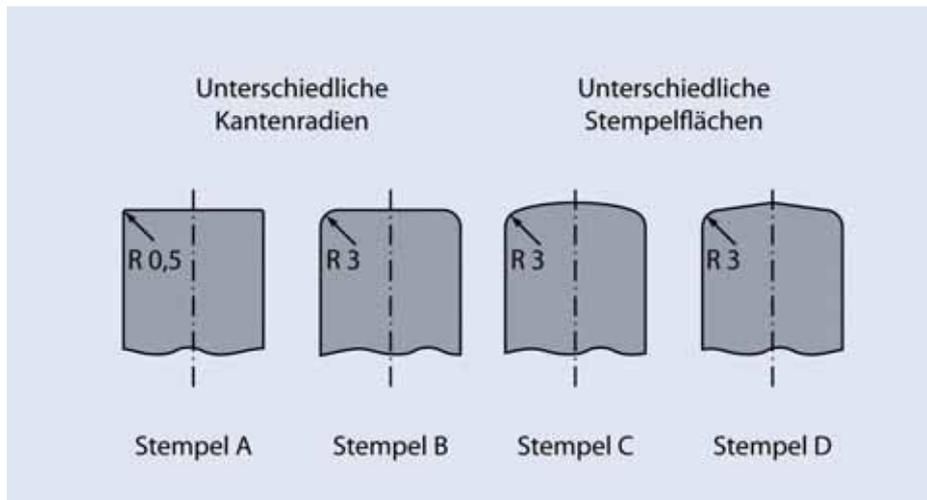


Bild 2: Stempelgeometrien der Lochstempel.

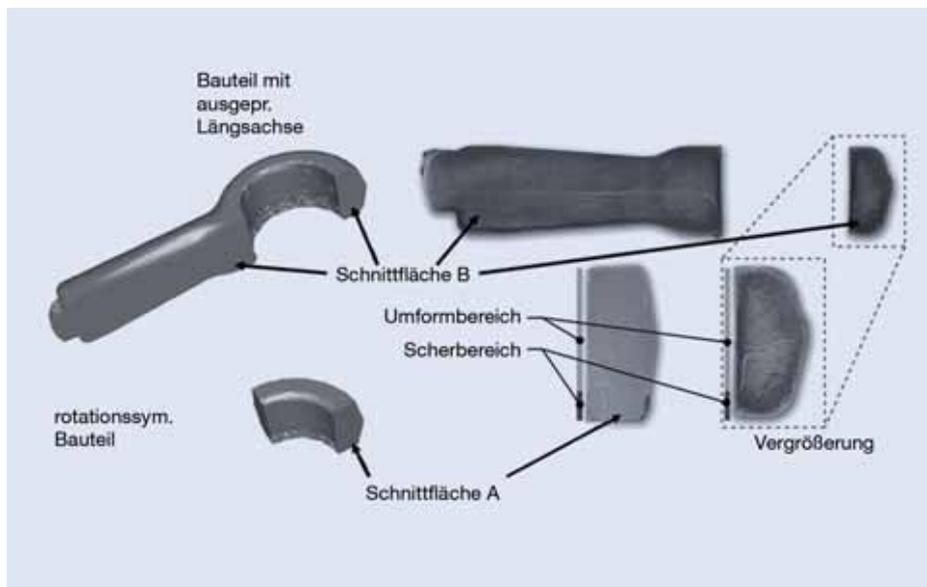


Bild 3: Faserverlauf.

Abschervorrichtung gewährleistet. Ab dem Zeitpunkt der Formfüllung steigt der Gravurrinnendruck durch die fortlaufende Bewegung des Oberstempels rapide an. Überschreitet die auf dem Unterstempel wirkende Kraft einen definierten Betrag, gibt der Freischaltmechanismus den Unterstempel nach unten frei, in dem die Scherstifte der Vor-

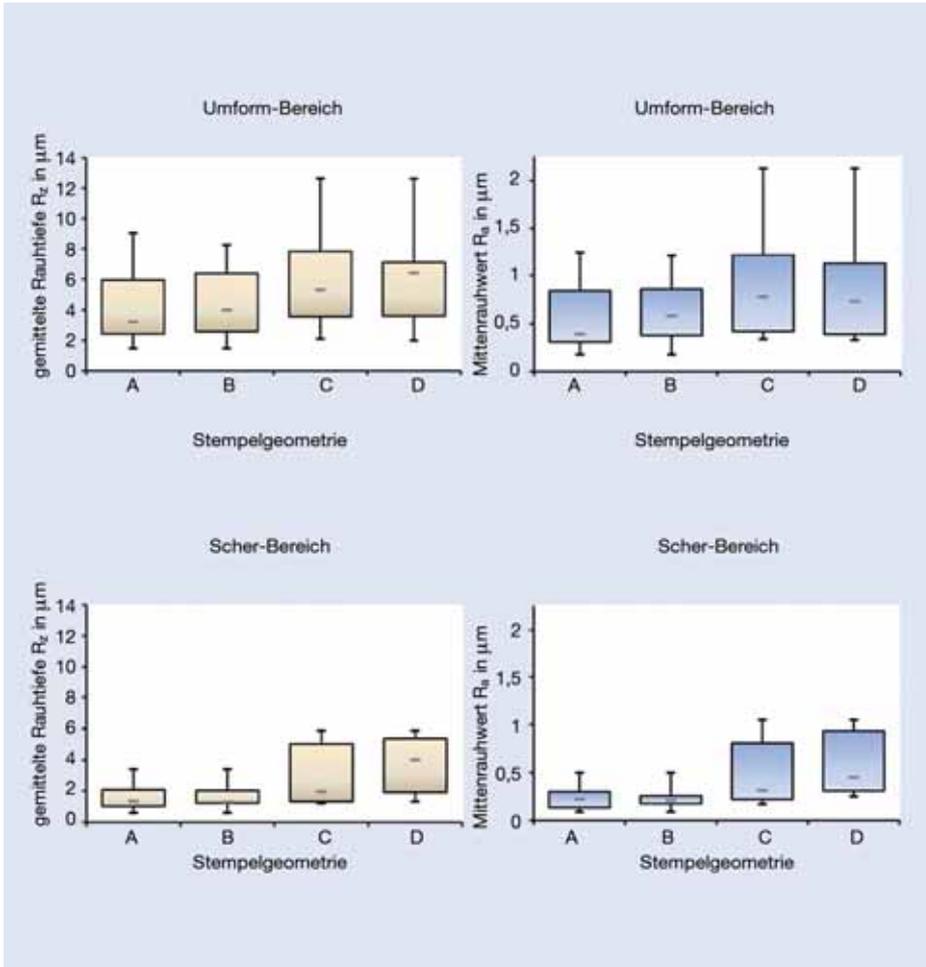


Bild 4: Box-Plot-Diagramm der Rauheitswerte des gescherten und des umgeformten Bereichs. Bilder: Autoren

der Bauteile. Durch die Vorformung werden die maximal auftretenden Spannungen beim Einfahren des Umformstempels auf circa 520 N/mm² verringert. Das Einfahren des Stempels führt zu keiner Aufweitung der Gesenke, die eine Gratbildung begünstigen könnte, da die erforderliche Schließkraft durch die Federelemente aufgebracht wird.

Das Verschleißverhalten der Umform- und Lochstempel wird vorwiegend von der thermomechanischen Belastung bestimmt. Dieses Belastungskollektiv lässt sich jedoch durch die geometrische Form der Schneidkante und der Stempelstirnfläche beeinflussen. So wurde z. B. für das Schneiden von Blechen der Einfluss verschiedener Schneidkantengeometrien auf das Verschleißverhalten und die Schnitt- und Bauteilqualität untersucht, wobei sich zum Teil erhebliche Unterschiede

feststellen ließen [Her03]. Die beim Scherschneiden von Blechen gewonnenen Erkenntnisse lassen sich jedoch nur eingeschränkt auf den Umform-/Lochprozess übertragen, da hier andere Prozessrandbedingungen vorliegen. Daher wurde, um das Verschleißverhalten und den Einfluss auf die Lochungsoberflächen betrachten zu können, die Umformung mit unterschiedlichen Stempelgeometrien simuliert. Anhand der entstehenden Spannungen und Kräfte während der Umformung wurden vier Stempelgeometrien (siehe Bild 2) für anschließende Schmiedeveruche ausgewählt.



Dipl.-Ing. (FH)
Judith Kerkeing



Dipl.-Wirt.-Ing.
Karsten Müller



Dr.-Ing. Dipl.-Oec.
Rouven Nickel

Schmiedeveruche und Auswertung

Zur Verifikation der Simulationsergebnisse wurden Schmiedeveruche durchgeführt. Für die Schmiedeveruche wurden folgende Parameter aufgrund der Erfahrungen bei den Versuchen mit rotationssymmetrischen Bauteilen festgelegt:

- Werkstücktemperatur 1200 °C
- Erwärmung der Werkstücke in Glühkohle, um Verzunderungen zu vermeiden
- Werkzeug mit TiB₂ beschichtet
- Schmierung mit Graphit-Wasser-Gemisch.

Zum Schmieden wurde eine 11000 kN Spindelpresse von der Firma Müller-Weingarten verwendet. Um ähnliche Versuchsbedingungen wie bei der Simulation zu realisieren, wurde das Werkzeug mit Heizpatronen und -öl auf eine Temperatur von 110 °C eingestellt. Die Temperatur wurde mit Hilfe eines Pyrometers und einer Thermografiekamera überwacht. Um die Freischaltung des Unterstempels zum richtigen Zeitpunkt realisieren zu können, wurde der Freischaltmechanismus für jeden durchgeführten Versuch mit der vorher berechneten Anzahl an Scherstiften ausgestattet. Zur Festlegung der Scherstiftenanzahl wurden hier die resultierenden Kräfte aus den Simulationsergebnissen herangezogen.

Des Weiteren wurde während der Versuche der Lochstempel ausgetauscht, um die unterschiedlichen Lochstempelgeometrien und ihre Einflüsse auf die Lochungsoberfläche und das Verschleißverhalten zu untersuchen. Je Lochstempelgeometrie wurde eine Stückzahl n = 15 Bauteile gefertigt. Die geschmiedeten Bauteile wurden unter anderem auf Maßgenauigkeit, Rauhtiefe und Faserverlauf untersucht.

Die Schmiedeteile wurden auf einer Koordinatenmessmaschine der Firma Stiefelmayer vermessen. Die ermittelten Durchmesser im oberen Bereich der Lochung liegen in einem Toleranzbereich von 0,1 mm. Zielwert des Lochungsdurchmessers war 30 mm und der gemittelte gemessene Lochungsdurchmesser beträgt 29,65 mm. Auffällig ist hier die Abnahme des Durchmessers im Scherbereich im Vergleich zu der bauchigen Ausprägung bei den rotationssymmetrischen Bauteilen. Dies lässt sich durch die unterschiedliche Ausrichtung der Faserverläufe im Scherbereich der Lochung aufgrund der unterschiedlichen Faserverläufe der Rohteile begründen.

Der Faserverlauf in den Rohteilen der rotationssymmetrischen Bauteile verläuft parallel zur Verfahrrichtung des Lochstempels, sodass ein Abreißen des Materials beim Durchlöcheren nicht von den Fasern behindert wird. Die Rohteile der Bauteile mit ausgeprägter Längsachse weisen einen Faserlauf

rechtwinklig zur Verfahrrichtung des Lochstempels auf, sodass beim Durchlochen des Bauteils die Fasern in den Scherbereich gezogen werden und sich das Material somit eng an den Lochstempel anlegt. Der Lochstempel muss hier die Fasern durchtrennen. Dies führt zu einem kleineren Durchmesser im Scherbereich der Lochung. Das Abreißen bzw. nicht Abreißen der Fasern ist deutlich zu erkennen und wurde durch FEM-Simulationen bestätigt (siehe Bild 3).

Die Rauheitsmessungen in der Lochung wurden mit einem mobilen Perthometer T1000 und einem Linearvorschubgerät LV 15 der Firma Hommel durchgeführt. Die durchgeführten Rauheitsmessungen in Umformrichtung ergaben vergleichbare Ergebnisse zwischen beiden Bauteiltypen. In Bild 4 sind die Rauheitswerte des Bauteils mit ausgeprägter Längsachse in einem Box-Plot-Diagramm mit oberen und unterem Quartil, Medianwert, sowie Maximum und Minimum dargestellt. Hierbei wurden Rauhtiefen (R_z) von 1,48 und 12,63 μm im Extremfall gemessen. 50 % der Messwerte lagen in einem Bereich R_z 2,44 bis 7,84 μm mit einem Medianbereich von 3,24 bis 6,41 μm . Der Mittenrauhwerte (R_a) wurde mit 0,18 und 2,13 μm im Extremfall gemessen. Dabei lagen 50 % der Messwerte in einem Bereich R_a 0,31 bis 1,13 μm und in einem Medianbereich R_a 0,39 bis 0,78 μm . Das Fertigungsverfahren Fräsen wird nach [DIN4766-1, DIN4766-2] mit Werten R_z von 10 bis 63 μm und R_a von 1,6 bis 12,5 μm angegeben. Aufgrund der niedrigen Rauheitswerte, die zu einer hohen Oberflächen-güte führen, ist die Herstellung einbaufertiger Flächen bei beiden Bauteilen gegeben. Die Untersuchungsergebnisse zeigen keine signifikanten Einflüsse der Stempelgeometrien auf die Oberflächengüte der Lochungsoberfläche.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Machbarkeit eines kombinierten Umform- und Lochprozesses bei präzisionsgeschmiedeten Bauteilen wurde durch die abgeschlossenen DFG-Forschungsprojekte nachgewiesen. Des Weiteren wurde bewiesen, dass die hergestellten Bauteile ohne weitere spanende Nachbearbeitung im Bereich der Lochung einsetzbar sind.

Die bisherigen Untersuchungen wurden mit nur einem wirkenden Umform-/Lochstempel durchgeführt. Aufgrund der komplexeren Geometrie vieler Schmiedeteile (zum Beispiel Achsschenkeln) sollte das Verfahren auf mehrere Umform-/Lochstempel erweitert werden. Bei der Anwendung mehrerer Umform-/Lochstempel kann die Umformung der Bauteile während des Schließens der Gesenke eliminiert und die Umformung lediglich durch die Umform- und Lochstempel realisiert werden.

Zusätzlich zu diesen Modifikationsmöglichkeiten des Werkzeuges sollte der Serienbetrieb des Werkzeugprinzips untersucht werden. So kann die industrielle Anwendungsmöglichkeit des Werkzeugs für schnell laufende Pressen überprüft werden. In der industriellen Fertigung wird z. B. mit 100 Hub pro Minute gefertigt. Viele Bauteile wie z. B. Flansche und Kegelräder mit Durchbrüchen werden derzeit auf schnell laufenden Horizontalpressen gefertigt. Das Werkzeugprinzip sollte dahingehend modifiziert werden, dass die Anwendungsmöglichkeit auf Horizontalpressen gegeben ist. ■

Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung zur Durchführung des Forschungsprojekts.

Literatur:

[Ste09] Stenum GmbH: Typische Kostenstrukturen in der Automobilzuliefererindustrie.

<http://www.stenum.at/?id=wissenswertes/wissenaktuell/Materialkostenanteil>, 03.07.2009.

[Kud90] Kudo, H.: Towards Net Shape Forming. In: Journal of Materials Processing Technology, Bd. 22 (1990), S. 307/342.

[Mat90] Matsushita, T.: Improvement for Closed-Tolerance Forging and Extrusion in Japan. In: Journal of Materials Processing Technology, Bd. 22 (1990) 3, S. 223/238.

[Mue09] Müller, S.: Präziseres Schmieden mit 100 % Materialeffizienz. In: Intelligenter Produzieren, VDMA Verlag GmbH, o. Jg. (2009), H. 5, S. 32-33.

[Beh06] Behrens, B.-A.; Meyer, E.; Reinsch, S.; Schott A.: Combined Forging and Through Hole Piercing. In: WGP Annalen, Carl Hanser Verlag, Vol. 13 (2006), No. 2, p. 87.

[Her03] Herold, J.: Einfluss der Kantengestaltung von Schneidstempeln beim Scherschneiden auf die Stempelstandzeit, www.utfscience.de, II/2003 (2003).

[DIN4766-1] DIN 4766-1, Ausgabe:1981-03 „Herstellverfahren der Rauheit von Oberflächen; Erreichbare gemittelte Rauhtiefe R_z nach DIN 4768 Teil 1“.

[DIN4766-2] DIN 4766-2, Ausgabe:1981-03 „Herstellverfahren der Rauheit von Oberflächen; Erreichbare Mittenrauhwerte R_a nach DIN 4768 Teil 1“.