

## Analysis for Producing Curved Parts during Open-Die Forging through Superimposed Bending Stresses

Today, open-die forging is primarily used for producing long and straight parts, whereas the production of complex parts can only be achieved with great effort using this technology. One approach for expanding the geometry spectrum which may be produced in open-die forging for curved parts involves influencing the material

flow during forging by means of superimposed bending stresses and enabling the process-integrated production of complex parts using low bending forces.

# Untersuchung zur Herstellung gekrümmter Bauteile beim Freiformschmieden durch überlagerte Biegespannungen

Martin Wolfgarten M.Sc.,  
Dipl.-Ing. Dirk Rosenstock und  
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hirt, Aachen

Heutzutage wird das Freiformschmieden in erster Linie zur Herstellung langer und gerader Bauteile eingesetzt, während die Fertigung komplexer Bauteile nur mit großem Aufwand zu realisieren ist. Ein Ansatzpunkt zur Erweiterung des produzierbaren Geometriespektrums im Freiformschmieden für gekrümmte Bauteile besteht darin, durch überlagerte Biegespannungen den Materialfluss während der Umformung zu beeinflussen und unter Aufwendung geringer Biegekräfte die prozessintegrierte Fertigung komplexer Teile zu ermöglichen.

### Einleitung

Das Freiformschmieden ist ein inkrementelles Umformverfahren, bei welchem der Ausgangsgussblock zu seiner finalen Geometrie geschmiedet wird. Freiformgeschmiedete Bau-

teile zeichnen sich dabei durch ihre guten mechanischen Eigenschaften aus. Das Geometriespektrum beim Freiformschmieden umfasst jedoch vor allem lange und gerade Bauteile.

Andererseits existiert zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrt [1] und für hochbelastete Bauteile [2] ein Bedarf zur Fertigung komplexer freiformgeschmiedeter Komponenten.

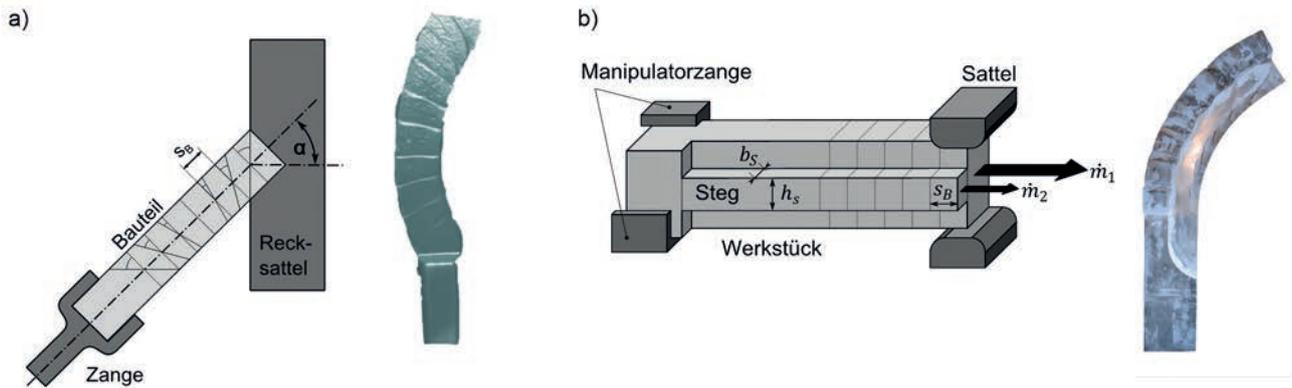


Bild 1: a) Schrägecken [3], Draufsicht und Bauteilgeometrie. b) Schmieden eines profilierten Blocks [4], Draufsicht und Bauteilgeometrie.

Bisher wurden verschiedene Verfahrensansätze zur Fertigung gekrümmter Bauteile durch das Freiformschmieden untersucht. Ein Beispiel ist das sogenannte „Schrägecken“, welches in Bild 1a) in Draufsicht dargestellt ist. Dieses Verfahrensprinzip basiert darauf, dass das Werkstück im Gegensatz zum konventionellen Freiformschmieden um einem Winkel  $\alpha$  zu den Schmiedesätteln ausgerichtet wird. Ein weiterer Ansatz basiert auf der Verwendung von profilierten Vorblöcken und ist in Bild 1b) dargestellt. Durch den unterschiedlichen Materialfluss zwischen Innen- und Außenseite des Blocks stellt sich während des Schmiedens eine Krümmung des Bauteils ein, welche sich abhängig von der Geometrie der Vorform ausprägt.

Aufgrund von verfahrensbedingten Nachteilen und einer hohen Komplexität haben sich diese Verfahren industriell allerdings nicht durchgesetzt.

**Krümmung durch Freiformschmieden**

Ein neuer Ansatz zur Fertigung komplexer Freiformschmiedebauteile besteht darin, eine prozessintegrierte Krümmung und Len-

kung des Materialflusses umzusetzen. Das Verfahren basiert darauf, dass das Werkstück während eines Schmiedehubs mit Hilfe des Manipulators gezielt ausgelenkt wird. Da sich die Umformzone bereits infolge des Pressenhubs im plastischen Zustand befindet, bewirkt die Überlagerung geringer Biegespannungen eine gezielte Beeinflussung des Stoffflusses. Dies bietet den Vorteil, dass sich die Geometrie entsprechend der Manipulatorbewegung einstellen lässt. Allerdings kommt es darauf an, die erforderlichen Biegekräfte so weit zu reduzieren, dass sie vom Manipulator aufgebracht werden können. Gerade dies ergibt sich aus der bewusst gleichzeitigen Bewegung des Manipulators und Pressenhubs, da dann der plastische Zustand bereits durch den Schmiedehub herbeigeführt wird. Der Prozess wird bei diesem Konzept durch folgende Haupteinflussparameter charakterisiert und ist in Bild 2a) exemplarisch dargestellt:

- Bissverhältnis  $s_B/h_0$
- Höhenabnahme  $\epsilon_h = (h_0 - h_1)/h_0$
- Biegewinkel  $\alpha_H$
- Länge des Hebelarms  $R$
- Pressengeschwindigkeit  $V_W$

**Untersuchung des Prozesses für eine Krümmung in vertikaler und horizontaler Ebene**

Da Realversuche aufgrund der typischen Größe von Freiformschmiedestücken sehr aufwendig sind, erfolgte eine erste Machbarkeitsstudie unter Nutzung der numerischen Simulation des Prozesses und anhand skalierter Modellversuche. Dazu wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, bei welchem die Höhenabnahme mittels einer Stauchpresse sowie die überlagerte Biegung durch einen Spindeltrieb realisiert wurden (Bild 2b)). Für die ersten Validierungsversuche wurden Proben einer Geometrie von 20 x 20 x 200 mm des Werkstoffs Al 99.5 bei Raumtemperatur untersucht.

Bild 3 verdeutlicht den Verlauf des Biegemoments als Funktion des Biegewinkels für eine Biegung parallel zur Schmiederichtung. Exemplarisch ist für eine Höhenabnahme von 15 Prozent ebenfalls der Verlauf des Biegemoments aus der numerischen Simulation dargestellt. Ein Vergleich zeigt, dass durch die Überlagerung einer Biegung während eines Schmiedehubs das benötigte Biegemoment gegenüber der reinen Biegung für die gewählten Parameterkombinationen um zirka 50 Prozent

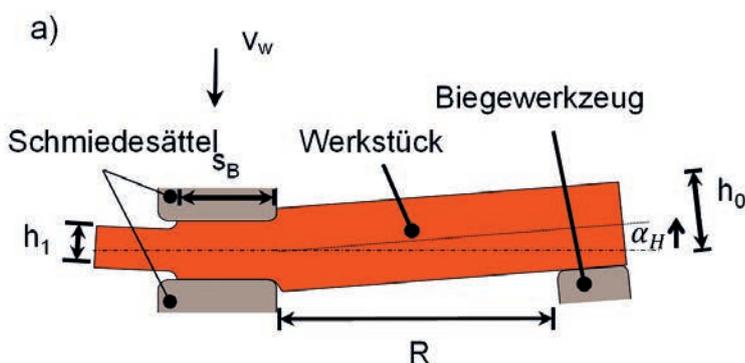


Bild 2: a) Prozessprinzip „vertikale“ Biegung: Parallel zur Schmiederichtung. b) CAD-Zeichnung Versuchsaufbau.

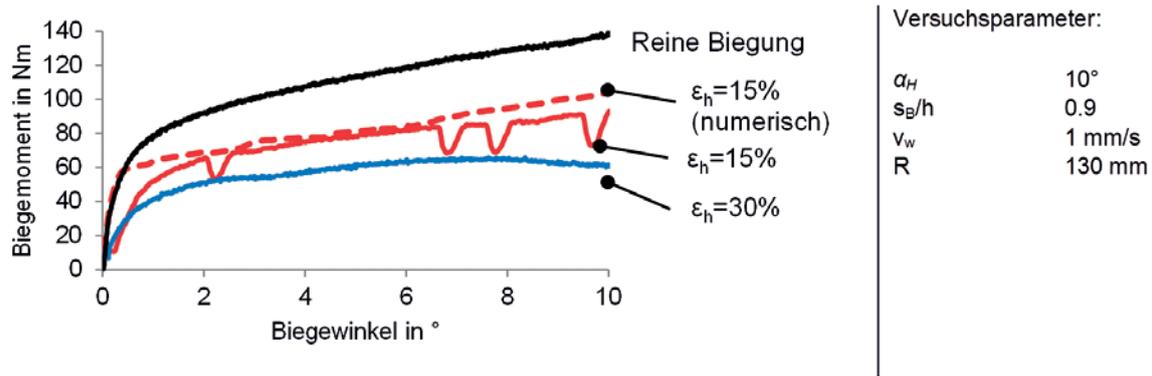


Bild 3: Experimentelle Ergebnisse zur vertikalen Biegung.

reduziert werden kann. Mit einer deutlich reduzierten Kraft lässt sich somit eine signifikante Krümmung des Werkstücks von 10° mit bereits einem Hub erzielen. Die grundsätzliche Erwartung, dass durch die überlagerte Biegung das benötigte Biegemoment reduziert werden kann, ist somit erfüllt. Die gute Übereinstimmung des gemessenen Biegemoments aus der numerischen Simulation mit den experimentell ermittelten Werten für eine Höhenabnahme von 15 Prozent verdeutlicht, dass die numerische Simulation mit hinreichend guter Genauigkeit zur Auslegung des Prozesses verwendet werden kann.

**Zielgrößenanalyse für eine Biegung in vertikaler und horizontaler Richtung**

Für die Übertragung auf die industrielle Anwendung ist insbesondere von Bedeutung, welche Krümmungen bei herkömmlichen Schmiedeorobotern erzielt werden können. Als maßgebliche Anlagengrenze kann dabei das maximal aufzubringende Lastmoment  $M_{B,max}$  identifiziert werden. Daher wurde mittels Anwendung der numerischen Simulation untersucht, welchen Einfluss die verschiedenen Prozessparameter auf die Zielgröße „maximales Biegemoment“ aufweisen. Dazu wurde der Einfluss der Prozessparameter „Bissverhältnis“, „Höhenabnahme“ und „Biegewinkel“ auf diese Zielgröße betrachtet. Der relative Ef-

fekt nach Montgomery [5] der einzelnen Parameter auf die Zielgröße wurde dabei ausgewertet. Dazu wurden je zwei Bissverhältnisse (0,6; 0,9), drei Höhenabnahmen (5; 15; 30 Prozent) und drei Biegewinkel (2°; 5°; 10°) untersucht.

Die folgenden Ergebnisse sind in Bild 4a) für die Vertikale und in Bild 4b) für die horizontale Komponente dargestellt.

Für die Biegung in vertikale und horizontale Richtung ist der Einfluss der verschiedenen Prozessparameter ähnlich. Demnach ist das maximale Biegemoment nur wenig vom gewählten Bissverhältnis abhängig. Bereits bei einem Bissverhältnis von 0,6 scheint die plastifizierte Zone zwischen den Schmiedesätteln groß genug zu sein, sodass eine weitere Vergrößerung desselben keinen Einfluss auf das aufzuwendende Biegemoment hat.

Die Höhenabnahme hingegen zeigt einen wesentlich größeren Einfluss auf das maximale Biegemoment, da für eine größere Höhenabnahme eine wesentliche Reduktion des benötigten Biegemoments erzielt werden kann. Dies wird durch verschiedene Effekte hervorgerufen. Einerseits wird durch eine größere Höhenabnahme der zu biegende Querschnitt reduziert. Weiterhin wird bei gleichbleibender Werkzeuggeschwindigkeit durch eine größere

Höhenabnahme die verfügbare Biegezeit erhöht, sodass die Biegung selbst mit einer geringeren Biegegeschwindigkeit erfolgen kann. Zuletzt führt eine größere Höhenabnahme zu einem insgesamt höheren Materialfluss in Längsrichtung, sodass der Anteil des benötigten Materialflusses zur Einstellung der Krümmung geringer wird.

**Zusammenfassung und Ausblick**

Die im Rahmen dieses Artikels dargestellten Voruntersuchungen zur Erweiterung des Geometriespektrums beim Freiformschmieden durch überlagerte Manipulatorbewegungen bestätigen die grundsätzliche Nutzbarkeit der Verfahrensidee und die Reduktion der erforderlichen Biegemomente. Durch die gezielte Aufprägung einer äußeren Biegung kann unter Aufwendung geringer Biegemomente eine Krümmung des Bauteils realisiert werden. Das benötigte Biegemoment, als Zielgröße für die Anwendbarkeit des Verfahrens, kann abhängig von den Prozessbedingungen in diesem Fall um bis zu 50 Prozent reduziert werden.

Für eine weitere Untersuchung des Verfahrens ist insbesondere die Übertragung auf einen größeren Maßstab und die Realisierung von gekrümmten Bauteilen in einer Überschmiedung von besonderem Interesse. Bild 5a) zeigt eine erste Aufnahme der Übertragung des Ver-

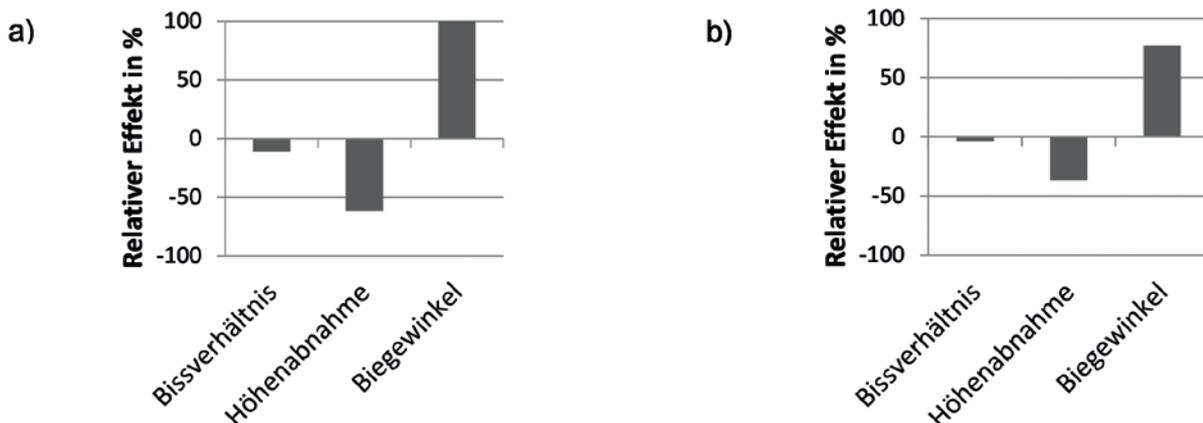


Bild 4: a) relativer Effekt der Versuchsparameter auf „ $M_{B,max}$ “ vertikal. b) relativer Effekt der Versuchsparameter auf „ $M_{B,max}$ “ horizontal.

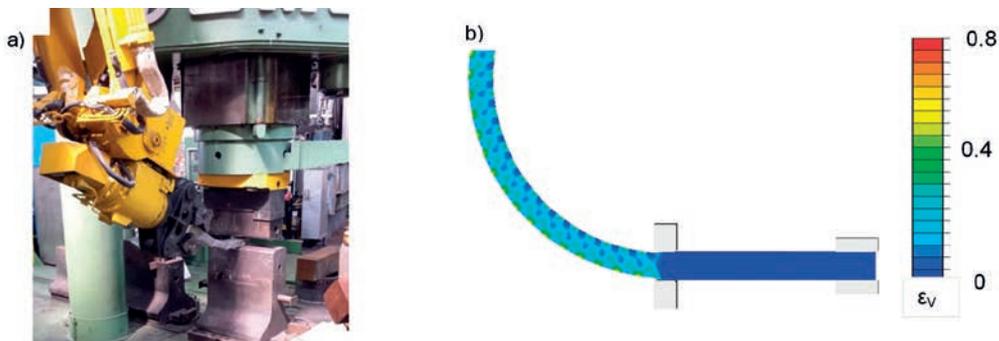


Bild 5: a) Manipulator im Eingriff beim Biegen von Bauteilen; b) Dehnungsverteilung beim Schmieden eines Bogens.

Bilder: Autoren

fahrens auf die Schmiedeanlage des Instituts für bildsame Formgebung (IBF) unter Verwendung eines Schmiederoboters. Die erste numerische Untersuchung der Kombination mehrerer Hübe in Bild 5b) verdeutlicht, dass das Verfahren grundsätzlich dazu angewandt werden kann, um auch bei räumlich begrenzten Manipulatorauslenkungen die prozessintegrierte Fertigung komplexer Schmiedebauteile zu ermöglichen. Mit jeweils nur einer geringen Auslenkung von 5° pro Hub war es möglich, in einer Überschmiedung einen Bauteilwinkel von über 90° zu realisieren. ■



Martin Wolfgarten



Dirk Rosenstock



Prof. Dr. Gerhard Hirt

### Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Projekts HI 790/49-1 „Erweiterung des Geometriespektrums beim Freiformschmieden durch überlagerte Spannungszustände“.

### Literatur

- [1] Otto Fuchs KG: online, Abruf am 22.04.2015; <http://www.otto-fuchs.com/>
- [2] R. Kind: Gummersbach, online, Abruf am 22.04.2015; [www.r-kind.de](http://www.r-kind.de)
- [3] Dürr, O.: Beitrag zur Qualitätsverbesserung beim Freiformschmieden von Langprodukten und gekrümmten Formteilen, RWTH Aachen, 2007.
- [4] Ziegelmayr, O. et al.: Untersuchung zur Herstellung flächig gekrümmter Bauteile durch den Einsatz der Robotertechnik beim Freiformschmieden, in: Mat.-wiss. u. Werkstofftech., 35 (2004), S. 447 – 453.
- [5] Montgomery, D.C.: Design and analysis of experiments, 7th ed., Wiley, Hoboken, NJ, 2009.