

## Current Developments in Incremental Forging

Incremental forming processes demonstrate a series of advantageous characteristics which make them ideally suitable for a large number of possibilities. As a result of recent developments in process monitoring and control technologies in the last few years, these processes are gaining increasing importance.

# Aktuelle Entwicklungen der inkrementellen Massivumformung

Prof. Dr.-Ing.  
Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
Peter Groche,  
Dipl.-Ing. Markus Türk,  
M.Sc. Okan Görtan und  
Dr.-Ing. Hans-Willi Raedt,  
Darmstadt

Inkrementelle Umformverfahren weisen eine Reihe vorteilhafter Eigenschaften aus, die sie für eine Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten prädestiniert. Aufgrund neuer Entwicklungen in der Prozessüberwachungs- und Steuerungstechnologie in den letzten Jahrzehnten gewinnen diese Verfahren wieder zunehmend an Bedeutung.

### Einleitung

Inkrementelle Umformverfahren sind die ältesten bekannten Metallumformverfahren in der Geschichte der Zivilisation. Im prähistorischen Alter wurden sie verwendet, um einfache Werkzeuge, zeremonielle Gegenstände und einfache Kampfmittel aus Kupfer [1] herzustellen. Mit der Entwicklung neuerer Materialien wie Bronze und Damaskus-Stahl wurden zunehmend inkrementelle Verfahren zur Herstellung der verhältnismäßig hoch entwickelten Einzelteile [2] angewendet. Da die industrielle Anwendung dieser Verfahren eine genaue Steuerung des Prozesses erfordert, waren inkrementelle Umformprozesse nach der industriellen Revolution nicht in der Lage, mit den neu entwickelten, verhältnismäßig einfachen Umformverfahren, wie zum Beispiel mehrstufigem Gesenkschmieden, zu konkurrieren. Infolgedessen verloren diese Verfahren im 20. Jahrhundert an Bedeutung [3].

Aufgrund neuer Entwicklungen in der Prozessüberwachungs- und Steuerungstechnologie in den letzten Jahrzehnten gewinnen inkrementelle Umformverfahren jedoch wieder zunehmend an Bedeutung. Zusätzlich zu den herkömmlichen Vorteilen der Massivumformung, wie zum Beispiel günstigem Faserverlauf und durch Umformung entstehende Verfestigung, ermöglichen inkrementelle Umformverfahren durch kinematische Formgebung ein hohes Flexibilisierungspotenzial bedingt durch die verwendeten Anlagen, geringe Kosten, niedrige Umformkräfte und die Möglichkeit zur Verarbeitung schwer um-

formbarer Werkstoffe [4]. Insbesondere ist es möglich, durch inkrementelle Kaltmassivumformung hochgenaue Bauteile mit guten Oberflächenqualitäten zu erzeugen. Mit Kaltrundkneten lassen sich beispielsweise Qualitäten bis IT 5 erreichen [5]. Infolgedessen können einbaufertige Bauteile mit komplexer Geometrie durch diese Verfahren kostengünstig hergestellt werden. Die Produktivität liegt dabei zwischen den Span abhebenden und den vollständig abbildenden umformenden Verfahren. Die meisten inkrementellen Verfahren werden sowohl kalt als auch bei höheren Temperaturen durchgeführt.

### Klassifizierung inkrementeller Umformverfahren

Im Allgemeinen sind inkrementelle Verfahren durch eine relativ kleine Umformzone gekennzeichnet, die sich durch das Werkstück bewegt. Dabei wiederholen sich ähnliche Umformschritte während des Prozesses [6]. Die inkrementelle Massivumformung kann in das inkrementelle Schmieden und das inkrementelle Walzen unterteilt werden. Die Einteilung erfolgt dabei nach der Art der Werkzeugbewegung. Vorrangig translatorische Bewegungen werden dem Schmieden und vorrangig rotatorische Bewegungen dem Walzen zugeordnet (Bild 1).

### Neuere Verfahrensentwicklungen

In jüngster Zeit gewinnen inkrementelle Umformverfahren aufgrund zahlreicher Vorteile wieder verstärkt an Bedeutung. Im Bereich der Massivumformung betrifft dies insbesondere

die Verfahren Rundkneten, Axialformen, Glatt- und Festwalzen, Drückwalzen, Kaltgesenkwalzen, Ringwalzen, Querwalzen sowie Profilwalzen. Auf Entwicklungen in diesen Technologien und daraus resultierende Möglichkeiten wird nachfolgend eingegangen.

### Herstellung komplexer Leichtbaukomponenten

Prinzipiell können alle Metalle mittels Rundkneten bearbeitet werden. Dennoch konzentrierte sich die Produktion bislang fast ausschließlich auf konventionelle Stahlbauteile. Aufgrund gestiegener Ansprüche an Leichtbauprodukte in den letzten Jahren finden nun auch Aluminium, Titan und weitere Leichtbaulegierungen Anwendung (Bild 2, links). Da sowohl die Außen- als auch die Innenkontur des Werkstücks mittels Rundkneten geformt werden können, ermöglicht dieser Prozess die Herstellung belastungsoptimierter Bauteile. Diese Eigenschaft macht das Verfahren besonders interessant für Leichtbauprodukte in der Automobil- oder Luftfahrtindustrie (Bild 2, rechts).

### Gezielte Einstellung des Werkstoffgefüges

Das Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen der TU Darmstadt verfolgt den Ansatz, das Rundknetverfahren mit herkömmlichem ECAP (Equal Channel Angular Pressing) zu kombinieren. Somit wird das Ziel verfolgt, hochfeste ultrafeinkörnige Werkstoffe, die vielversprechende Eigenschaften aufweisen, wie zum Beispiel eine außergewöhnliche Kombination von hoher

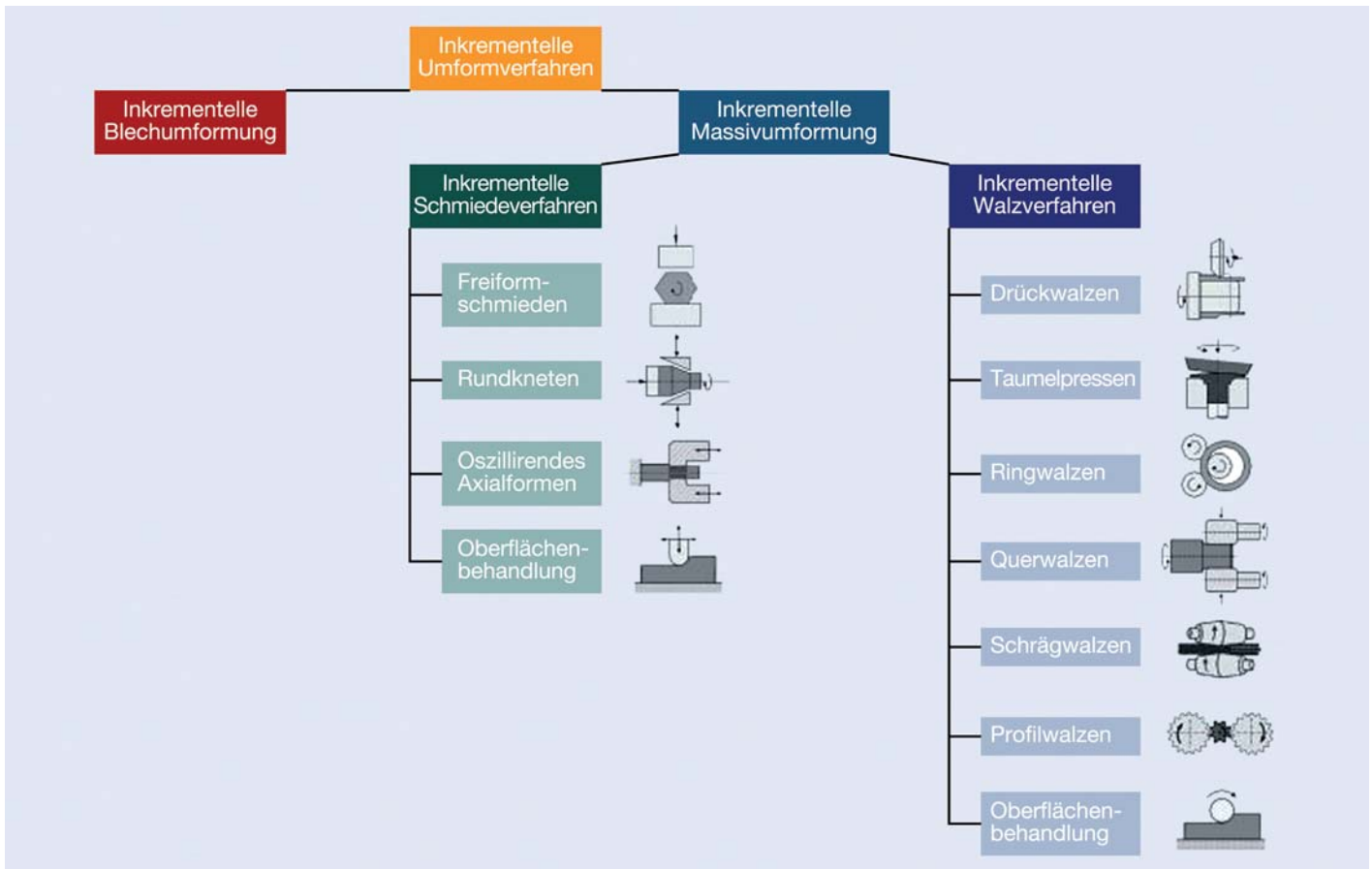


Bild 1: Einteilung der inkrementellen Umformverfahren.

mechanischer Festigkeit und hoher Duktilität, kontinuierlich herzustellen [7].

**Herstellung dünnwandiger verzahnter Wellen**

In Untersuchungen zum Axialformen mit oszillierender Vorschubbewegung wurden Prozessparameter ermittelt, mit denen sich die erforderlichen Kräfte um bis zu 40 Prozent gegenüber dem konventionellen Axialformen verringern lassen [8]. Somit sind wesentlich längere Verzahnungen beziehungsweise Verzahnungen auf dünnwandigen Wellen herstellbar, da die kritische Knicklast erst deutlich später erreicht wird.

**Oberflächenveredlung zur Erhöhung der Lebensdauer**

Glatt- und Festwalzen sind Verfahren zur Oberflächenveredlung durch Reduktion der Oberflächenrauigkeit. Beim Festwalzen findet eine Randschichtumformung statt. Eine

Rolle oder Kugel wälzt mit definierter Kraft auf der Oberfläche des Werkstücks ab. Hierbei werden Druckeigenspannungen ins Bauteil eingebracht, was zu einer Erhöhung der Lebensdauer führt. Es wird bereits erfolgreich an Stahl-, Guss-, Al-, Mg- und auch Ti-Legierungen angewendet (Bild 3). Das Verfahren kann auf konventionellen sowie CNC-gesteuerten Dreh-, Fräs- oder Schleifmaschinen eingesetzt werden. Im Gegensatz zum Kugelstrahlen kommt es eher selten bei Werkstücken direkt nach einer Kalt- oder Warmumformung zur Anwendung.

**Erweiterung des Bauteilspektrums und höhere Flexibilität**

Drückwalzen ist ein etabliertes Verfahren und findet weite Verbreitung in der industriellen Praxis. Dabei wachsen die Abmessungen der mittels Drückwalzen formbaren Bauteile stetig an. Die weltweit größte Drückwalzanlage (Firma Leifeld Metal Spinning AG) ermög-

licht ein Gleichlaufdrückwalzen von Bauteilen mit einer Länge bis 9 m und ein Gegenlaufdrückwalzen bis zu einer Länge von 13 m bei einer Wandstärke von bis zu 30 mm. Kaltgeisenkwalzen ist ein Verfahren zur Erzeugung von Flanschen an Rohrenden. Das Verfahren ermöglicht endformnahe Bauteile mit hoher Oberflächengenauigkeit ohne Unterbrechung des Faserverlaufs [9].

Ringwalzen ist ein flexibles Verfahren, in dem Ringe mit einem Durchmesser von 100 mm bis zu 9.000 mm aus gestauchten und konzentrisch gelochten Vorringen inkrementell umgeformt werden. Unterschiedliche Wanddicken, Bauteilhöhen und Durchmesser können ohne großen Umrüstaufwand realisiert werden. Außerdem ist die Umformung von unterschiedlichen Materialien wie zum Beispiel Stahl, Aluminium, Titan und deren Legierungen möglich.

Profilwalzen ist ein hoch produktives spanloses Umformverfahren. Zwei Rollen, die die negative Form der gewünschten Bauteilgeometrie abbilden, rollen auf dem Werkstück ab, um das Profil zu erzeugen. Die wichtigsten Einsatzgebiete sind die wirtschaftliche Herstellung von Profilen wie Gewindestangen, Schneckengetriebe oder Verzahnungen durch Walzen des Werkzeugprofils auf dem Werkstück. Profilwalzen ist ein flexibler Prozess auch zur Herstellung von leichten Hohlprofilen. In der aktuellen Forschung wird angestrebt,



Bild 2: Leichtbauoptimierte Rundknetbauteile.

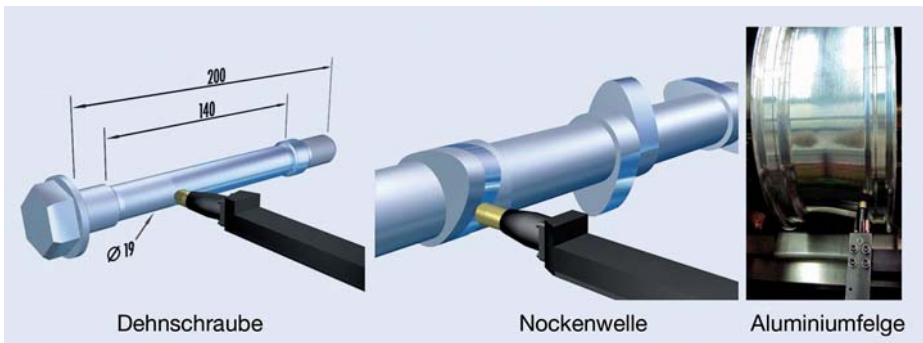


Bild 3: Anwendungsbeispiele des Festwalzens.

innere Verzahnungen durch Profilwalzen zu realisieren. Da das Material in diesem Fall auch von außen unterstützt ist, sind hohe Umformgrade möglich.

### Ressourcenschonung durch optimale Materialverteilung

Querwalzen dient zur Herstellung von abgestuften, rotationssymmetrischen Werkstücken (beispielsweise Achsen, Wellen oder Getriebeschaltblöcke) sowie Vorformen mit optimaler Masseverteilung für anschließendes Gesenkschmieden. Dabei rotiert das Bauteil zwischen zwei oder mehreren gleichsinnig umlaufenden Werkzeugwalzen um seine eigene Achse. Die Endgeometrie wird durch die Zustellung von mindestens einer Walze erreicht.

### Herstellung „smarter“ Strukturen

Weitere Untersuchungen beschäftigen sich mit der umformtechnischen Integration adaptiver Komponenten mittels Drückwalzen und

Rundkneten [10]. Im Vergleich zu herkömmlichen Integrationsmethoden, die in aller Regel differenzielle Bauweisen mit Verschrauben oder Kleben anwenden, erscheinen inkrementelle Umformverfahren für diese Integrationsaufgabe besonders attraktiv, weil sie ohne zusätzliche Fügeiteile auskommen und Füge- und Formgebungsaufgaben gleichzeitig lösen können. Überdies sind Formgebung und die lokale Bauteilbeanspruchung durch die Wahl der Werkzeugbahnen in weiten Bereichen beeinflussbar.

### Zusammenfassung

Inkrementelle Umformverfahren gewinnen aufgrund neuer Entwicklungen in der Prozessüberwachungs- und Steuerungstechnologie in den letzten Jahrzehnten wieder zunehmend an Bedeutung. Aktuelle Forschungen nutzen die Vorteile inkrementeller Umformverfahren in erster Linie zur Herstellung komplexer Leichtbauteile, wie zum Beispiel

innen- und außenverzahnte Antriebswellen durch Axialformen oder Profilwalzen. Zahlreiche neue Prozessentwicklungen in den vergangenen Jahren zeigen das hohe Interesse an inkrementellen Umformverfahren. ■

### Literatur

[1] De Ryck, I., Adriaens, A., Adams, F.: An overview of Mesopotamian bronze metallurgy during the 3rd millennium BC. *Journal of Cultural Heritage* 6 (2005) 261-268

[2] Sherby, O. D., Wadsworth, J.: Ancient blacksmiths, the Iron Age, Damascus steels and modern metallurgy. *Journal of Materials Processing Technology* 117 (2001) 347-353

[3] Groche, P., Fritsche, D.: Inkrementelle Massivumformung – Eine Technologie vor dem Comeback? *wtWerkstattstechnik online* 95 (2005) Nr. 10, S. 798-802. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag

[4] Groche, P.; Fritsche, D.; Tekkaya, E. A.; Allwood, J. M.; Hirt, G.; Neugebauer, R.: Incremental Bulk Metal Forming, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 56 (2), p. 635-656, Jan 2007

[5] Müller, F.: Endkonturnahe Formgebung von Aluminiumteilen durch Rundkneten. *Automobilkreis-Praxistagung „Umformen von Aluminium im Automobilbau“*, Bad Nauheim, 1999

[6] Groche, P.; Heislitz, F.; Jöckel, M.; Jung, S.; Rachor, C.; Rathmann, T.: Modelling of Incremental Forming Processes. *Proceedings of NAFEMS World Congress, Como /Italy, 2001*

[7] Groche, P., Müller, C., Görtan, M., Bruder, E.: Kontinuierliche Herstellung hochfester ultrafeinkörniger Drähte mithilfe des ECAS-Prozesses, *wt-online*, 10-2010, S. 804-811, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf

[8] Schultheis, V.: Oszillierendes Umformen mit direkt angetriebenen Umformmaschinen. *Dissertation. Institute for Production Engineering and Forming Machines, Darmstadt University of Technology (in German), 2007*

[9] Adams, B., Rauschnabel, E., Bejnoud, F.: Kaltgesenkwalzen von Flanschen und anderen Geometrien an Hohl- und Massivwellen, *Schmiede-Journal* September 2010, S. 36-39, Hagen

[10] Türk, M., Groche, P.: Integration of adaptive components by incremental forming processes, *SPIE Smart Structures/NDE*, San Diego, 2010



Bild 4: Bauteilspektrum Ringwalzen (links) und Profilwalzen (rechts).

Bilder: Autoren



Prof. Dr.-Ing.  
Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
Peter Groche



Dipl.-Ing. Markus Türk



M.Sc. Okan Görtan



Dr.-Ing. Hans-Willi Raedt