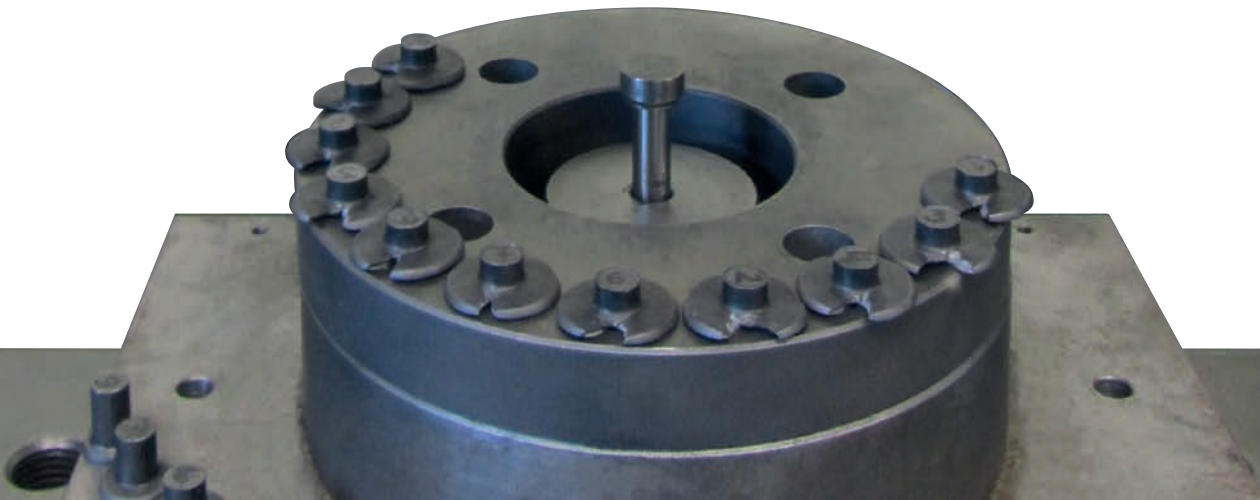


## Prozessnahe Beurteilung der Umformbarkeit beim Kaltfließpressen



Das Ziel der Qualitätssicherung in der Serienfertigung ist unter anderem die Gewährleistung einer hohen Kontinuität des Fertigungsablaufs durch die Vermeidung von Stillstandzeiten. Für das Halbzeug gelten dabei zunehmende Qualitätsanforderungen und dadurch enger zu tolerierende Halbzeugeigenschaften. Gleichsam steigt der Bedarf an Prüfverfahren, die diese Eigenschaften erfassbar und kontrollierbar machen. Ergebnisse eines neuen Prüfverfahrens zur Beurteilung der Umformbarkeit von Kaltstählen in Abhängigkeit von Werkstoffzustand und Prozessparametern werden nachfolgend vorgestellt.

AUTOREN



**Dr.-Ing.  
Sergey Guk**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter  
des Instituts für Metallformung  
der TU Bergakademie Freiberg



**Prof. Dr.-Ing. Prof.  
E.h. mult. Rudolf Kawalla**

ist Direktor des Instituts  
für Metallformung der  
TU Bergakademie Freiberg

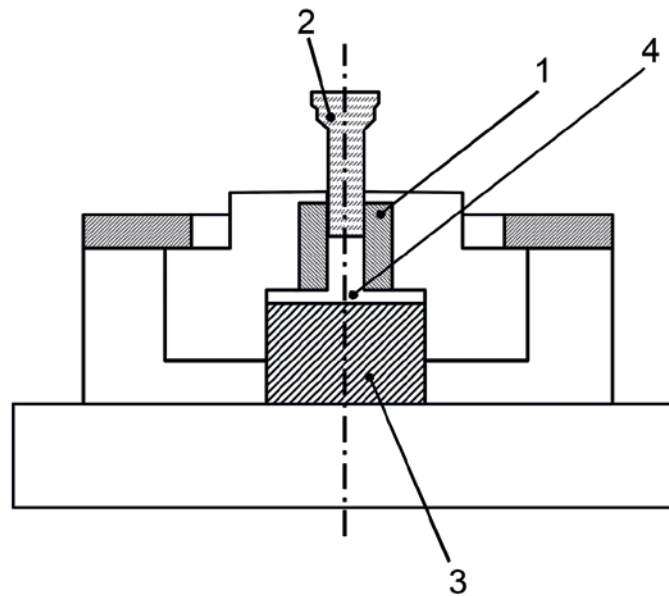


Bild 1: Schematische Schnittdarstellung des Werkzeugs für das alternative Prüfverfahren

**PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG**

Analog zu anderen Fertigungsverfahren steigen im Bereich der Massivumformung die Anforderungen an die Reproduzierbarkeit von Eigenschaften jedes einzelnen Werkstücks. Der Wechsel eines Halbzeuglieferanten oder die Bearbeitung einer anderen Werkstoffcharge kann bekanntlich in der Serienfertigung die Kontinuität des Fertigungsablaufs beim Weiterverarbeiter negativ beeinflussen. Somit muss das Umformvermögen von Ausgangshalbzeugen, das die Versagensgrenze des Werkstoffs unter gegebenen Umformbedingungen wiedergibt, schneller, genauer und einfacher als bisher beurteilt werden. Das Umformvermögen hängt von verschiedenen Einflussgrößen ab, wobei der Werkstoff – in chemischer Zusammensetzung, Reinheitsgrad, Kristallstruktur, Phasenaufbau und beschrieben durch innere Fehler – sowie die Umformbedingungen – wie Spannungszustand, Umformtemperatur, Umformgeschwindigkeit und Reibungsverhältnisse, bedingt durch eine beispielsweise vorbehandelte Oberfläche – die wichtigste Rolle spielen. Voraussetzung für eine störungsfreie und damit

kostengünstige Teilefertigung sind daher verlässliche Kennwerte und einfache Prüfmethode, deren Aussagefähigkeit in einem breiten Feld der genannten Einflussgrößen durch entsprechende Versuche bestätigt und deren Reproduzierbarkeit gewährleistet ist.

**LÜCKEN IM MOMENTANEN STAND DER TECHNIK**

Im Bereich der experimentellen Ermittlung der Umformbarkeit von Stab und Draht werden meistens Zug- [1], Stauch- [2] und Torsionsversuche [3] angewendet. Dank ihrer relativ schnellen und einfachen Beurteilung in einem breiten Temperatur- und Umformgeschwindigkeitsfenster finden sie eine weitverbreitete Anwendung. Allerdings erlauben die im Zug- und Torsionsversuch ermittelten Werkstoffkennwerte allein aufgrund des deutlich abweichenden Spannungszustands beim Kaltfließpressen keine genügend genaue Aussage über die Umformeinigung eines Ausgangshalbzeugs und ermöglichen nur qualitative Aussagen. Sie erlauben insbesondere nicht, mangelhafte Chargen zu identifizieren. Zu weiteren Nachteilen der beiden

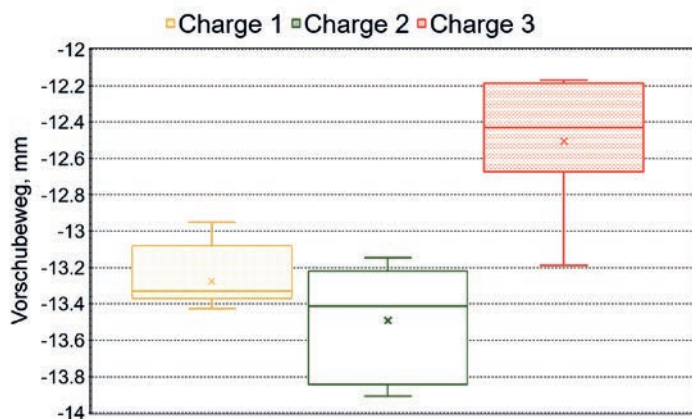


Bild 2: Identifizierung der kritischen Charge des Werkstoffs 1.9413

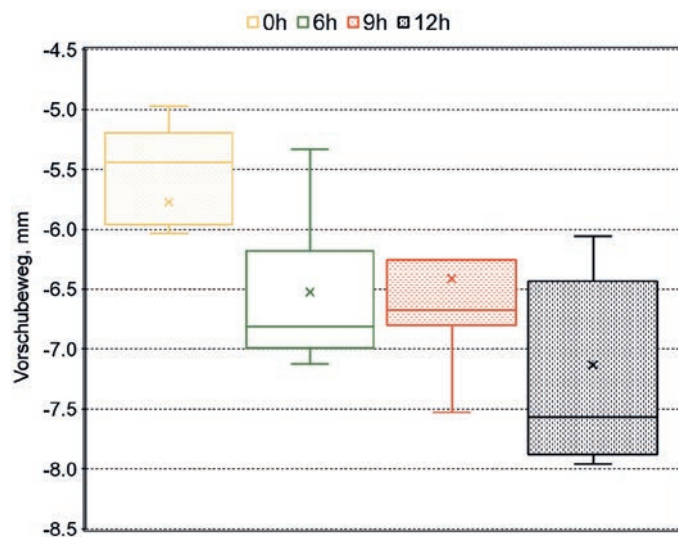


Bild 3: Quantitative Bewertung der Umformbarkeit von unterschiedlich lange auf kugeligem Zementit geblühten Halbzeugen des Werkstoffs 1.7139

Verfahren zählt zudem, dass Einflüsse wie Reibungs- und Schmierungsverhältnisse berücksichtigt werden können. Daher wird häufig in der Massivumformung der Stauchversuch zur Ermittlung der Umformbarkeit herangezogen. Dieser ist zwar dank guter Handhabbarkeit und geringer Werkzeuganschaffungskosten sehr verbreitet, stellt sich allerdings als grenzwertig bei der Bewertung von Werkstoffen zum Einsatz mit komplexen Umformungen heraus. Außerdem weist dieses Prüfverfahren mangelnde Sensibilität bei einem breiten Spektrum von Werkstoffen auf, indem zum Beispiel selbst bei Umformgraden von 95 Prozent keine Rissbildung auftritt. Ferner lässt sich der Zeitpunkt, bei dem der erste Riss entsteht, nicht durch die regulär verbreiteten Kraft- und Wegmesseinrichtungen feststellen. Bei weiteren weniger verbreiteten technologischen Prüfmethoden muss wiederum ein besonderes Augenmerk auf die Übereinstimmung der Grundbeanspruchungen im Versuch und dem Herstellungsfall gelegt werden. Aus diesem Grund sind die Aussagen solcher gut reproduzierbaren, aber die verfahrensspezifischen Randbedingungen der Massivumformung nicht abbildenden Verfahren wie Biege- und Kaltversuche [4] oder Aufweitversuche [5, 6] nur begrenzt für das Kaltfließpressen verwendbar.

### VORRICHTUNG ZUR BEURTEILUNG DER UMFORMBARKEIT

Ein Beispiel der Werkzeuganordnung eines alternativen Prüfverfahrens ist Bild 1 zu entnehmen. Der Prüfling als ein einfach getrennter Drahtabschnitt wird nach gegebenenfalls notwendiger und ähnlich dem Herstellungsfall aufgebracht Schmierung in die Führung 1 eingelegt und mit Hilfe des Stempels 2 bis zum ersten sichtbaren Druckkraftabfall durch eine translatorische Bewegung in Richtung Gegenstempel 3 verformt. Wäh-

rend der Umformung gelangt ein Teil des Probenwerkstoffs in den Hohlraum 4. Dabei müssen die Messwerte der wirkenden Druckkraft und des Vorschubwegs und/oder der Zeit der Vorschubbewegung des Stempels mittels regulär verbreiteter Messeinrichtungen erfasst werden.

Der Vorschubweg und/oder die Zeit der Vorschubbewegung des Stempels, der/die mit dem ersten sichtbaren Druckkraftabfall korrespondiert, stellen einen werkstoffspezifischen quantitativen Kennwert der Umformbarkeit dar und entsprechen dem ersten Risseintritt an der Flanschseite der Probe unter vorgegebenen Umformbedingungen wie beispielsweise Schmierung und Geschwindigkeit. Die Höhe der maximalen Kraft vor dem zweiten und weiterfolgenden Druckkraftabfällen ist aufgrund des unterschiedlichen Werkstoffflusses nach dem primären Werkstoffversagen verschieden und sollte daher nicht zur Beurteilung der Umformbarkeit herangezogen werden.

### ANWENDUNGSBEISPIELE

Im ersten Beispiel werden drei unterschiedliche Chargen des Werkstoffs 1.9413 im warmgewalzten und weichgeglühten Zustand mit phosphatierter Oberfläche untersucht. Der Drahtdurchmesser der Chargen beträgt 10,6 mm. Bei der Verarbeitung einer der Chargen kommt es häufig zu erhöhtem Werkzeugverschleiß und Rissen, insbesondere im Kopfbereich von Schrauben. Die Aufgabe besteht in der eindeutigen Identifizierung der kritischen Charge mit dem neuen Prüfverfahren anhand einer geringen Probenanzahl von sechs Stück, weil in DIN-genormten Zugversuchen keine Unterschiede in den mechanischen Eigenschaften der Chargen festgestellt werden können. Die Prüfung wird mit einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit des Stempels von 2 mm/s durchgeführt. Der Vorschubweg von

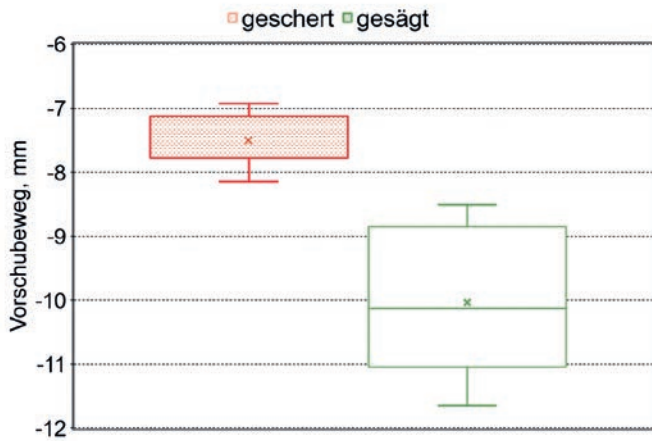


Bild 4: Einfluss des Trennverfahrens und der Ausbildung der Scherkante auf die Umformbarkeit des Werkstoffs 1.1152

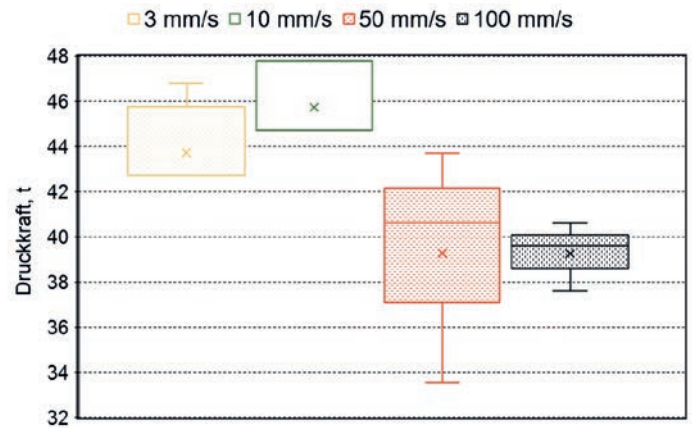


Bild 5: Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit des Stempels auf die Druckkraft beim Auftreten des ersten Druckkraftabfalls für den Werkstoff 1.1302

30 kN beim ersten Druckkraftabfall, ausgehend von der davor wirkenden Druckkraft bei der Vorschubbewegung des Stempels von 145 kN, dient dabei als Kriterium für die Bewertung der Umformbarkeit. Die nach dem ermittelten Druckkraftabfall aus der Werkzeuganordnung entnommene verformte Probe weist einen einzigen radial verlaufenden Riss am Probenflansch auf. Die statistische Verteilung der Daten für den auf diese Weise ermittelten Vorschubweg für jede der untersuchten Chargen in Quartilen zeigt Bild 2. Daraus ist ersichtlich, dass für die Charge 2 der Mittelwert (Kreuze) das Maximum aus den drei Chargen aufweist, wobei sein Unterschied zur Charge 1 geringfügig ausfällt. Der Unterschied in Medianwerten (horizontale Linien) ist zwischen den beiden Chargen noch geringer. Allerdings zeigt die Charge 2 höhere Quartilwerte Q1 und Q3 (die Höhe des jeweiligen gefüllten Rechtecks in Bild 2). Anhand der Streuung außerhalb der oberen und unteren Quartile (Linien in vertikaler Richtung in Bild 2) ist zu erkennen, dass es bei den untersuchten Chargen keine Ausreißer gab. Abschließend ist zu erwähnen, dass die Charge 3 deutlich von den erstgenannten Chargen in Bezug auf die Umformbarkeit abweicht und damit die kritische Charge darstellt. Diese Aussage stimmt mit den industriellen Ergebnissen überein.

Das zweite Beispiel behandelt die Beurteilung der Umformbarkeit des Werkstoffs 1.7139 nach unterschiedlich langem Glühen auf kugeligen Zementit. Die Aufgabe bestand in der quantitativen Bewertung der reduzierten Umformbarkeit einer Charge im Vergleich zu einer korrekt geblühten Charge. Um den Einfluss der Probenoberfläche auf die Umformbarkeit auszuschließen, wurden alle Proben nach der Wärmebehandlung fein abgedreht. Aus Bild 3 ist ersichtlich, dass die

anhand von jeweils sechs Proben ermittelte Umformbarkeit des Werkstoffs mit zunehmender Glühdauer quantitativ spürbar zunimmt. Das Bild zeigt aber auch, dass bereits nach einer Glühdauer von sechs Stunden eine deutliche Verbesserung der Umformbarkeit im Vergleich zum ungeglühten Zustand vorhanden ist.

Im dritten Beispiel wird anhand des Werkstoffs 1.1152 im vorgezogenen und phosphatierten Zustand der Einfluss der Schnittflächenausbildung eines getrennten Drahtabschnitts auf seine Umformbarkeit dargestellt. Bekanntlich kommt es beim Scherschneiden eines Halbzeugs an der Schnittfläche zur Vorverfestigung und Bildung von lokalen Mikrorissen. Das Letztgenannte tritt vor allem auf, wenn ein hoher Verschleiß der Schneidwerkzeuge vorliegt. Wenn dieser Bereich an der anschließenden Umformung teilnimmt, kommt es zum Aufweiten der Risse und zu einem vorzeitigen Versagen im Vergleich zu einem gesägten Halbzeug, bei dem keine solche ausgeprägte Vorverfestigung und keine Mikrorisse vorhanden waren. Die Standardprüfverfahren, wie Zugversuch oder Stauchversuch, lassen die Bestimmung dieses Einflusses an Stab- oder Drahterzeugnissen nicht zu, obwohl dieser eine sehr hohe praktische Bedeutung hat. Wie aus Bild 4 deutlich wird, tritt ein Druckkraftabfall für gesägte Proben erst bei einem größeren zurückgelegten Vorschubweg auf. Damit weisen diese Proben eine höhere Umformbarkeit auf als die scherend getrennten Proben mit einem Anteilverhältnis der Glattschnitt- zur Bruchfläche von rund 30:70.

Im abschließenden vierten Beispiel wird anhand des Werkstoffs 1.1302 der Einfluss der Stempelvorschubgeschwindigkeit



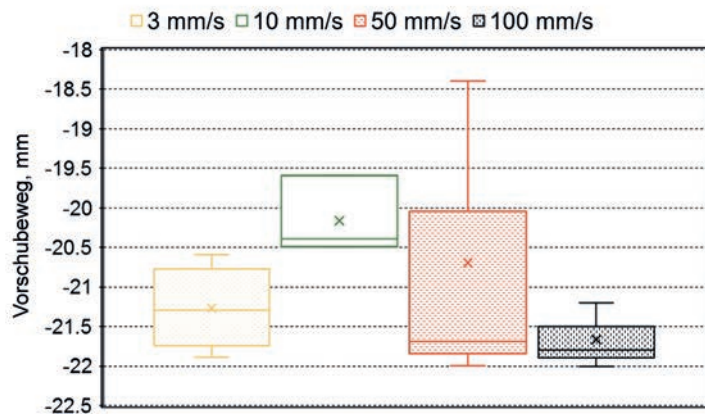


Bild 6: Einfluss der Vorschubgeschwindigkeit des Stempels auf die Umformbarkeit des Werkstoffs 1.1302  
Bilder: Autoren

keit auf seine Umformbarkeit behandelt. Untersucht wurden warmgewalzte Drahtabschnitte mit einem Ausgangsdurchmesser von 17,5 mm. Die Prüflingsoberfläche lag im phosphatierten Zustand vor. Wie aus Bild 5 ersichtlich ist, lagen die Druckkräfte beim Auftreten des ersten Druckkraftabfalls bei allen Proben unterhalb von 48 t. Bild 6 gibt an, dass der Druckkraftabfall während der Verformung der Probe je nach geprüfter Vorschubgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Vorschubwegen des Stempels auftritt. So geht die Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit des Stempels zuerst mit einer Abnahme (Vorschubgeschwindigkeiten 3 mm/s und 10 mm/s) infolge steigender Umformgeschwindigkeit und anschließend mit einer Zunahme der Umformbarkeit des Werkstoffs (Vorschubgeschwindigkeiten 50 mm/s und 100 mm/s) aufgrund zunehmend freiwerdender Umformwärme einher.

## ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Beitrag wurde ein neues Prüfverfahren zur Beurteilung der Umformbarkeit und deren Einsatzvorteile vorgestellt. Die aufgeführten Beispiele betreffen den Bereich der Kaltmassivumformung von gängigen Stahlwerkstoffen. Das Prüfverfahren ist durch seine zahlreichen Vorzüge für eine Anwendbarkeit im laufenden Fertigungsprozess, wie zum Beispiel in einer Drahtwalzstraße oder bei der Eingangsprüfung in Kaltumformbetrieben, prädestiniert.



Die Autoren bedanken sich bei den Herren Dr. Markus Meidert (ThyssenKrupp Presta AG), Dr. Stefan Hoppe (Presswerk Krefeld GmbH & Co. KG), Dr. Thorben Schiemann (Fischerwerke GmbH & Co. KG) und Bastian Zimmermann (Richard Bergner Verbindungstechnik GmbH & Co. KG) für die Bereitstellung der Versuchswerkstoffe in verschiedenen Zuständen, durch die die Durchführung der verschiedenen Versuchsreihen erst ermöglicht wurde.



Die beschriebenen Ergebnisse wurden auszugsweise der Studie 30 der GCFG (German Cold Forging Group) unter dem Titel „Entwicklung eines Verfahrens zur Charakterisierung der Umformbarkeit in der Kaltmassivumformung“ entnommen.



- [1] DIN EN ISO 6892-1: 2009-12: Metallische Werkstoffe – Zugversuch – Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur
- [2] DIN 50106: 1978-12: Prüfung metallischer Werkstoffe; Druckversuch
- [3] DIN ISO 7800: 2013-09: Metallische Werkstoffe – Draht – Einfacher Verwindversuch
- [4] DIN ISO 7801: 2008-10: Metallische Werkstoffe – Draht – Hin- und Herbiegeversuch
- [5] O'Brien, James M. und Hosford, William F.: Spheroidization Cycles for Medium carbon Steels. In: Metallurgical and Materials Transactions A 33A (Apr. 2002), S. 1255 – 1260
- [6] Liewald, Mathias; et al.: Stand der Forschung und Entwicklung im Bereich der Verfahren der Kaltmassivumformung in Europa, 2010, URL: [http://www.umformtechnik.net/binary\\_data/2516505\\_001xx0411ut\\_ifu.pdf](http://www.umformtechnik.net/binary_data/2516505_001xx0411ut_ifu.pdf)