

Bulk Metal Forming of Steel Materials at elevated Temperatures below 500 °C

Bulk metal forming of steel materials at Elevated temperatures below 500 °C is becoming the focus of interest, not only from a scientific but also from an industrial point of view. Forming at these temperatures is considered as a possibility to overcome several disadvantages of conventional cold forging technology. Temperature ranges depending on the material prove to be of particular interest as they go along with increased ductility and declining flow stress. Simultaneously, applying a process control of forming at elevated temperatures expands scope of material and it increases tool lives due to lower forming loads. In this context, current and future main points of research as well as a number of application examples at Institute for Metal Forming Technology (IFU) of University of Stuttgart are being presented.

Umformung im Temperaturbereich zwischen Kalt- und Halbwarmumformung

Lauwarmumformung von Stahl

Prof. Dr.-Ing. Mathias Liewald
MBA,
Dipl.-Ing. Christian Mletzko
und
Dipl.-Ing. Thorben Schieman,
Stuttgart

Bisher fand eine Einteilung der Massivumformverfahren in Bezug auf die Rohteiltemperatur vor der ersten Umformstufe in Kalt-, Halbwarm- und Warmumformung statt. Der Temperaturbereich zwischen Kalt- und Halbwarmumformung wird neuerdings auch als „Lauwarmumformung“ bezeichnet und rückt sowohl aus wissenschaftlicher als auch aus industrieller Sicht in den Fokus des Interesses. Hierzu werden aktuelle und zukünftige Forschungsschwerpunkte am Institut für Umformtechnik (IFU) der Universität Stuttgart sowie einige Anwendungsbeispiele vorgestellt.

Einleitung

Verfahren der Kaltmassivumformung von Stahl ermöglichen, meistens in Grenzen eines gewissen Teile- und Werkstoffspektrums, eine net-shape-Fertigung – die Herstellung von Bauteilen mit einbaufertigen Funktionsflächen – oder zumindest eine near-net-shape-Fertigung mit nur geringem Aufwand an spanender Nacharbeit. Grenzen des Kaltfließpressens bestehen bei der Fertigung von immer komplexer werdenden Bauteilen mit höchsten Qualitätsanforderungen. Das Umformvermögen mancher Werkstoffe reicht für die Herstellung solcher Bauteile durch Kaltumformung nicht aus oder die Werkzeugbelastungen werden so hoch, dass geringe Werkzeugstandzeiten solche Verfahren aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht sinnvoll erscheinen lassen.

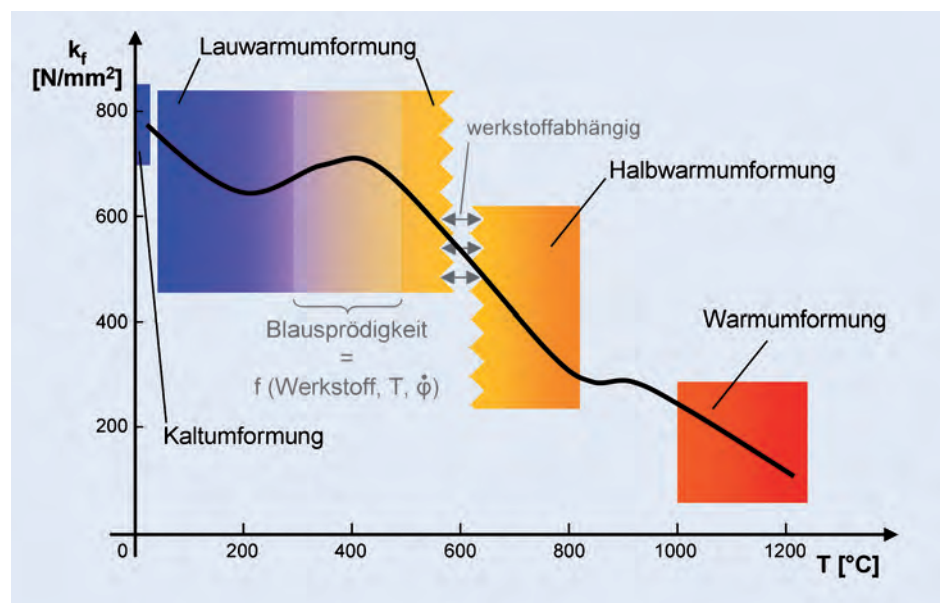


Bild 1: Prinzipielle Abhängigkeit der Fließspannung von der Umformtemperatur für ferritische Stähle nach [LAN08] mit Einteilung der Umformverfahren nach der Temperatur und Kennzeichnung des Blausprödigkeitsbereichs.

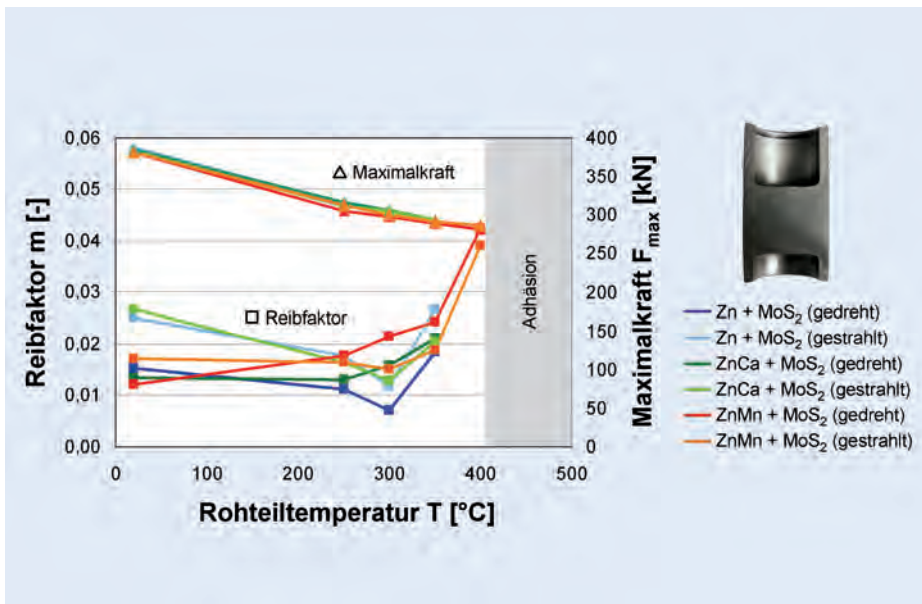


Bild 2: Temperaturabhängige Reibfaktoren und Maximalkräfte für verschiedene Phosphatarten als Konversionsschichten bei Verwendung von MoS₂ als Schmierstoff, ermittelt mit dem DCET.

Auf der Suche nach Lösungen zur wirtschaftlichen Herstellung von Massivumformteilen mit hohen Qualitätsanforderungen wird neuerdings verstärkt auch der Ansatz verfolgt, im Temperaturbereich zwischen Raumtemperatur und industriell angewandter Halbwarmumformung fließzupressen. Von besonderem Interesse sind für Stahlwerkstoffe Temperaturen unter- und oberhalb des sowohl werkstoff- als auch temperatur- und umformgeschwindigkeitsabhängigen Blausprödigkeitsbereichs. Bei diesen Temperaturen umgeformte Werkstoffe zeichnen sich, verglichen mit der Kaltumformung, durch ein höheres Duktilitätsvermögen und niedrigere Fließspannungen aus (Bild 1). Die Industrie

erhofft sich durch die Umformung bei diesen Temperaturen die Herstellbarkeit von Werkstücken mit annähernd gleich bleibender Genauigkeit und Oberflächenqualität wie bei der Kaltumformung, jedoch bei erweiterten Möglichkeiten der Formgebung durch Erhöhung des Umformvermögens und bei höheren Werkzeugstandzeiten durch niedrigere Prozesskräfte.

Obwohl nach einigen Definitionen das Umformen zwischen Raumtemperatur und zirka 500 °C auch als Halbwarmumformen bezeichnet werden kann, wird in Abgrenzung zur industriell angewendeten Halbwarmumformung für die Umformung in dem darunter liegenden Temperaturbe-

reich jedoch am IFU der Begriff „Lauwarmumformung“ verwendet. Die immer häufiger werdende Verwendung dieses Begriffes z. B. von [RAE09] zeigt bereits dessen Akzeptanz außerhalb des IFU auch auf der Seite der Industrie.

Forschungsschwerpunkte

Untersuchungen zur Lauwarmumformung werden zurzeit hauptsächlich im Arbeitskreis für Entwicklung und Erforschung des Kaltpressens am IFU durchgeführt und gliedern sich in drei Bereiche: Tribologie, Werkstoffe und Bauteileigenschaften.

In Untersuchungen [MLE10] von verschiedenen Arten von Phosphatschichten zeigt im tribologischen Modellversuch Double-Cup-Extrusion-Test (DCET), bei allgemein geringen Reibfaktoren, Zink-Mangan-Phosphat mit 400 °C eine etwas höhere Wärmebeständigkeit als Zink- oder Zink-Kalzium-Phosphat in Verbindung mit einer MoS₂-Schmierung, Bild 2. In weiteren Untersuchungen wurden unter anderem in [LIE09a] mit den beiden Modellversuchen DCET und Spike-Test sowohl gängige Schmierstoffsysteme für Kalt- und Halbwarmumformung als auch neue, speziell für die Lauwarmumformung entwickelte Schmierstoffsysteme hinsichtlich ihrer tribologischen Eigenschaften bei der Umformung des Einsatzstahls 16MnCrS5 bei Raumtemperatur sowie 300 °C, 400 °C und 500 °C untersucht. Den Ergebnissen zufolge können für die Umformung im Temperaturbereich bis zirka 400 °C entweder bestimmte Phosphatarten und MoS₂ oder auch schnell aufbringbare Schmierstoffe auf Wachsbasis für die Rohteilbeschichtung verwendet werden. Bei der Umformung von auf höhere Temperaturen bis 500 °C vorgewärmten Rohteilen konnte die Anwendbarkeit von Schmierstoffen mit bestimmten Anteilen an MoS₂ und Graphit gezeigt werden.

In [LAN08] wird empfohlen, Rohteile aus Vergütungsstählen, z. B. 42CrMo4 oder Cf53, je nach herzustellender Werkstückgeometrie und Umformgrad, selbst wenn endkonturnah gepresst werden soll, auf Temperaturen zwischen 280 °C und 350 °C vorzuwärmen. Auch beim Fließpressen nichtrostender Stähle kann eine Erhöhung der Temperatur bis zirka 350 °C sich günstig auswirken. Diese in der Literatur oftmals nur als Anhaltswerte angegebenen Temperaturbereiche und auch Erfahrungen der Autoren bei der Lauwarmumformung von Einsatzstählen zeigen die Notwendigkeit auf, grundlegende Aussagen über für eine Umformung günstige Temperaturbereiche und temperatur- und umformgeschwindigkeitsabhängige Blausprödigkeitsbereiche zu treffen. Am IFU werden



Bild 3: Kugelnabe [LIE09] und Trisphär [LAN08], hergestellt in geschlossenen Werkzeugen als Beispiele für lauwarmumgeformte Bauteile.

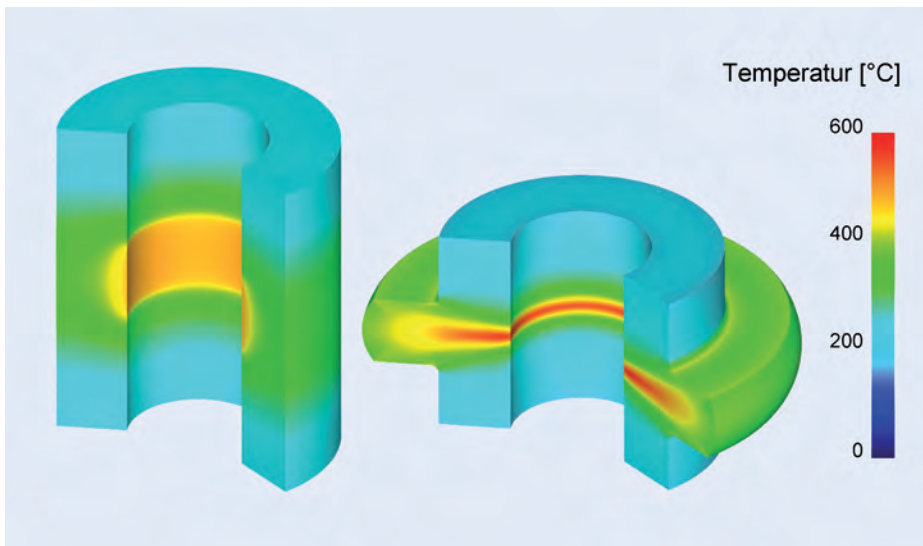


Bild 4: Numerisch berechnete Temperaturverteilung eines partiell vorgewärmten hohlen Halbzeugs und eines fertigen Werkstücks mit angestauchtem Bund.

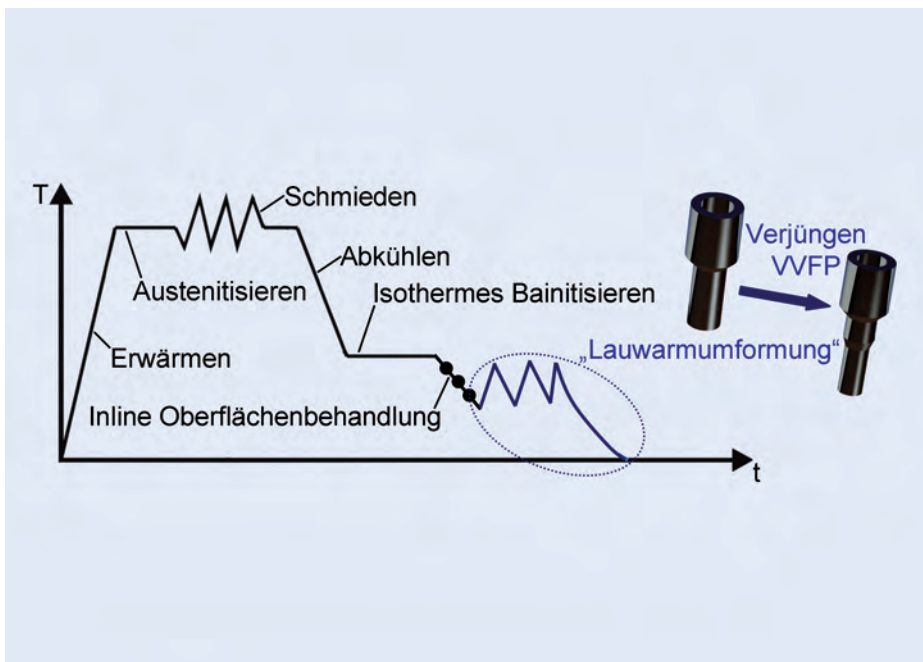


Bild 5: Ressourceneffiziente Prozesskette zur Herstellung von Hochleistungsbauteilen, wie sie im Rahmen des AiF-Leittechnologievorhabens „Schmieden 2020“ ganzheitlich betrachtet und entwickelt werden soll. Bilder: Autoren

dazu für typische Fließpresswerkstoffe mit unterschiedlichen Gefügestufen Bereiche niedriger Fließspannung mit dem Zylinderstauch- und dem Zugversuch bestimmt. Aussagen zur Steigerung der Werkstoffduktilität infolge einer Materialvorwärmung können über die Bruchdehnung aus dem Zugversuch sowie aus Schulter-Kragen-Stauchversuchen und mit einem am IFU entwickelten Werkzeug für einen Materialeingangstest gewonnen werden. Bei dem Materialeingangstest wird ein konisch geformter Stempel in eine röhrenförmige Probe bis zum Versagen durch Reißen eingepresst. Als Duktilitätskriterium dient der Verfahrensweg bis zum Lastabfall durch Auftreten eines Risses.

Anwendungsbeispiele

Wie bereits erwähnt, wird die Lauwarmumformung aus verschiedenen Gründen angewendet. An dieser Stelle sollen einige mögliche Anwendungen erläutert werden: Das Lauwarmumformen von Teilen mit komplexer Geometrie im geschlossenen Gesenk, das Bundanstauchen an hohlen Fließpressteilen im Temperaturbereich der Lauwarmumformung zur Erweiterung von Verfahrensgrenzen sowie die Lauwarmumformung aus der Schmiedehitze.

Bei der Herstellung von Kugelnaben (Bild 3, links) werden die phosphatierten und mit MoS₂ beschichteten Rohteile induktiv auf eine Temperatur mit einer um 10 bis 15 Prozent reduzierten Fließspannung

gegenüber dem Umformen bei Raumtemperatur erwärmt und anschließend verarbeitet. Durch Erniedrigung der Fließspannung und Erhöhung der Duktilität werden auch Eckbereiche der Werkzeugkavität gut ausgefüllt. Verbesserte Werkzeugstandzeiten erhöhen trotz der teilweise erheblichen Werkzeugkosten für komplizierte Werkzeuge auch unter Berücksichtigung der Mehrkosten für die Rohteilerwärmung die Wirtschaftlichkeit bei der Kugelnabenherstellung [LIE09a]. In [LAN08] wird vom vorteilhaften Quer-Fließpressen eines Trisphärs (Bild 3, rechts) im Temperaturbereich der Lauwarmumformung oberhalb der Blausprödigkeit von insbesondere höherfesten Stahllegierungen berichtet. Besonders beim Anstauchen der Kugeln in den kalottenförmigen Aussparungen des geschlossenen Werkzeugs können die mechanischen Werkzeugbelastungen und damit verbunden Stillstandszeiten in der laufenden Fertigung verringert werden.

Bei umformtechnisch hergestellten hohlen Wellen wird die Kaltverfestigung ausgenutzt und es stellt sich ein für die Bauteilfestigkeit günstiger, nicht unterbrochener Faserverlauf ein. Darüber hinaus wird gegenüber einer spanenden Herstellung eine sehr hohe Materialeffizienz erreicht. Da Bunde und Flansche an Wellen oft hoch beanspruchte und daher kritische Stellen darstellen, sind fehlerhafte Bauteile nicht tolerierbar. Ein kritischer Bauteilfehler beim Bundanstauchen von Hohlwellen ist vor allem die Faltenbildung in der Äquatorialebene des Bunds, die im Wesentlichen durch die geometrischen Parameter freie Stauchhöhe und Wanddicke des Halbzeugs bestimmt wird [LIE09b, RUD10]. Numerische Untersuchungen beim Erzeugen von Flanschen und Bunden an partiell vorgewärmten hohlen Fließpressteilen (Bild 4) im Rahmen des aktuell am IFU in Bearbeitung stehenden IGF-Projektes AiF 16496N mit dem Kurztitel „Anstauchen von hohlen Fließpressteilen“ haben gezeigt, dass aufgrund einer lokalen thermischen Entfestigung bei einer Umformung in bestimmten Temperaturbereichen der Lauwarmumformung die Verfahrensgrenzen einer Faltenbildung durch eine Beeinflussung des Stoffflusses erweitert werden können. Die Temperaturbereiche, in denen der Stofffluss positiv beeinflusst werden kann, sind werkstoffabhängig und werden in der Simulation stark durch den Verlauf der Fließkurven bestimmt. Experimentelle Untersuchungen zur Validie-



Prof. Dr.-Ing. Mathias Liewald MBA

rung der numerisch ermittelten günstigen Lauwarmtemperaturbereiche werden derzeit durchgeführt.

Im Rahmen des von der AiF befürworteten interdisziplinären Leittechnologievorhabens „Schmieden 2020 – Ressourceneffiziente Prozessketten für Hochleistungsbauteile“ mehrerer deutscher Forschungsinstitute soll neben den bereits oben erwähnten Forschungsschwerpunkten am IFU noch in 2010 die Bearbeitung des IGF-Projekts LN05412/10 mit dem Kurztitel „Lauwarmumformung aus der Schmiedehitze“ begonnen werden. Die Verfahrensgrenze einer dem Schmiedeprozess nachfolgenden Kaltumformung wird häufig durch die mechanischen Werkzeugbelastungen aufgrund der hohen und durch Entwicklung neuartiger Schmiedestahlgüten immer höher werdenden Werkstofffestigkeiten festgelegt. Eine Möglichkeit, zu hohe mechanische Werkzeugbelastungen zu vermeiden, aber dennoch funktionelle Bauteileigenschaften zu verbessern, besteht auch bei geschmiedeten Halbzeugen darin, im Temperaturbereich der Lauwarmumformung weiter umzuformen. Bei gesamtenergetischer Betrachtung von thermomechanischen Schmiedeprozessketten mit einer isothermen Haltestufe am Prozessende zur gezielten Einstellung günstiger Verarbeitungs- (z. B. durch Lauwarmumformung) und Gebrauchsgefüge fällt auf, dass die in Form von Prozesswärme zur Verfügung stehende Energie in den Bauteilen verschwendet wird. Eine Integration der Lauwarmumformung direkt in die Schmiedeprozesskette, um die zur Verfügung stehende Prozesswärme wie etwa nach dem isothermen Bainitisieren eines höchstfesten duktilen bainitischen Stahls (Bild 5) für die Umformung mit niedrigeren Prozesskräften im technologischen Sinn zu nutzen, kann also zudem wirtschaftlich von entscheidendem Wettbewerbsvorteil sein. Es fehlt jedoch an wissenschaftlichen Erkenntnissen über günstige Gefügestände für eine Lauwarmumformung aus der Schmiedehitze sowohl im technologischen als auch im funktionellen Sinn. Dies zu erforschen stellt Arbeitsinhalte am IFU für die nächsten drei Jahre innerhalb des Leittechnologievorhabens dar. ■



Dipl.-Ing.
Christian Mletzko



Dipl.-Ing.
Thorben Schiemann

Der Arbeitskreis für Entwicklung und Erforschung des Kaltpressens setzt sich derzeit aus 33 europäischen und südamerikanischen Unternehmen der Kaltmassivumformindustrie zusammen. Unter den Arbeitskreismitgliedern befinden sich Umformbetriebe, Anlagen- und Werkzeugbauer, Stahl- und Schmierstoffhersteller und Vertriebspartner für Simulationssoftware. Neben den Industrieunternehmen gehören dem Arbeitskreis auch drei Hochschulinstitute und vier technisch-wissenschaftliche Vereinigungen an. Weitere Informationen: Dipl.-Ing. Stefan Rudolf, +49 711 685-84545, stefan.rudolf@ifu.uni-stuttgart.de

[LAN08] Lange, K.; Kammerer, M.; Pöhlant, K.; Schöck, J.: Fließpressen : Wirtschaftliche Fertigung metallischer Präzisionswerkstücke. Springer-Verlag, Berlin, 2008.

[Lie09a] Liewald, M.; Mletzko, C.; Felde, A.; Meidert, M.: Evaluation of Lubricants for Bulk Metal Forming of Steel at Elevated Temperatures using Double-Cup-Extrusion-Test and Spike-Test. In: Proceedings of 42nd International Cold Forging Group Plenary Meeting, Shanghai (China), 20.-24. September 2009, S. 167-174.

[LIE09b] Liewald, M.; Mletzko, C.: Forschungsschwerpunkte und aktuelle Entwicklungen in der Massivumformung am Institut für Umformtechnik (IFU) der Universität Stuttgart. In: Liewald, M. (Hrsg.): Neuere Entwicklungen in der Massivumformung, MAT INFO Werkstoffinformationsgesellschaft mbH, Frankfurt/M., 2009, S. 213-240.

[MLE10] Mletzko, C.; Liewald, M.; Felde, A.: Evaluation of Lubricant Carrier Coatings for Bulk Metal Forming of Steel at Elevated Temperatures Using Double-Cup-Extrusion-Test. In: Proceedings of 4th International Conference on Tribology in Manufacturing Processes, Nizza (Frankreich), 13.-15. Juni 2010, S. 61-70.

[RAE09] Raedt, H.-W.: Massivumgeformte Komponenten für die Automobilindustrie - Vergangenheit und Zukunft. Vortrag anlässlich des Festkolloquiums Umformtechnik im Wandel der Zeit, Stuttgart, 4. Februar 2009.

[RUD10] Rudolf, S.; Felde, A.; Liewald, M.: New developments in cold forging of hollow gear parts. In: Tagungsband Internationaler VDI-Kongress „Getriebe in Fahrzeugen 2010“, Friedrichshafen, 22.-23. Juni 2010, S. 667-683.