

The Identification of Heating-Dependent Influences on the Flow Characteristics of Steel and Aluminium

In order to increase the productivity and economic efficiency of forging processes in production, the trend is toward ever shorter cycle times. The timing of forging processes influences material behaviour. It is important to take material behaviour into account in the development of new processes.

The models in the FEM are already capable of describing reality in an increasingly better fashion and allow the analysis and

optimization of processes. The application of characteristic material values, for instance the flow curves of industrial processes, is firmly linked to the conditions of these processes. Different levels of forming forces can result in undesired deviations in the calculation of the energetic parameters when using flow curves that do not fully match the process. The calculated process parameters can impair production processes [1].

Identifikation erwärmungsabhängiger Einflüsse auf die Fließeigenschaften von Stahl und Aluminium

Dipl.-Ing. Grzegorz Korpala und
Prof. Dr.-Ing. Rudolf Kawalla, Freiberg

Um die Produktivität und Wirtschaftlichkeit von Umformprozessen in der Produktion zu steigern, geht die Entwicklung zu immer kürzeren Taktzeiten. Die zeitliche Abfolge von Umformprozessen beeinflusst das Materialverhalten. Bei der Entwicklung neuer Prozesse ist es daher wichtig, das Materialverhalten zu berücksichtigen. Die in der Finite-Elemente-Methode (FEM) hinterlegten Modelle sind bereits in der Lage, die Realität zunehmend besser zu

beschreiben und erlauben es, Prozesse zu analysieren und zu optimieren. Die Anwendung von Werkstoffkennwerten, zum Beispiel Fließkurven auf industrielle Prozesse, ist streng mit den Bedingungen dieser Prozesse verbunden. Werden Fließkurven eingesetzt, die nicht umfänglich zum Prozess passen, so können unterschiedliche Niveaus der Umformkräfte zu unerwünschten Abweichungen in der Berechnung der energetischen Parameter führen. Die berechneten Prozessparameter können zur Beeinträchtigung des Produktionsprozesses führen [1].

Einleitung

Moderne Erwärmungsanlagen, die in den Umformlinien genutzt werden und die eine konduktive oder induktive Durchwärmung des Wärmeguts ermöglichen, können sehr hohe Aufheizgeschwindigkeiten realisieren und somit zur Inhomogenität des Gefüges führen. Ausgehend davon, dass das Gefüge einen starken Einfluss auf das Fließverhalten hat, resultieren aus den unterschiedlichen Aufheizbedingungen Abweichungen im Spannungsniveau und im Fließverhalten [2], [3].

Die unterschiedlichen Erwärmungsleistungen der verschiedenen Erwärmungstechnologien beeinflussen den Energiebedarf des

Gesamtprozesses. Die Temperaturführung bei der Umformung hat einen Einfluss auf das Gefüge des Werkstoffs. Ziel dieser Studie war es zu ermitteln, wie stark der Einfluss der unterschiedlichen Erwärmungsarten und -geschwindigkeiten auf die Fließspannung der untersuchten Materialien ist.

Versuchswerkstoffe und Versuche

Als Untersuchungsmaterial wurden drei gängige Beispielstahlsorten, je eine mit niedrigem (St 1), mittlerem (St 2) und hohem (St 3) Kohlenstoffgehalt, sowie eine Aluminiumknetlegierung Serie 6000 (Al 1) ausgewählt.

Mit allen Werkstoffen wurden Stauchversuche zur Ermittlung von Warmfließkurven durchgeführt. Dazu wurden zylindrische Proben der Abmessung 18 mm x Ø 10 mm gefertigt und an den Stirnflächen zum Zweck besserer Schmierung Tantalplättchen angebracht. Die Stauchversuche erfolgten auf dem servohydraulischen Prüfsystem (WUMSI), dem Gleeble Prüfsystem (HDS-V40) und dem Bähr Prüfsystem (MDS-0830) des Instituts für Metallformung der TU Bergakademie Freiberg [4].

Vor dem Stauchen wurden die Proben mit drei verschiedenen Erwärmungsmethoden in

	Temperatur °C	Aufheizgeschwindigkeit K/s	Umformgeschwindigkeit 1/s
Konvektiv (Kammerofen)	850, 1.050, 1.250	1*	1, 10, 30
Konduktiv (HDS-V40 DSI)	850, 1.050, 1.250	1, 20, 41	10
Induktiv (MDS 0830 Bähr)	850, 1.050, 1.250	1, 20, 41	10

*entspricht: zirka 20 Minuten Aufheizzeit von Raumtemperatur auf 1.250 °C

Tabelle 1: Zusammenfassung der untersuchten Bedingungen bei den Stählen.

	Temperatur °C	Aufheizgeschwindigkeit K/s	Umformgeschwindigkeit 1/s
Konvektiv (Kammerofen)	400, 460, 530	0.3*, 0.074**	1, 10
Induktiv (MDS 0830 Bähr)	400, 460, 530	0.3, 17	10

*entspricht: 30 Minuten Aufheizzeit von Raumtemperatur auf 530 °C
**entspricht: 120 Minuten Aufheizzeit von Raumtemperatur auf 530 °C

Tabelle 2: Zusammenfassung der untersuchten Bedingungen bei der Aluminiumlegierung.

Kombination mit verschiedenen Aufheizraten auf die Umformtemperaturen von 850, 1.050 beziehungsweise 1.250 °C erwärmt. Bei allen Wärmebedingungen und -temperaturen wurden die Stauchversuche ohne Haltezeit auf Umformtemperatur mit einer konstanten Umformgeschwindigkeit von $\dot{\phi} = 10 \text{ s}^{-1}$ durchgeführt. Für die konvektive Erwärmungsmethode mit langsamer Aufwärmung von 1 K/s erfolgten zusätzlich Versuche mit Umformgeschwindigkeiten von 1 und 30 s^{-1} . Alle Bedingungen für die Stahlproben sind in Tabelle 1 und für die Untersuchungen mit der Aluminiumlegierung in Tabelle 2 zusammengefasst. Dabei wurden beim Aluminium die Umformtemperaturen von 400, 430 und 530 °C und Aufheizraten von 17,

0,3 und 0,074 K/s geprüft. Sowohl beim Stahl als auch beim Aluminium wurden für jede Parameterkombination zwei Versuche durchgeführt. Aus den Spannungs-Dehnungsdiagrammen wurden temperatur- und reibungskorrigierte Fließkurven ermittelt.

Einfluss der Wärmebedingungen auf die Warmfließkurven

Stahl

Die bei einer Umformtemperatur von 850 °C ermittelten Warmfließkurven sind in Bild 1 bis 4 dargestellt. Alle dargestellten Kurven gelten unabhängig von der Wärmebedingung für die Umformgeschwindigkeit von $\dot{\phi} = 10 \text{ s}^{-1}$.

Bei einer Umformtemperatur von 850 °C sind unabhängig von der Stahlsorte deutliche Unterschiede in den Niveaus der einzelnen Fließspannungen aufgetreten. Dabei weisen die Fließspannungen jener Proben, die mit der größten Aufheizgeschwindigkeit auf Umformtemperatur erwärmt worden sind, die höchsten Werte auf. Außerdem führen hohe Aufheizgeschwindigkeiten (20 und 41 K/s) bis zum Erreichen des Fließspannungs-Maximums zu einem ungleichmäßigen Fließspannungsanstieg. Dieser Effekt ist weitgehend unabhängig von der Stahlsorte, was durch den Gefügestand verursacht sein kann.

Die Unterschiede im Fließspannungsniveau von Proben, die unterschiedlich schnell aufgewärmt wurden, nehmen mit steigender Umformtemperatur ab, sodass diese bei 1.250 °C bereits einen marginalen Unterschied zwischen den einzelnen Erwärmungsarten und -geschwindigkeiten aufweisen.

Vergleicht man Warmfließkurven, die mit derselben Aufheizgeschwindigkeit von 1 K/s, aber mit unterschiedlichen Erwärmungsarten auf 850 °C erwärmt wurden, so kann festgestellt werden, dass diese in einem versuchsbedingten Streubereich liegen und keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Kurven zu erkennen sind. Dies konnte auch bei Umformtemperaturen von 1.050 und 1.250 °C bestätigt werden.

Die festgestellten Phänomene lassen sich mit dem Austenitzustand hinsichtlich seiner Homogenität und Korngröße erklären. In Bild 5 ist ein ZTA-Diagramm für einen Stahl beispielhaft gezeigt. In dem Diagramm sind Umformtemperaturen und Erwärmungszeiten gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass unabhängig von der Umformtemperatur die Proben mit steigender Aufheizgeschwindigkeit nach Abschluss der Erwärmung eine feinere Austenitkorngröße aufweisen. Zudem führt die schnelle Erwärmung mit 20 beziehungsweise 41 K/s zu einer inhomogenen Austenitstruktur nach dem Erwärmen auf 850 °C. Höhere Zieltemperaturen reduzieren die

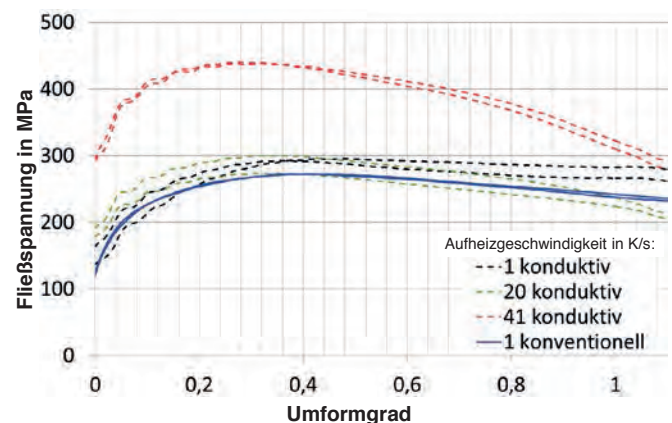
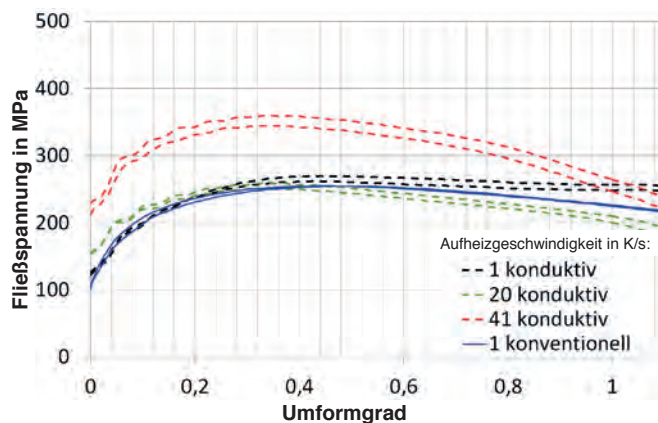


Bild 1: Vergleich der Fließkurven bei einer Temperatur von 850 °C nach konduktivem und konvektivem Erwärmen von St 1 (Umformgeschwindigkeit 10 s^{-1}).

Bild 2: Vergleich der Fließkurven bei einer Temperatur von 850 °C nach konduktivem und konvektivem Erwärmen von St 2 (Umformgeschwindigkeit 10 s^{-1}).

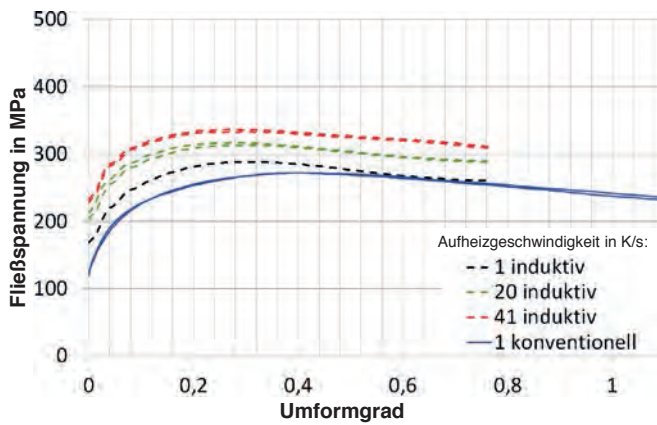


Bild 3: Vergleich der Fließkurven bei einer Temperatur von 850 °C nach induktivem und konvektivem Erwärmen von St 2 (Umformgeschwindigkeit 10 s⁻¹).

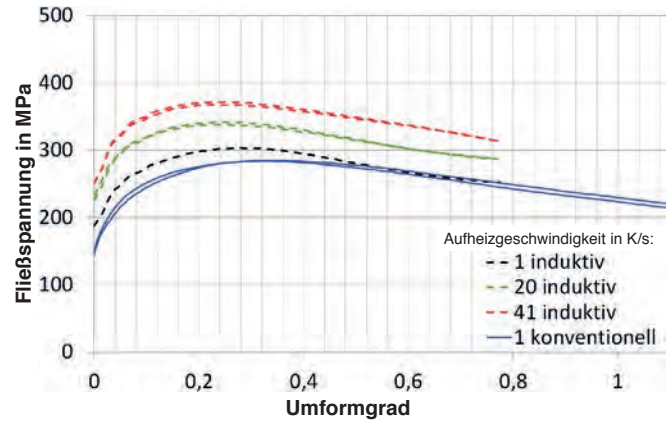


Bild 4: Vergleich der Fließkurven bei einer Temperatur von 850 °C nach induktivem und konvektivem Erwärmen von St 3 (Umformgeschwindigkeit 10 s⁻¹).

Inhomogenitäten, sodass bei 1.250 °C die Umformung mit einer homogenen Austenitstruktur erfolgt. Diese ist jedoch bei nicht mikrolegierten Stählen grob und von der Aufheizgeschwindigkeit abhängig.

Aluminiumlegierung

Die mit den drei Stahlorten ermittelte Abhängigkeit des Fließspannungsniveaus von der Aufheizgeschwindigkeit ist auch beim Aluminium bestätigt worden. Mit steigender Aufheizgeschwindigkeit bedarf es für das Fließen und das Fortsetzen der Warmumformung einer

höheren Spannung. Dieses Phänomen lässt sich unter anderem mit Auflösungsvorgängen von Ausscheidungen und gegebenenfalls Kornwachstum (abhängig vom Ausgangszustand) erklären.

Zusammenfassung

Die Untersuchungen zum Einfluss der Erwärmungsart und der Erwärmungsgeschwindigkeit auf die Warmfließkurven zeigen die einzelnen Einflüsse des Werkstoffzustands auf das Fließspannungsniveau. Höhere Aufheizgeschwindigkeiten führen zur Erhöhung des Fließ-

spannungsniveaus. Diese Differenzen können durch die Erhöhung der Aufheiztemperatur minimiert werden. Die ermittelten Zusammenhänge lassen sich mit dem Gefügeaufbau zum Zeitpunkt der Umformung erklären. Dieser wird unter anderem durch die Aufheizgeschwindigkeit und die Wärmtemperatur eingestellt.

Die Untersuchungen wurden vom Industrieverband Massivumformung e. V. finanziert. Die Proben wurden von Industriepartnern zur Verfügung gestellt. An dieser Stelle sei allen Partnern gedankt.

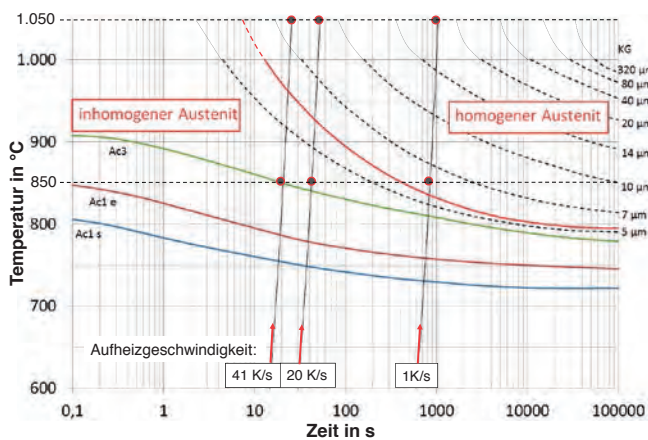


Bild 5: Ein ZTA-Diagramm (Zeit-Temperatur-Austenitisierungs-Diagramm) eines Beispielstahls mit unterschiedlichen Aufheizgeschwindigkeiten. (rot/schwarze Punkte – unterschiedliche Ausgangszustände bei derselben Temperatur).

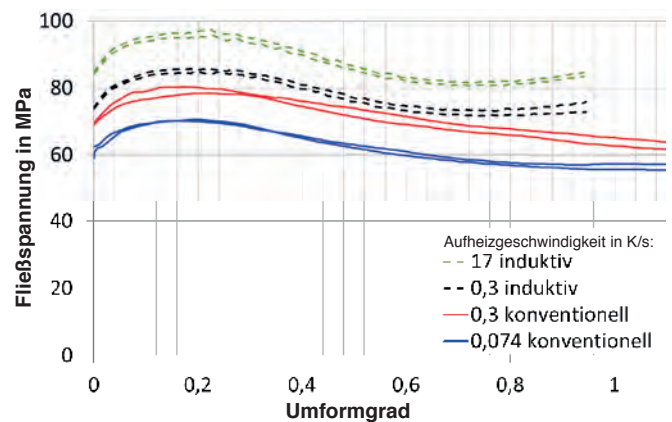


Bild 6: Vergleich der Fließkurven bei einer Temperatur von 400 °C nach induktivem und konvektivem Erwärmen von Al 1 (Umformgeschwindigkeit 10 s⁻¹).

Bilder: Autoren

Den Förderpreis des Industrieverbands Massivumformung e. V., der den außerordentlichen Einsatz von Hochschulangehörigen für die Massivumformung in wissenschaftlichen Studien würdigt, erhielt in diesem Jahr Dipl.-Ing. Grzegorz Korpala. Die Verleihung anlässlich der Jahrestagung des Verbands am 14. Juni 2013 begründet sich in seinem persönlichen Engagement sowie der praxisnahen und verständlichen Studie, deren Ergebnisse im obigen Fachbeitrag wiedergegeben sind.

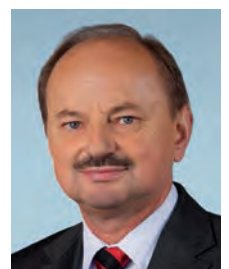
Literatur

- [1] Korpala, G.; Graf, M.; Kawalla, R.: Material coefficients for hot metal forming processes. Poznan: s.n., 2012.
- [2] Hagemann, P.; Kawalla, R.; Korpala, G.; Schmidchen, M.: The Influence of the Initial State on the Softening and Precipitation Kinetics in Hot Metal Forming. Materials Science Forum. 2012, Bde. 706-709, S. 1397-1402.
- [3] Hensel, A.; Spittel, T.: Kraft und Arbeitsbedarf bildsamer Formgebungsverfahren. Verlag Grundstoffindustrie.

[4] <http://www.imf.tu-freiberg.de/>. [Online] 2012.



Dipl.-Ing.
Grzegorz Korpala



Prof. Dr.-Ing.
Rudolf Kawalla