

Umformen von aufgefalteten Magnesiumblechen aus stranggepressten Rohren

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens, Dr.-Ing. Sven Hübner, André Neumann ^a,
Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Maier, Dr.-Ing. Christian Klose, Norbert Grittner, Marcus
Engelhardt ^b

^aLeibniz Universität Hannover, Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen

^bLeibniz Universität Hannover, Institut für Werkstoffkunde

neumann@ifum.uni-hannover.de

An der Universität 2, 30823 Hannover, Deutschland

Schlagwörter: Magnesium, Blechherstellung, Strangpressen, Pressnähte

Einleitung

Magnesium ist einer der leichtesten Konstruktionswerkstoffe im Maschinenbau. Mit einer Dichte von $\rho=1,7 \text{ g/cm}^3$ erreicht Magnesium nur einen Bruchteil des Gewichtes von Stahl oder Aluminium. Im Hinblick auf die Verknappung fossiler Energieressourcen und steigender Umweltauflagen, steigt auch die Notwendigkeit zum Leichtbau, insbesondere in der Automobil- aber auch Luftfahrtindustrie. Während die gießtechnische Verarbeitung von Magnesiumlegierungen bereits etabliert ist [1], ist sowohl die Herstellung als auch Verarbeitung von Magnesiumblechen trotz des hohen Leichtbaupotenzials noch eine Nischenindustrie. Die Begründung hierfür ist insbesondere in der vergleichsweise schwierigen umformtechnischen Verarbeitung des Magnesiums zu finden. Bei Raumtemperatur weisen Magnesium und seine Legierungen ein sprödes Umformverhalten auf. Erst mit Erhöhung der Temperatur werden pyramidale Gleitebenen erster Ordnung aktiviert und der Werkstoff damit umformbar [2].

Die Notwendigkeit zur temperierten Umformung erschwert den Einsatz von Magnesiumblechen in zweierlei Hinsicht. Eine Temperierung des Umformprozesses (Tief- und Streckziehen) erhöht die Verarbeitungskosten, während die Prozesssicherheit durch einen zusätzlichen Prozessparameter reduziert wird. Des Weiteren wird die Herstellung der Blechhalbzeuge erschwert, da auch der Walzprozess zur Blechherstellung temperiert erfolgen muss. Das Blech kühlt zwischen den Walzstufen ab und muss für die nächste Stufe wieder erwärmt werden. Hierdurch wird die Herstellung von Blechen sehr energieintensiv. Weiterhin ist dieses Verfahren auf die Herstellung weniger Legierungen bzw. größere Losmengen begrenzt, da die Brammen jeweils gesondert aus dem Ausgangsmaterial gegossen werden müssen.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde daher ein Verfahren entwickelt, in dem Rohre aus Magnesium stranggepresst und anschließend aus der Strangpresswärme heraus zu Blechen umgeformt werden. Auf diese Weise konnte eine günstige und flexible Methode zur Erzeugung von Magnesiumblechen entwickelt werden. Die anfängliche Herstellung von Rohren ermöglicht hierbei einerseits gleichmäßigere Materialeigenschaften über die Blechbreite als beim Pressen flacher Halbzeuge und die Erweiterung der durch das Pressmaul begrenzten Blechbreite.

Herstellung von stranggepressten Rohren und Auffaltung zu Blechen

Die Herstellung der Bleche erfolgte mit Hilfe der in Abbildung 1 dargestellten Prozessroute. Zu Beginn des

<http://www.utfscience.de> II/2015 Behrens, Hübner, Neumann, Maier, Klose, Grittner, Engelhardt: Umformen von aufgefalteten
Magnesiumblechen aus stranggepressten Rohren, S. 1/7

Verlag Meisenbach GmbH, Franz - Ludwig - Str. 7 a, 96047 Bamberg, <http://www.utfscience.de>

Prozesses erfolgt das Strangpressen des Rohres. Die Strangpressmatrize ist derart gestaltet, dass die hergestellten Rohre eine Dünnstelle mit reduzierter Blechdicke aufweisen und auf diese Weise spanlos geöffnet werden können. Anschließend erfolgt das Auffalten mit der an die Strangpresse angeflanschten Auffaltvorrichtung.

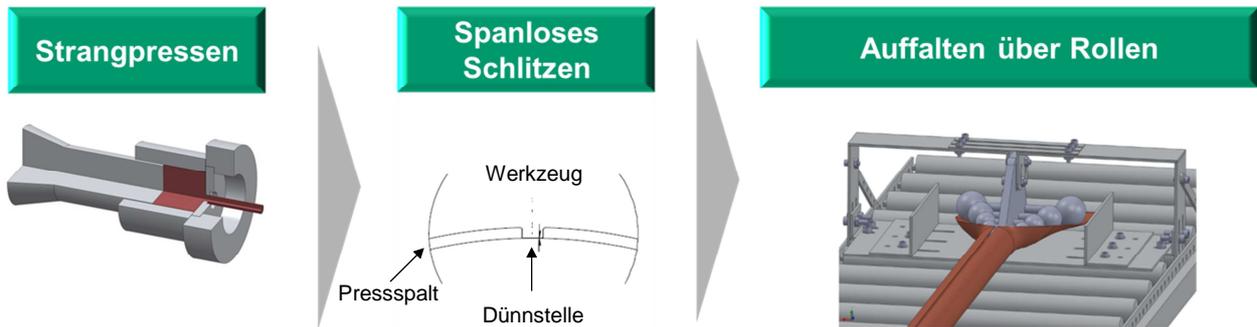


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Prozessroute

Als Strangpresse steht dem Institut für Werkstoffkunde eine 10 MN Presse von SMS Meer zur Verfügung. Bei der Strangpressmatrize handelt es sich um ein Dreikammerwerkzeug zur Herstellung von Rohren mit 90 mm Durchmesser mit einem Pressverhältnis von 29,5. Durch den Auffaltprozess ergibt sich eine maximale Blechbreite von ca. 282 mm. Aufgrund der drei Kammern in der Strangpressmatrize ergeben sich im gepressten Rohr ebenfalls drei Längspressnähte, die bei der Verarbeitung des Bleches gesondert betrachtet werden müssen. Da sich die Materialeigenschaften in diesen Bereichen von den Eigenschaften des Grundgefüges unterscheiden können [2]. Um eine Pressnaht im Blech zu eliminieren, ist die Dünnstelle im Bereich einer Pressnaht vorgesehen, so dass durch das Öffnen des Rohrprofils eine Pressnaht entfällt. Die Wandstärke der gepressten Rohre beträgt 1,5 mm. Bei den hier durchgeführten Versuchen fand die weit verbreitete Magnesiumknetlegierung AZ31 (2,91 Gew% Al, 0,79 Gew% Zn, 0,31 Gew% Mn) Anwendung. Die Pressbolzen wiesen eine Länge von 300 mm und 120 mm Durchmesser auf. Das Material wurde bei einer Bolzentemperatur von 400 °C verpresst.



Abbildung 2: Abbildungen der Auffaltvorrichtung zur Herstellung von Magnesiumblechen.

Anschließend erfolgte das Auffalten mit Hilfe einer Auffaltvorrichtung, bestehend aus mehreren keilförmig angeordneten Kugelpaaren unterschiedlicher Größe und zwei Walzenpaaren. Durch die keilförmige Anordnung der

Kugelpaare erfolgt das Auffalten des Rohres, während die nachfolgenden Walzenpaare die endgültige Form des Bleches definieren und die Planheit bestimmen. Die Auffaltvorrichtung ist in Abbildung 2 zu sehen. Da Magnesium auf Grund der Aktivierung von Gleitebenen erst ab einer Temperatur von über 225 °C gut umformbar wird [3], darf die Temperatur während des Faltvorgangs 225 °C nicht unterschreiten. Um den Auffaltvorgang zu erleichtern und das Blech zu führen, wurde ein Puller hinter der Auffaltvorrichtung verwendet. Eine gewisse Welligkeit in den Randbereichen konnte bisher nicht behoben werden, so dass eine Besäumung des Bleches notwendig ist. Die mikrostrukturellen Eigenschaften des Bleches und dessen Texturierung wurden bereits von GRITTFNER ET AL. in [4] beschrieben.

Ermittlung der Umform- und Verarbeitungseigenschaften

Im Rahmen weiter führender Untersuchungen wurden die Umformeigenschaften der Magnesiumbleche untersucht, welche mit Hilfe der beschriebenen Verfahrenskette hergestellt wurden. Da für die umformtechnische Verarbeitung von Blechen, die Kenntnis der Umformeigenschaften von entscheidender Bedeutung ist, wurde hierbei ein besonderes Augenmerk auf die Längspressnähte im Material gelegt. Prozessbedingt können diese Pressnähte nicht bzw. nur mit erheblichem Aufwand (siehe nahtloses Rohrpressen) vermieden werden [3].

Eine weit verbreitete Möglichkeit das Fließverhalten von Blechen zu untersuchen, ist die Durchführung von Zugversuchen. Um einen Vergleich der Eigenschaften zwischen dem Grundgefüge und dem oft nur wenige Millimeter breiten Einflussbereich der Pressnaht zu ermöglichen, wurden Miniaturzugversuche mit einem Umformdilatometer der Firma Bähr durchgeführt. Die Probenentnahme erfolgte dabei jeweils in 0°, 45° und 90° zur Pressrichtung und zusätzlich bei 90° zur Pressrichtung in der Pressnaht. Die Zugversuche wurden bei Raumtemperatur ($\approx 20\text{ °C}$) und bei 230 °C durchgeführt. Die Probengeometrie und eine schematische Darstellung der Entnahmebereiche der Proben sind in Abbildung 3 dargestellt.

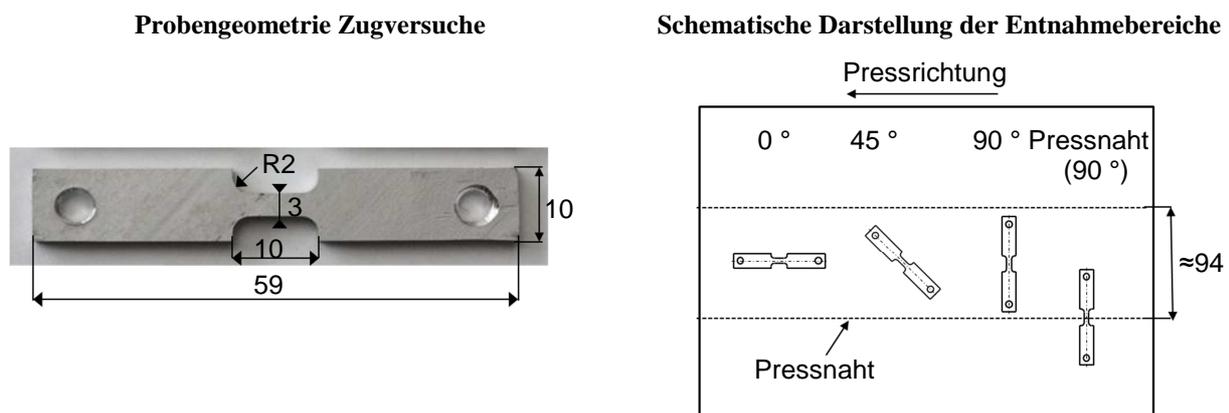


Abbildung 3: Proben zur Durchführung der Zugversuche. Links: Abbildung einer Probe mit Bemaßung, rechts: schematische Darstellung der Entnahmebereiche aus dem strangepressten Blech

In Abbildung 4 und Abbildung 5 sind beispielhaft einige für die jeweiligen Versuchsparametergruppen ausgewählte Spannungs-Dehnungs-Diagramme zu sehen. Die Kurven der Proben, die in einem Winkel von 0° und 45° zur Pressrichtung entnommen wurden, verlaufen bei Raumtemperatur als auch bei 230 °C sehr ähnlich. Sowohl bei Raumtemperatur als auch bei 250 °C weisen die Proben 90° zur Pressrichtung jeweils deutlich höhere Dehngrenzen auf. Weiterhin auffällig für beide Temperaturbereiche ist, dass die Proben aus der Pressnaht jeweils die höchsten Zugfestigkeiten aufweisen. Dabei erreichen eben diese Proben bei Raumtemperatur früher ihre Dehngrenzen als die Proben des Grundgefüges und gehen bereits bei niedrigeren Spannungen in die plastische

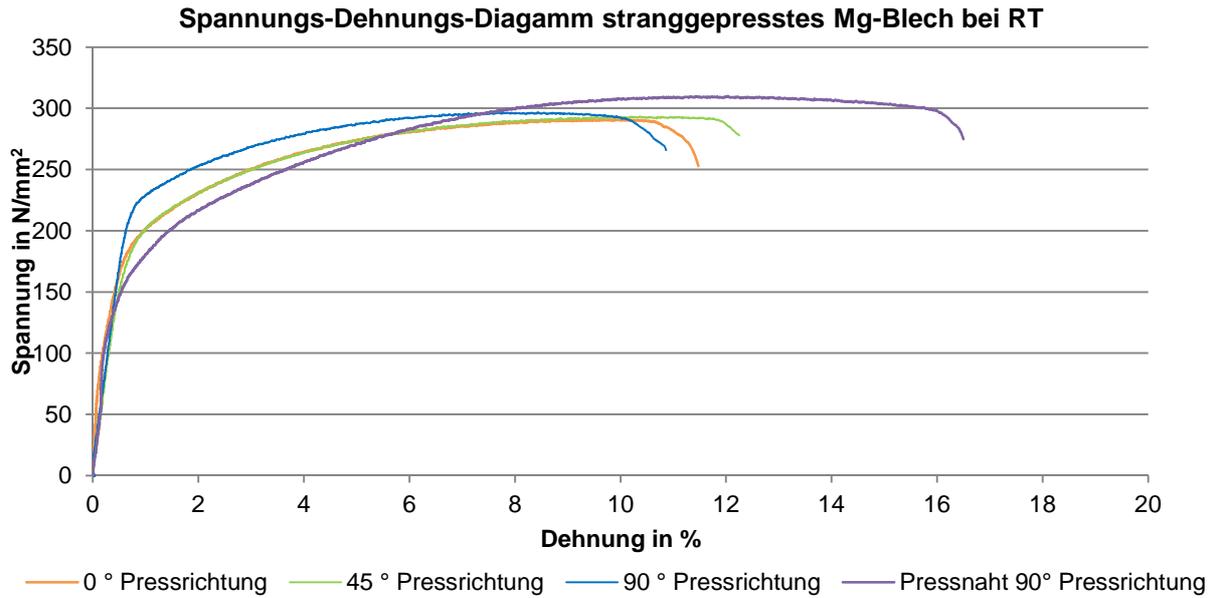


Abbildung 4: Spannungs-Dehnungs-Diagramm der aufgefalteten Magnesiumbleche bei Raumtemperatur

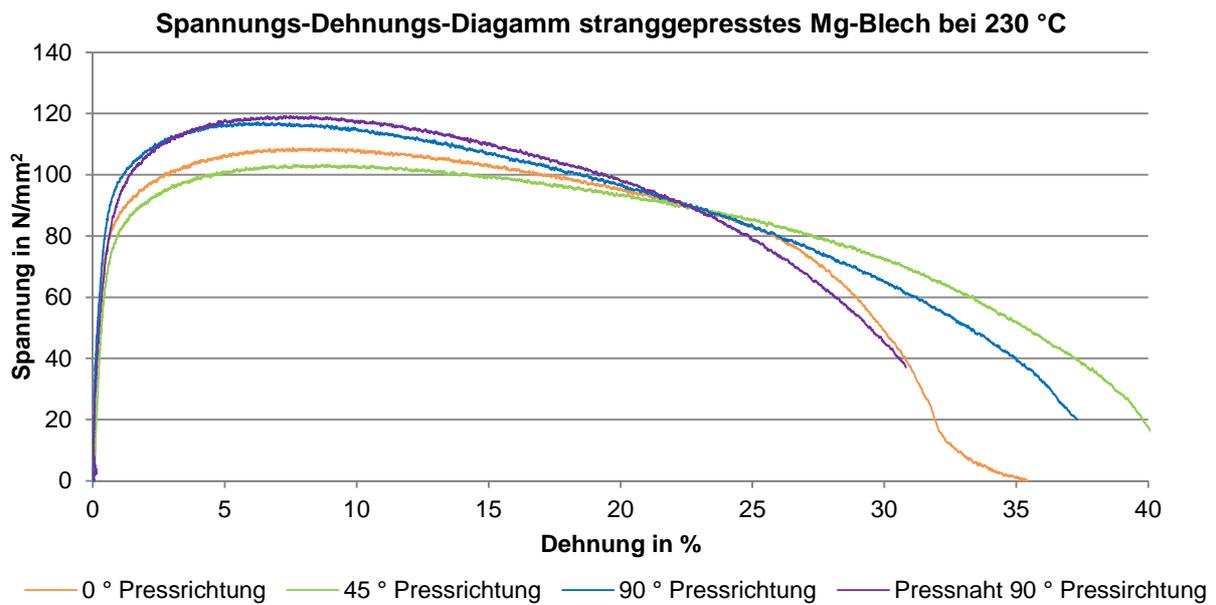


Abbildung 5: Spannungs-Dehnungs-Diagramm der aufgefalteten Magnesiumbleche bei 230 °C

Deformation über. Bei der umformrelevanten Temperatur von 230 °C zeigen sich jedoch Verläufe, die denen der Proben aus dem Grundgefüge bei 90 ° zur Pressrichtung weitestgehend entsprechen. Der Einfluss der Pressnaht auf das Umformverhalten des Bleches scheint damit erst einmal vernachlässigbar im Vergleich zu der für Magnesium typischen hohen Anisotropie zu sein.

Für eine weiterführende Untersuchung des Umformverhaltens der erzeugten Bleche, insbesondere der Pressnaht im direkten Vergleich zum Grundgefüge, wurden Rundnäpfe gezogen. Alle Aktivelemente des Werkzeugs wurden hierzu beheizt. Während Ziehring und Niederhalter auf 230 °C erwärmt wurden, wurde für den Stempel eine niedrigere Oberflächentemperatur gewählt, um die Kraftübertragung an der Stempelkanten Rundung zu verbessern und so vorzeitige Reißer zu vermeiden [5]. In diesen Versuchen wies der Stempel einen Durchmesser von 100 mm auf, während der Ziehring einen Durchmesser von 120 mm aufwies. Der Rondendurchmesser entsprach 200 mm. Größerer Durchmesser wurde aufgrund der Randwelligkeit der Blechstreifen nicht gewählt. Um ein reines Ausstrecken des Magnesiums aus der Blechdicke zu vermeiden, wurde der Niederhalter distanziert. Bei distanziertem Niederhalter und großem Ziehspalt können Falten zweiter Art in der Zarge nicht verhindert werden. Unterschiedliche Fließeigenschaften im Material sind jedoch deutlich erkennbar. Die Rundnäpfe wurden bis zu einer Tiefe von 35 mm gezogen. Dies entspricht der maximal möglichen Ziehtiefe ohne vollständigen Flanscheinzug. Vor der Versuchsdurchführung wurde auf die Blechoberfläche mit Hilfe des elektrolytischen Ätzens ein deterministisches Punktraster aufgebracht. Eine anschließende Auswertung des Punktrasters mit einem optischen Vermessungssystem ermöglicht die Bestimmung der Formänderung.

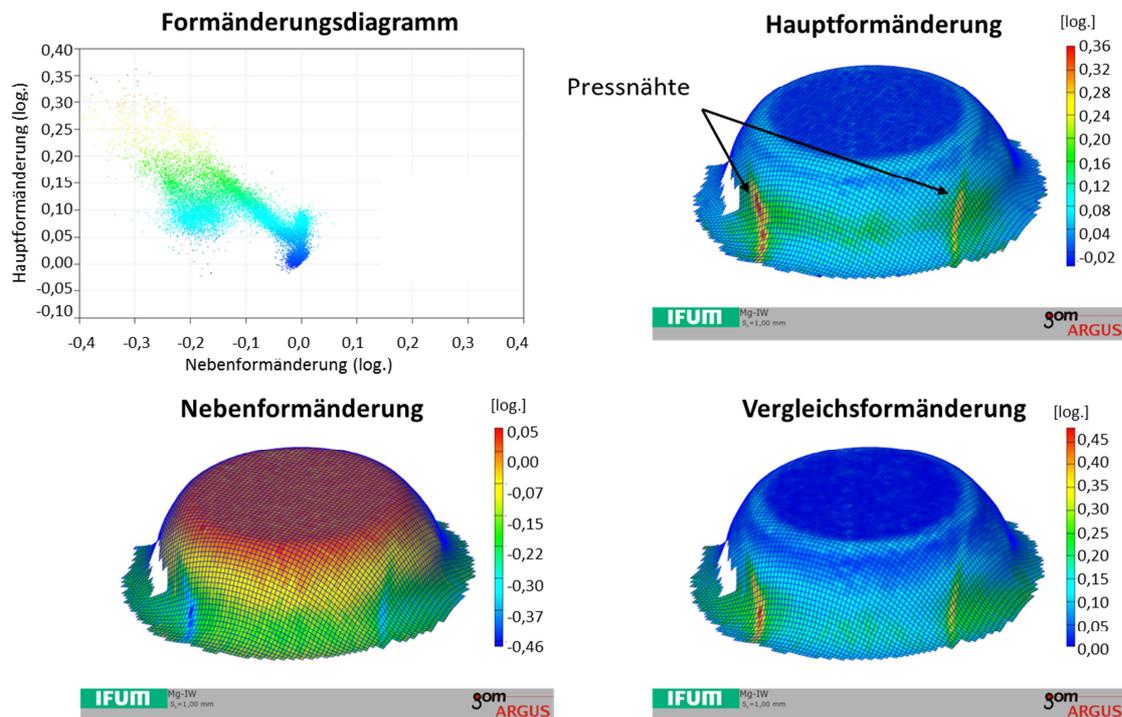


Abbildung 6: Formänderungsanalyse eines tiefgezogenen Napfes. Links oben: Formänderungsschaubild; rechts oben: lokale Hauptformänderung; links unten: lokale Nebenformänderung; rechts unten: lokale Vergleichsformänderung nach von Mises

Die Analyse der Formänderung ist in Abbildung 6 zu sehen. Dargestellt sind das Formänderungsdiagramm sowie Darstellungen der lokalen Haupt-, Neben- und Vergleichsformänderung eines Napfes. Entsprechend der Literatur

[6] fand die Formänderung hierbei vor allem im Zargenbereich und nahezu keine Formänderung im Ziehteilboden statt. Besonders auffällig an den lokalen Formänderungsschaubildern sind jeweils zwei längliche Bereiche in der Zarge mit erhöhter Formänderung. Diese Bereiche stellen dabei Längspressnähte aus dem Pressvorgang des Rohres dar. Sie erreichen im gesamten Bauteil die höchsten absoluten Haupt- und Nebenformänderungen. Damit scheinen die Pressnähte während des Umformvorgangs bei erhöhten Temperaturen deutlich weicher als das Grundgefüge zu sein, obwohl die Zugversuche bei 230 °C diesen Unterschied zwischen Pressnaht und Grundgefüge nicht vermuten lassen. Da die Spannungs-Dehnungs-Verläufe der Zugproben aus dem Pressnahtbereich keinen signifikanten Unterschied zum Grundgefüge aufweisen (vor allem Gleichmaß- und Bruchdehnung), ist davon auszugehen, dass die Pressnähte während der Umformung frühzeitig versagen und damit das Umformvermögen des Blechwerkstoffs limitieren.

Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein flexibles Verfahren entwickelt, mit dessen Hilfe Bleche aus Magnesium hergestellt werden können. Dabei wird mit Hilfe des Strangpressens ein Rohr hergestellt und dieses anschließend inline zu einem ebenen Blech aufgefaltet. Da ein rotationssymmetrisches Bauteil gepresst wird, können über die entstehende Blechbreite anders als beim direkten Pressen zum flachen Halbzeug vergleichsweise homogene Materialeigenschaften eingestellt werden. Jedoch werden prozessbedingt Pressnähte eingebracht, welche gegenüber dem Grundmaterial lokal veränderte mechanische- und umformtechnische Materialeigenschaften aufweisen. Zur Beschreibung der Materialeigenschaften wurden Zugversuche mit miniaturisierten Zugproben durchgeführt. Die verringerte Probengröße ermöglichte dabei ein gezieltes betrachten der lokalen Eigenschaften des Grundgefüges und der Pressnähte. Aus den Zugversuchen bei Raumtemperatur wurde deutlich, dass sich die Eigenschaften der Proben aus dem Pressnahtbereich deutlich von dem Grundgefüge unterscheiden. Bei erhöhten Temperaturen (230 °C) war der Unterschied der Spannungs-Dehnungs-Verläufe zwischen Grundgefüge und Pressnaht in 90 ° zur Pressrichtung hingegen nicht signifikant. Im Gegensatz hierzu zeichneten sich die Pressnähte beim Tiefziehen eines Probenkörpers deutlich gegenüber dem Grundgefüge ab, da sich der Einflussbereich der Pressnähte während der Umformung stärker verformt.

Für eine umformtechnische Fertigung von Bauteilen stellen unterschiedliche Fließeigenschaften im Material eine große Herausforderung dar. Durch weitere Optimierungen des Strangpressvorgangs und falls notwendig eine nachgeschaltete Wärmebehandlung zur Homogenisierung der Materialeigenschaften, lassen sich die Umform-eigenschaften verbessern. Neben der Optimierung des Herstellvorgangs wird in folgenden Untersuchungen eine umfänglichere Betrachtung der Fließeigenschaften bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt. Vermutet wird eine Verringerung der Differenz der Fließspannungen zwischen Grundgefüge und Pressnaht mit Zunahme der Umformtemperatur.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 16667N der Forschungsvereinigung Europäischen Forschungsgesellschaft Blechverarbeitung wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- [1] Bottrop, Günter R.: Leichtmetall-Sand- und Kokillenguss – Teil 2: Magnesiumguss. In: Gießerei Nr. 90 (08/2003), S. 32 – 38.
- [2] Dröder, Klaus G.: Untersuchungen zum Umformen von Feiblechen aus Magnesiumknetlegierungen. Leibniz Universität Hannover, Dissertation, 1999
- [3] Bauser, M.; Sauer, G.; Siegert, K.: Strangpressen, 2. Auflage. Aluminium-Verlag Düsseldorf, 2001
- [4] Grittner, N.; Engelhardt, M.; Neumann, A.; Klose, C.; Hübner, S.; Behrens, B.-A.; Maier, H. J.: A novel process for producing large scale Mg-sheets. In: Magnesium Technology 2014, Wiley-TMS, 2014
- [5] Vogt, O.: Temperiertes Tiefziehen von Magnesiumblechwerkstoffen. Leibniz Universität Hannover, Dissertation, 2006
- [6] Doege, E.; Behrens, B.-A.: Handbuch Umformtechnik – Grundlagen, Technologien, Maschinen, 2. bearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Heidelberg, 2010