

Magnesium-Knetlegierungen: Innovative Leichtbauwerkstoffe für den Automobilbau

Michael Düring¹, Andrey Karabet¹, Bernd Vjehweger¹,
Janny Lindemann², Ping Zhang², Vladimír Šupík² und Christoph Leyens²

¹ Lehrstuhl Konstruktion und Fertigung

² Lehrstuhl Metallkunde und Werkstofftechnik

Kurzfassung

Wenngleich der Verwendung von Mg-Knetlegierungen im Automobilbau ein großes Potenzial zugesprochen wird, ist deren Einsatz bislang von geringer Bedeutung geblieben. Im Rahmen des vom BMBF-geförderten Verbundforschungsvorhabens „MIA – Magnesium im Automobilbau“ wurden daher in Zusammenarbeit der Firmen DaimlerChrysler AG, ThyssenKrupp Umformtechnik GmbH, Otto Fuchs Metallwerke KG, Honsel GmbH & Co. KG, GP Innovation GmbH, OSK Kiefer GmbH sowie der BTU Cottbus die Grundlagen für die prototypische Fertigung von Bauteilen aus den Mg-Knetlegierungen des Typs AZ31 und AZ80 erarbeitet.

Abstract

Although the application of Mg wrought alloys is known to have potentials for their use in automotive industry their use is still of small importance. In the BMBF-funded research project “MIA – Magnesium im Automobilbau” associating named companies such as DaimlerChrysler AG, ThyssenKrupp Umformtechnik GmbH, Otto Fuchs Metallwerke KG, Honsel GmbH & Co. KG, GP innovation GmbH, OSK Kiefer GmbH as well as the Brandenburg University of Technology the basic knowledge concerning the prototypical manufacturing of parts made of Mg wrought alloys AZ31 and AZ80 is being acquired.

Einsatzpotenzial von Mg-Knetlegierungen

Durch den verstärkten Einsatz von Mg-Knetlegierungen in automobilen Anwendungen können Potenziale zur Reduzierung des Gesamt-Fahrzeugschwerpunkts erschlossen werden. Für Mg-Knetlegierungen kann, rein nach ihrer Dichte beurteilt, ein Gewichtsvorteil gegenüber Stahl von ca. 75 % ermittelt werden. Im Vergleich mit Aluminium lassen sich 35 % errechnen. Eine beanspruchungsgerechte Betrachtung unter Einbeziehung unterschiedlicher Konzepte und Werkstoffkennwerte, die notwendige Auslegungsunterschiede berücksichtigen, zeigt ebenfalls deutliche Gewichtseinsparpotenziale auf. Was den dichtebezogenen E-Modul und die dichtebezogene Dehngrenze anbelangt, erweisen sich Mg-Knetlegierungen gegenüber Stahl und Aluminium bei vergleichbarer Elastizität als gleichwertig bzw. überlegen (Abb. 1).

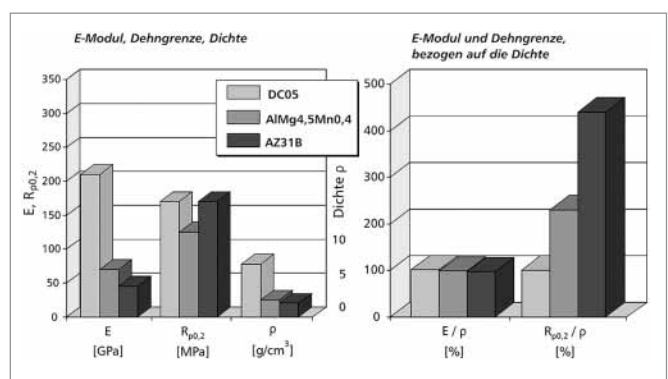


Abbildung 1:
Einsatzpotenzial der Mg-Knetlegierung AZ31

Die Gründe für die derzeit vergleichsweise geringen Einsatzmengen von Mg-Knetlegierungen in der Automobilindustrie sind ein hoher Marktpreis und fehlende Erfahrungen bezüglich der Herstellung geeigneter Vormaterialien sowie deren Weiterverarbeitung zu gebrauchsfähigen Automobilbaugruppen. Eine deutliche Reduzierung der Kosten kann durch die Ausschöpfung neuer Anwendungsfelder im Leichtbau sowie wirtschaftliche und robuste Verarbeitungsprozesse bewirkt werden [1, 2].

Fehlende Kenntnisse bezüglich der Herstellung von Mg-Knetlegierungen für Schmiede-, Strangpress- und Blechteile im Automobilbau für Antriebsstrang, Fahrwerk und Karosserie werden derzeit in verschiedenen BMBF-geförderten Forschungsvorhaben erarbeitet. Im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens „MIA – Magnesium im Automobilbau“ wurde die prototypische Fertigung von Mg-Bauteilen der Knetlegierungen des Typs AZ31 und AZ80 erprobt. Den Schwerpunkt der Arbeiten stellten neben dem Stranggießen Untersuchungen zum Walzen, zum konventionellen und hydromechanischen Tiefziehen, zum Schmieden, zur mechanischen Oberflächenbehandlung, zum Streckbiegen sowie zur Verbindungstechnik dar (Abb. 2).

Nachfolgend sind im Wesentlichen die Arbeiten beschrieben, an denen die BTU Lehrstühle Konstruktion und Fertigung sowie Metallkunde und Werkstofftechnik maßgeblich beteiligt waren.

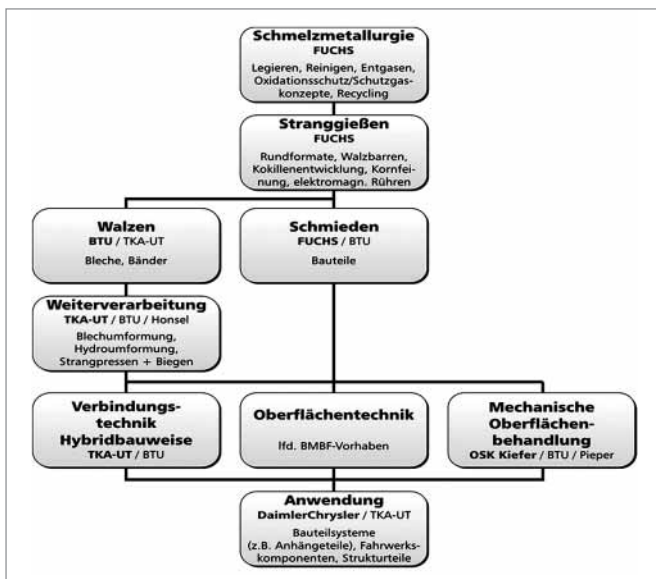


Abbildung 2:
 Projektübersicht „MIA – Magnesium im Automobilbau“

Walzen und Tiefziehen von AZ31-Feinblech

Die Umformung von Mg-Werkstoffen stellt bekanntermaßen erhöhte Anforderungen an die Fertigungstechnik. Die Temperaturführung der Umformprozesse ist hierbei von entscheidender Bedeutung, da ein sprunghafter Anstieg der Umformbarkeit bei 225 °C eintritt [3, 4, 5]. Während des Warmwalzens von Mg-Knetlegierungen ist ein übermäßiges Auskühlen der Brammen im Kontakt mit den Walzenkörpern zu verhindern. Aus diesem Grund wurde für die Versuche am Lehrstuhl Metallkunde und Werkstofftechnik der BTU Cottbus eine Pilot-Walzanlage mit einem temperierten Walzenpaar eingesetzt. Es ist eine Technologie für das Walzen von Mg-Feinblechen direkt aus dem Mg-Gussmaterial entwickelt worden. Platinen der Stärken 1,0 bis 1,5 mm wurden für die Projektpartner in den maximalen Abmessungen 600 mm x 1.000 mm bereitgestellt. Die mechanischen Eigenschaften derartiger Bleche sind in Abb. 3 im Vergleich zu handelsüblichen Mg-Blechen dargestellt.

Die Mg-Bleche wurden nach dem Warmwalzen mittels des Saugstrahlens von Schmierstoffresten befreit. Durch das Strahlen tritt keine Oberflächenverfestigung ein. Das Einstellen geeigneter Strahlparameter und die Auswahl des Strahlmittels machen es möglich, gezielt Profiltraganteile auf der Blechoberfläche zu erzeugen.

Die Tiefzieheignung der BTU-Bleche ist anhand von konventionellen Napfzugversuchen nachgewiesen worden, zum Nachweis der Umformcharakteristika wurden zusätzlich Grenzformänderungsschaubilder erstellt. Für das Mg-Blech, hergestellt aus stranggegossenem Ausgangsmaterial, ist für die Warmumformung bei 225 °C ein Grenzziehverhältnis von 2,2 charakteristisch. Beste Umformeigenschaften ergeben sich für das konventionelle Tiefziehen bei einer Umformtemperatur von 225 °C. Der Einsatzbereich von Mg-Blech für Verstärkungsbauteile kann weite-

re Einsatzbereiche für Mg-Werkstoffe erschließen [6]. Aus diesem Grund konzentrierten sich die Arbeiten im Arbeitspaket „Anwendung“ auf die prototypische Fertigung eines „Klappdach-Innenteils“ aus AZ31-Blech mittels des konventionellen Tiefziehens. An einem solchen Bauteil ist eine einfache Umsetzung der Mischbauweise – Bepunktungs- und Verstärkungsteil bestehen aus unterschiedlichen metallischen Materialien – realisierbar. Die Montage eines solchen Bauteils an einem Serienfahrzeug ist ebenfalls problemlos durchführbar. Um den umformtechnischen Anforderungen des Bauteils gerecht zu werden, ist als Demonstratorbauteil ein „Klappdach-Innenteil“ durch eine Kombination von Streck- und Tiefziehen hergestellt worden. Die nötige Beeinflussbarkeit des Tiefziehprozesses im Hinblick auf den Materialeinzug wurde durch die Verwendung eines Versuchswerkzeugs realisiert, welches mit einem segmentelastischen Niederhalter ausgestattet war [7]. So konnte durch den Einsatz einer Vielpunkt-Zieheinrichtung in einer hydraulischen Presse die für das optimierte „Einfließen“ der Mg-Platine erforderlichen lokal unterschiedlichen Flächenpressungen erzeugt werden.

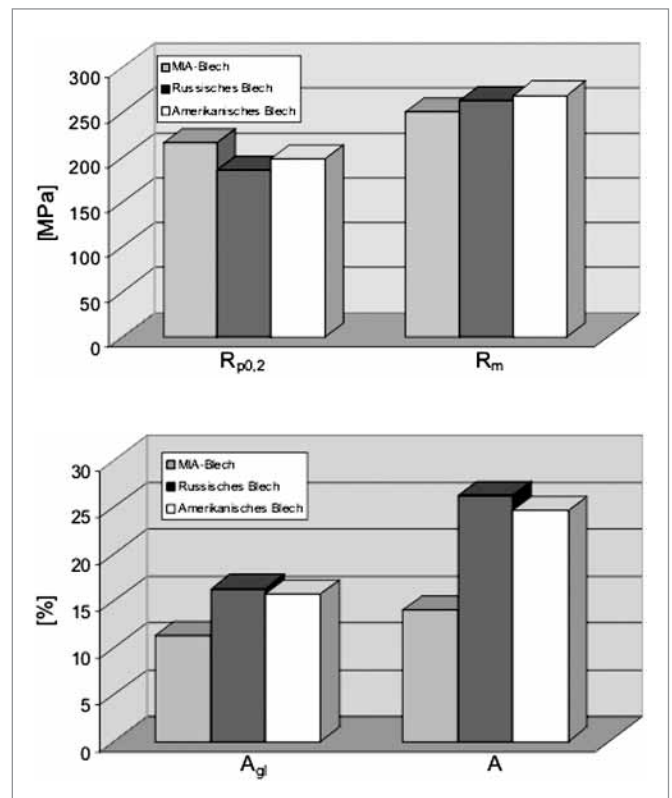


Abbildung 3:
 Einsatzpotenzial der Mg-Knetlegierung AZ31 (Quelle: Brandenburgische Technische Universität, Cottbus)

Ergebnisse umfangreicher FEM-Simulationsrechnungen, die Umformung des Bauteils, die mechanische und thermische Auslegung des Umformwerkzeugs sowie die Platinenerwärmung betreffend, wurden für die Auslegung des Umformwerkzeugs herangezogen. Umformversuche unter Verwendung von handelsüblichem AZ31-Blechmaterial der Salzgitter Magnesium Technologie GmbH haben gezeigt, dass die Herstellung des Bauteils in einem auf 225 °C temperierten konventionellen Tiefziehwerkzeug grundsätzlich möglich ist (Abb. 4).



Abbildung 4: Umformwerkzeug (oben) und prototypisch umgeformtes und beschnittenes Klappdach-Innenteil (unten) (Quelle: DaimlerChrysler AG, Sindelfingen)

Ein nachfolgendes Beschneiden der Ziehteile ließ sich unter Verwendung der Serienwerkzeuge für Aluminium-Bauteile realisieren, wengleich auf eine Neigung zur Flitterbildung zu verweisen ist. Kleine Anrisse in den Durchstelloperationen lassen sich auf die Werkzeugausführung für den Werkstoff Aluminium zurückführen und sind durch entsprechende Anpassungen vermeidbar.

In Ergänzung dazu wurden die Umformbarkeit von Mg-Blech der Legierung AZ31 mittels hydromechanischer Tiefziehversuche untersucht sowie die Einsatzbereiche verschiedener Schmierstoffe erprobt.

Streckbiegen von AZ31-Hohlprofilen

Dem Einsatz von Hohlprofilen aus Mg-Knetlegierungen wird ein weites Einsatzfeld zugesprochen. Aus diesem Grund erschienen Untersuchungen zur Eignung von Mg-Hohlprofilen verschiedener Geometrien für die Biegeumformung bei Raumtemperatur, als auch bei erhöhten Temperaturen besonders interessant. Erste Vorbetrachtungen anhand von FEM-Simulationsrechnungen haben gezeigt, dass das Umformvermögen von Hohlprofilen der Legierung AZ31 die Fertigung einer Vielzahl von in Anwendung befindlichen Biegegeometrien grundsätzlich zulässt. Stand der Technik ist das Biegen von Hohlprofilen unter Anwendung von inneren

„Stützdrücken“ durch deren Aufbringung eine übermäßige Querschnittsdeformation als Folge des Biegevorgangs unterbunden werden kann. Zur Ermittlung der Höhe optimaler Innendrucke im Hohlprofil sowie erforderlicher Kräfte für die Umformung mittels des tangentialen Streckbiegens bei Raumtemperatur wurden die Simulationsrechnungen unter Annahme eines AZ31-Rechteckrohres mit quadratischem Querschnitt 40 mm x 40 mm und einer Wandstärke von 2 mm durchgeführt (Abb. 5).

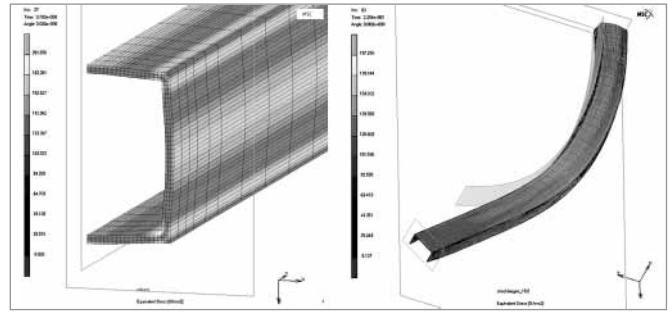


Abbildung 5: FEM-Simulation des Vorstreckens eines AZ31-Rechteckrohres mit überlagertem Innendruck (10 bar), versuchsweise FEM-Simulation des Streckbiegevorgangs mit Innendruck (Quelle: Brandenburgische Technische Universität, Cottbus)

Die praktische Überprüfung der ermittelten Werte für das Biegeverhalten von Mg-Hohlprofilen einfacher und komplexer Querschnittsgeometrien wurde an benannter Geometrie des Rechteckrohres an einer an der BTU befindlichen 3D-CNC-Streckbiegemaschine durchgeführt. Die Streckbiegemaschine, mit einer max. Streckkraft von 60 kN, ist für die Versuche um eine Innendruckeinrichtung erweitert worden. Zur vollständigen Ausschöpfung des Potenzials für die Streckbiegeumformung von Mg-Hohlprofilen können diese direkt im Werkzeugaufbau der Streckbiegemaschine auf eine max. Temperatur von 300 °C erwärmt werden. Um versuchsweise die Komplexität des Streckbiege-Bauteils zu erhöhen, wurde eine Dachrahmen-Geometrie ausgewählt. Der Dachrahmen konnte aus einem entsprechenden 3-Kammer-Hohlprofil hergestellt werden (Abb. 6).

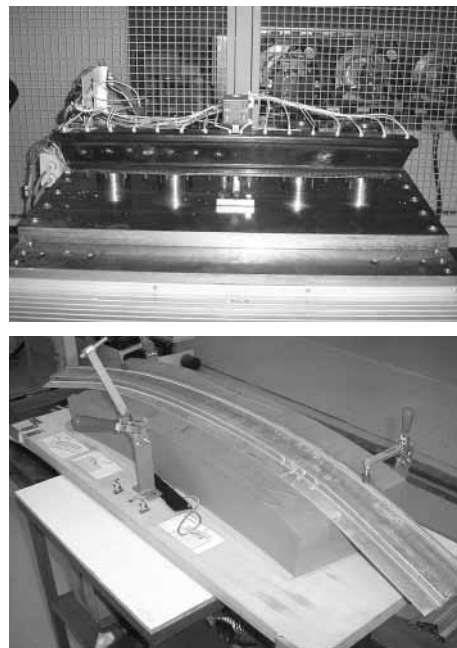


Abbildung 6: Versuchsaufbau zum beheizten Streckbiegen (links) sowie streckgebogener AZ31-Dachrahmen (rechts) (Quelle: Brandenburgische Technische Universität, Cottbus)

Schmieden der Mg-Knetlegierungen AZ31 und AZ80

Neben dem Walzen der Mg-Knetlegierung des Typs AZ31 zur Herstellung von Blechen ist im verstärkten Einsatz von Schmiedeteilen ein erhebliches Potenzial zu sehen [8]. Anhand von Zylinderstauchversuchen zur Fließkurvenaufnahme und der nachfolgenden Charakterisierung der umformbedingten Gefügeausprägung wurde ein Prozessfenster für die Herstellung von Mg-Bauteilen der Legierungen AZ31 und AZ80 erarbeitet. Die Durchführung von Schmiedeversuchen unter Verwendung der Mg-Legierung AZ80 ist anhand zweier Bauteile, einem Querlenker und einer Motorradfelge, erfolgt. Für die Motorradfelge wurde sowohl das Schmieden der Felgenschüssel als auch das nachfolgende Abstreckwalzen des Felgenbetts auf Grundlage des stranggegossenen Mg-Ausgangsmaterials realisiert (Abb. 7).

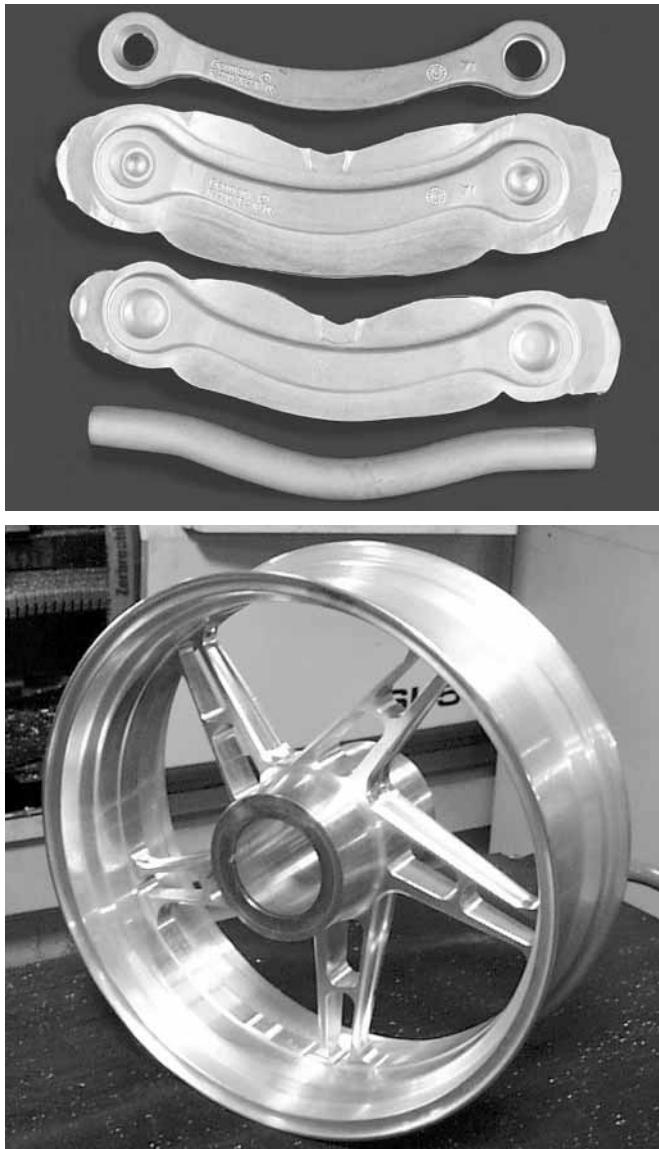


Abbildung 7: geschmiedete Prototypen-Bauteile aus der Mg-Legierung AZ80: Querlenker (links), Motorradfelge – spanend bearbeitet (rechts) (Quelle: Otto Fuchs Metallwerke KG, Meinerzhagen; PVM wheels and brakes, Mannheim)

Die Möglichkeit der Verbesserung der Dauerfestigkeitseigenschaften von Schmiedebauteilen ist durch Verfahren der mech. Oberflächenbehandlung, wie bspw. Kugelstrahlen und Festwalzen, gegeben. So kann eine bedeutende Steigerung der Lebensdauer durch das Kugelstrahlen geschmiedeter Mg-Proben der Legierung AZ80 erreicht werden (Abb. 8). Unter Verwendung verschiedener Strahlmittel wurde die Abhängigkeit der Ermüdungslebensdauer von der Almenintensität an zunächst stranggepresstem und nachträglich geschmiedetem AZ80-Werkstoff ermittelt.

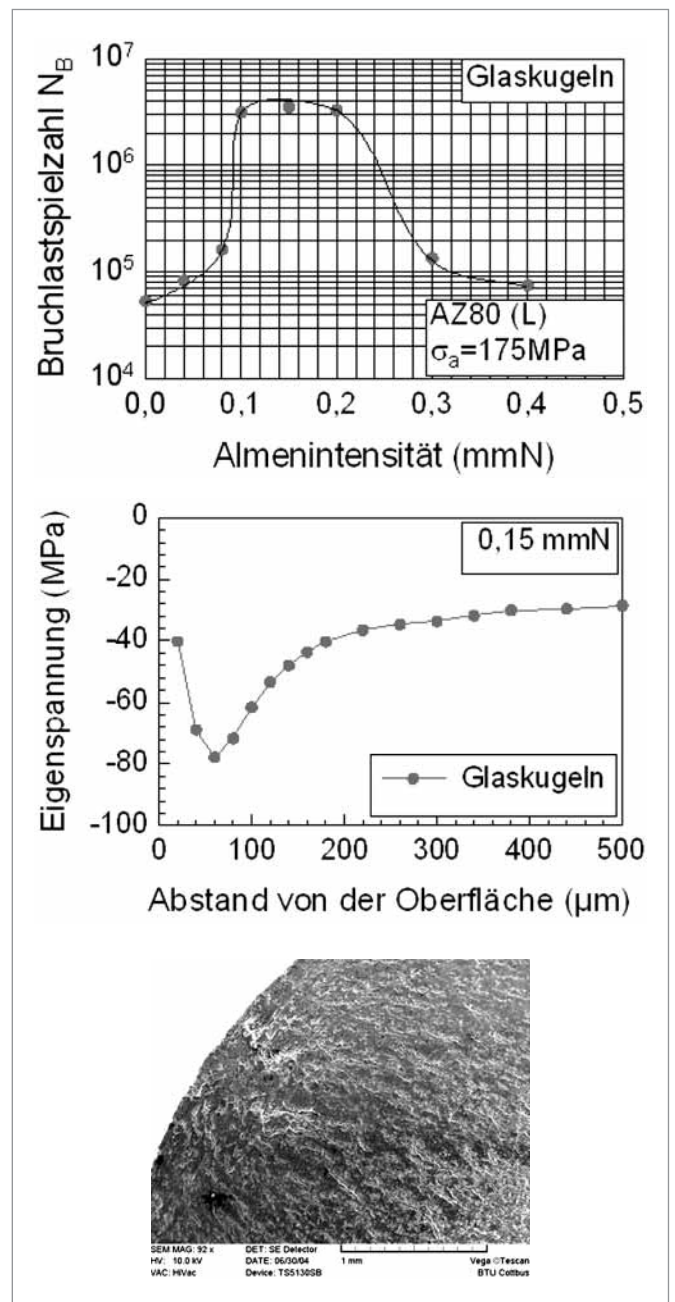


Abbildung 8: Steigerung der Ermüdungslebensdauer geschmiedeter Proben der Mg-Legierung AZ80 durch Kugelstrahlen (Quelle: Brandenburgische Technische Universität, Cottbus)

Zusammenfassung

Anhand der im Verbundvorhaben „MIA – Magnesium im Automobilbau“ durchgeführten Untersuchungen konnte das breite Spektrum an Einsatzmöglichkeiten für Bauteile aus den Mg-Knetlegierungen AZ31 und AZ80 aufgezeigt werden. Mittels eines neuen Stranggussverfahrens kann stranggegossenes Ausgangsmaterial in Rund- und Barrenformaten in hoher Qualität bereitgestellt werden. Dessen Weiterverarbeitung zu dünnwandigen Hohlprofilen mit komplexen Geometrien ist möglich und stellt bereits den Stand der Technik dar. Im MIA-Projekt konnte gezeigt werden, dass durch Warmwalzen ein tiefziehfähiges Blechhalbzeug hergestellt werden kann, was in seiner Umformbarkeit den Ansprüchen einer Vielzahl von Bauteilgeometrien im automobilen Karosseriebau genügt.

Auch bei der Werkzeuggestaltung für den Tiefziehprozess ist dem Umstand Rechnung zu tragen, dass Mg-Legierungen eine erhöhte Umformbarkeit ab Temperaturen 225 °C aufweisen. Das kann durch die Herstellung beheizter Tiefziehwerkzeuge sowie die Ermittlung und Ausnutzung von Umformreserven durch den Einsatz intelligenter Werkzeugkonzepte, wie bspw. den segment-elastischen Niederhalter, erreicht werden. Anhand der Fertigung des Referenz-Bauteils „Klappdach-Innenteil“ konnte die Umformung von AZ31-Blech prototypisch realisiert werden. Erforderliche Schnittoperationen lassen sich an umgeformten AZ31-Bauteilen realisieren, wobei eine deutliche Neigung zur Flitterbildung zu verzeichnen ist. Für die Fertigung von Hohlprofilen bietet sich das tangentiale Streckbiegen unter Verwendung eines „Stützdrucks“ an. In Abhängigkeit der Komplexität des Bauteils und der Größe erforderlicher Biegeradien kann dieses Verfahren temperiert oder bei Raumtemperatur durchgeführt werden. Durch das isotherme Schmieden sind beanspruchungsgerechte Bauteile höherer Festigkeiten bereitstellbar, deren dynamische Festigkeiten durch die zusätzliche Anwendung geeigneter Oberflächenbehandlungen, wie Kugelstrahlen oder Festwalzen, erheblich verbessert werden kann.

Danksagung

Die Projektpartner bedanken sich hiermit beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF-PTJ) für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens „MIA – Magnesium im Automobilbau“ (Projekt-Nr.: 03N3106K).

Literatur

- [1] **KAINER, F.; VON BUCH, F.:** Moderne Entwicklungen von Legierungen für den Leichtbau. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 30 (1999), S. 159-167.
- [2] **DIEM, W.:** Magnesium in different applications, *AutoTechnology*, 1 (2001), S. 40-41.
- [3] **WAGENER, H.-W.; HOSSE-HARTMANN, J.:** Zum Tiefziehen von Mg-Blech. *UTF science*, 1 (2001), S. 28-34.
- [4] **DOEGE, E.; HALLER, B.; JANSSEN, ST.:** Aufnahme von Fließkurven von Magnesiumwerkstoffen, *UTF science*, 2 (2002), S. 13-17.
- [5] **VIEHWEGER, B. et al:** Hydromechanisches Tiefziehen und Hochdruckblech-umformung als Verfahren zur Herstellung komplexer Bauteile aus Magnesium-feinblechen des Typs AZ31B-0, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 35 (2004), S. 440-446.
- [6] **JUCHMANN, P.; WOLFF, S.:** Mit Magnesium geht's leichter, *MM Maschinenmarkt*, 109 (2003), S. 64-70.
- [7] **HENGELHAUPT, J.; HÄUSERMANN, M.:** Neues Werkzeugkonzept für das Tiefziehen. In: *Neuere Entwicklungen in der Blechumformung*. Fellbach 2002. *MAT INFO Werkstoff-Informationsgesellschaft mbH*, Frankfurt, 2002
- [8] **FISCHER, G.; BECKER, J.; STICH, A.:** Gesenkschmieden hochfester Magnesium-Knetlegierungen für Bauteile der Automobil- und Luftfahrtindustrie, *Materialkunde und Werkstofftechnik*, 31 (2000), S. 993-999.

Michael Düring¹, Andrey Karabet¹, Bernd Viehweger¹,
Janny Lindemann², Ping Zhang², Vladimír Šupík² und Christoph Leyens²

¹ Lehrstuhl Konstruktion und Fertigung

² Lehrstuhl Metallkunde und Werkstofftechnik



Dipl.-Ing. Michael Düring studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der BTU Cottbus. Von 1999 bis 2000 absolvierte Herr Düring ein internationales Fortbildungsprogramm der Carl-Duisberg-Gesellschaft e. V. und war im Presswerk von Volkswagen/Audi der Business Unit Curitiba/Brasilien tätig. Von 2000 bis 2006 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Konstruktion und Fertigung der BTU. Seine Forschungsschwerpunkte waren die Umformtechnik, Massivumformung von Leichtbauwerkstoffen, Streckbiegen, Prozesssimulation, Werkstoffprüfung sowie metallografische Untersuchungen.



Dr. rer. nat. Dr.-Ing. Ping Zhang studierte Werkstofftechnik und promovierte im Bereich der Naturwissenschaften in China. Seinen Titel als Doktor der Ingenieurwissenschaften erhielt er von der Universität Erlangen auf dem Gebiet der Werkstofftechnik. Nach mehreren Anstellungen als Postdoc war er von 2003-2005 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Metallkunde und Werkstofftechnik tätig und mit der Verbesserung der Ermüdungseigenschaften von Magnesium durch mechanische Oberflächenbehandlung befasst. Er ist heute Assistant Professor an der Shanghai Jiaotong University in China.



Dipl.-Ing. Andrey Karabet studierte Technologie der Metallformung an dem Moskauer Staatlichen Institut für Stahl und Legierungen (Technologische Universität) und setzte sein Studium im Rahmen des Doppeldiplomprogramms am Institut für Metallformung der TU Bergakademie Freiberg fort. Seit 2003 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Konstruktion und Fertigung der BTU. Seine Forschungsschwerpunkte sind Blechumformung von Leichtbauwerkstoffen sowie Werkstoffprüfung.



Dr. Vladimír Šupík studierte an der Hochschule für Verkehrs- und Nachrichtenwesen und promovierte an der Universität Žilina (Slowakei). Zunächst finanziert über ein „Liesi und Dieter Spethmann“-Stipendium und dann als wissenschaftlicher Mitarbeiter beschäftigte er sich am Lehrstuhl Metallkunde und Werkstofftechnik der BTU Cottbus mit der Entwicklung von Walztechnologien für Magnesiumlegierungen. Heute ist er als Entwicklungsingenieur bei Hyundai in Korea tätig.



Prof. Dr.-Ing. Bernd Viehweger studierte Maschinenbau an der TU Berlin und promovierte dort. Anschließend war er am Fraunhofer-Institut IPK in Berlin und danach in leitenden Positionen in der Werkzeugmaschinenindustrie in der Entwicklung und Konstruktion von Bearbeitungszentren und Umformpressen tätig. Seit 1999 ist er Leiter des Lehrstuhls Konstruktion und Fertigung an der BTU Cottbus. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Blech- und Massivumformung von Leichtbauwerkstoffen sowie die Gestaltung von Leichtbaustrukturen.



Prof. Dr.-Ing. Christoph Leyens studierte Werkstoffwissenschaften an der RWTH Aachen, wurde dort 1997 promoviert und im Jahr 2005 für das Fachgebiet „Werkstoffe für die Luft- und Raumfahrt“ habilitiert. Seit Ende 2004 ist er Lehrstuhlinhaber Metallkunde und Werkstofftechnik an der BTU und Assoziierter Direktor des Instituts für Werkstoff-Forschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Köln. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Strukturwerkstofftechnologie von Leichtbauwerkstoffen und die Oberflächentechnik. Er ist Koordinator eines DFG-Schwerpunktprogramms zur Oberflächentechnik sowie eines großen EU-Forschungsprogramms zur Nanotechnologie.



Dr.-Ing. Janny Lindemann studierte an der TU Bergakademie Freiberg Werkstofftechnik und promovierte 1998 an der BTU auf dem Gebiet der Zusammenhänge von Mikrostruktur und mechanischer Eigenschaften einer warmfesten Titanlegierung. Seit 1999 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl Metallkunde und Werkstofftechnik der BTU. Ihre Forschungsschwerpunkte sind die Strukturwerkstofftechnologie von Leichtbauwerkstoffen und die Randschichtverfestigung dieser Werkstoffe durch die mechanische Oberflächenbehandlung.