

Werkstofflich

Intelligenter Leichtbau durch Massivumformung

In der Automobilindustrie muss zukünftig mehr denn je auf ein möglichst geringes Einbaugewicht der Einzelbauteile geachtet werden. Damit Leichtbau im Markt akzeptiert wird, dürfen die wirtschaftlichen Randbedingungen nicht außer Acht gelassen werden, weshalb großserientaugliche, kosteneffiziente Lösungen notwendig sind. Dies erfordert eine möglichst frühzeitige Berücksichtigung des Fertigungsprozesses bei der Auslegung von Bauteilen, um durch das Heben fertigungsspezifischer Leichtbaupotenziale kosteneffiziente Lösungen zu gewährleisten.

Zur Realisierung von Leichtbau können mehrere Konzepte angewandt werden [1]. Beim konstruktiven Leichtbau wird durch konstruktive Maßnahmen versucht, das zur Verfügung stehende Werkstoffvolumen möglichst homogen auszunutzen. Dadurch kann an Stellen im Bauteil, die kaum belastet werden und auch sonst keine weitere Funktion erfüllen, Werkstoff und damit Gewicht eingespart werden. Der stoffliche Leichtbau zielt darauf ab, unter den gegebenen Belastungen beziehungsweise Randbedingungen eine Struk-

tur mit dem leichtest möglichen Werkstoff herzustellen. Durch die Verwendung eines Werkstoffs mit geringerer Dichte, zum Beispiel Aluminium statt Stahl, kann das Gewicht eines Bauteils reduziert werden. Allerdings ist hierfür in den meisten Fällen eine Anpassung des Bauteils an den neuen Werkstoff und das Fertigungsverfahren notwendig. Alternativ zur Substitution des ursprünglichen Werkstoffs mit einem Werkstoff geringerer Dichte kann die Verwendung von Werkstoffen mit höherer spezifischer Belastbarkeit zur Gewichtsreduktion beitragen. So



»Untersuchungen konnten aufzeigen, dass die mechanische Belastbarkeit des Werkstoffs von der Orientierung der Mangansulfide relativ zur Belastung abhängig ist.«

Dr.-Ing. Stephan Weidel ist Leiter Forschung und Entwicklung bei der Hirschvogel Umformtechnik GmbH in Denklingen.

können beispielsweise Wandstärken oder tragende Querschnitte reduziert werden. Eng verknüpft mit dem Stoffleichtbau und dem konstruktiven Leichtbau ist der Fertigungsleichtbau. Darunter werden die Gewichtseinsparpotenziale durch das Herstellungs- beziehungsweise Fertigungsverfahren verstanden. Um die vorhandenen Leichtbaupotenziale zu nutzen, ist es somit unabdingbar, bereits in einem möglichst frühen Entwicklungsstadium das angedachte Fertigungsverfahren in Verbindung mit dem vorgesehenen Werkstoff zu berücksichtigen.

MASSIVUMFORMUNG

Durch Massivumformung werden Rohteile mit räumlich zu beschreibender Ausdehnung bei teilweise sehr großen Querschnitts- und Wanddickenänderungen plastisch geformt, während bei Blechumformprozessen von einem flächenhaften Werkstück ausgegangen wird, das annähernd konstante Wandstärken beibehält [2]. Bei den Verfahren der Massivumformung treten überwiegend mehrachsige Druckspannungszustände auf. Im industriellen Umfeld hat sich bei den Verfahren der Massivumformung die Einteilung entsprechend der Temperatur der verwendeten Rohteile etabliert.

Von Warmumformung von Stahlwerkstoffen spricht man, wenn diese vor Beginn der Umformung auf circa 1.200 °C erwärmt werden. Dadurch verringert sich der Kraftbedarf, und filigranere Geometrien können aufgrund des erhöhten Umformvermögens hergestellt werden. Bei der Kaltumformung hat der Rohling vor Umformbeginn Raumtemperatur. Da keine Schwindung oder Verzunderung auftritt, sind Form- und Maßhaltigkeit kaltumgeformter Bauteile größer als bei vergleichbaren Schmiedestücken. Jedoch ist die Gestaltungsfreiheit der Bauteile bei der Kaltumformung gegenüber der Warmumformung eingeschränkt. Die Halbwarmumformung von Stahl, die in einem Temperaturbereich von 600 °C bis etwa 900 °C stattfindet, versucht, die Vorteile der Kalt- und der Warmumformung zu verbinden.

VORTEILE DER MASSIVUMFORMUNG

Massivumgeformte Bauteile weisen sehr günstige werkstofftechnische Eigenschaften auf [3]. Dadurch erschließt sich weiteres Potenzial zur Gewichtsreduktion durch Fertigungsleichtbau:

- beanspruchungsgerechter Faserverlauf
- geringe Korngröße
- kleine Einschlüsse, porenfreies Gefüge
- Druckeigenspannungen durch Reinigungsstrahlen.

Durch den Umformprozess stellt sich ein Faserverlauf ein, der der Kontur des Bauteils folgt, Bild 1. Unter dem Faserverlauf versteht man die Vorzugsrichtung der Ausscheidungen im Stahl, insbesondere von gestreckten Mangansulfiden, die durch Ätzmethoden sichtbar gemacht werden können [4]. Diverse Untersuchungen konnten aufzeigen, dass die mechanische Belastbarkeit des Werkstoffes von der Orientierung der Mangansulfide relativ zur Belastung abhängig ist. Während statische Kenngrößen, wie die Zugfestigkeit oder die Streckgrenze, kaum von der Faserorientierung beeinflusst werden, zeigt sich eine Verbesserung der Kerbschlagarbeit und der Ermüdungsfestigkeit bei paralleler Ausrichtung der Mangansulfide zur Belastungsrichtung [5], [6].

Massivumformung bedeutet DYNAMIK.

Massivumgeformte Bauteile ermöglichen höchste dynamische Belastungen und reduzieren durch Gewichtoptimierung Verbrauch und Emission.


**HANNOVER
MESSE**
8. - 12. APRIL 2013

Besuchen Sie uns:
Halle 4, Stand E42

Hightech-Unternehmen der Massivumformung in Deutschland erfüllen kompetent alle aktuellen Anforderungen an modernste Bauteile.

**Konkurrenzlos sicher,
innovativ ...**

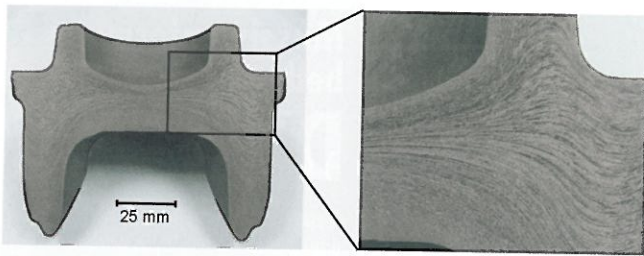


BILD 1 Faserungsverlauf in massivumgeformten Bauteil

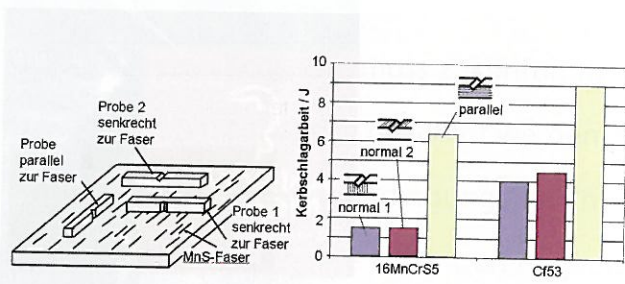


BILD 2 Einfluss des Faserungsverlaufs auf die mechanischen Eigenschaften

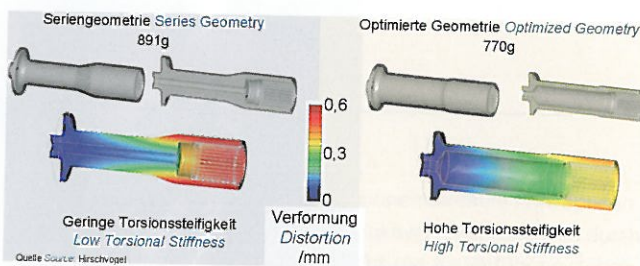


BILD 3 Konstruktiver Leichtbau am Beispiel einer Zwischenwelle-Entwicklungs-kompetenz

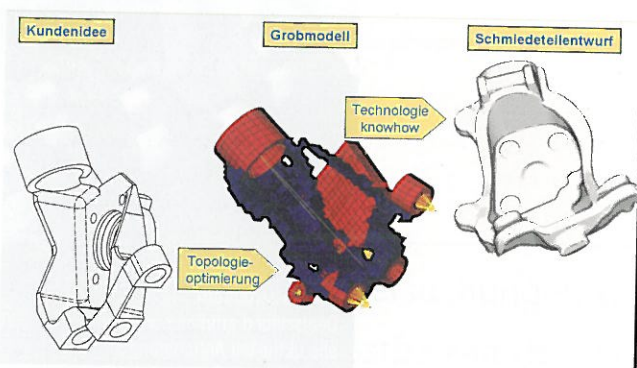


BILD 4 Rechnergestützte Topologieoptimierung für gewichtsoptimierte Umformteile

Kerbschlagbiegeversuche an Proben mit unterschiedlicher Orientierung der Fasern zeigen diesen Effekt eindrucksvoll auf [7]. Es wurden KLST-Kerbschlagproben nach [8] aus dem gewalzten Werkstoff in longitudi-

dinaler und normaler Richtung entnommen. Sowohl bei dem Werkstoff Cf53 als auch bei 16MnCr5 zeigen sich signifikante Unterschiede der Kerbschlagarbeit in Abhängigkeit der Faserorientierung, Bild 2. Bei paralleler Orientierung der Probe zum Faserverlauf ist die Kerbschlagarbeit um den Faktor drei größer als bei senkrechter Ausrichtung der Mangansulfide. Somit hat der Faserverlauf einen deutlichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften von Bauteilen, insbesondere auf dynamische Kenngrößen. Da im Umformprozess der Faserverlauf entsprechend der Bauteilkontur ausgerichtet wird und die Belastung üblicherweise dieser folgt, weisen umgeformte Bauteile bessere mechanische Eigenschaften auf, besonders bei dynamischer Belastung.

Durch die erhöhten Temperaturen bei der Warm- und Halbwarmumformung rekristallisiert der Werkstoff während des Umformvorgangs. Bedingt durch den üblicherweise hohen Umformgrad stellt sich ein feines Korn ein. Daraus resultiert eine erhöhte Festigkeit bei gesteigerter Duktilität. Bei der Kaltumformung tritt dieser Mechanismus nicht auf. Stattdessen erfährt der Werkstoff eine Kaltverfestigung, die zu einer Festigkeitssteigerung führt. Werden kaltumgeformte Bauteile in der weiteren Prozesskette einem Rekristallisationsglühen unterzogen, stellt sich in Abhängigkeit des eingebrachten Umformgrads ein feinkörniges Gefüge ein.

Einschlüsse, die im Stahl vorhanden sind, werden durch den Umformprozess zertrümmert und im Gefüge feiner verteilt. Dies führt zu einer Erhöhung der Schwingfestigkeit des Werkstoffs. Bereits das Vormaterial, das als Rohling für den Umformprozess dient, ist durch die zahlreichen Walzvorgänge, die dem Strang- oder Blockguss folgen, völlig porenfrei. Da bei massivumformtechnischen Vorgängen überwiegend Druckspannungszustände vorliegen, werden keine neuen Poren in den Werkstoff eingebracht. Bauteile, die durch Massivumformung hergestellt wurden, sind deshalb im Gegensatz zu Sinter- oder Gussbauteilen völlig porenfrei. Dies führt zu einer hohen Schwingfestigkeit massivumgeformter Bauteile.

Bei der Warm- und der Halbwarmumformung erfolgt nach dem Umformprozess ein Reinigungsstrahlen. Kaltumgeformte Bauteile erfahren häufig eine nachgelagerte Wärmebehandlung, die ebenso ein Reinigungsstrahlen erforderlich macht. Dadurch wird ein Druckeigenzustand in die Bauteilrandzone eingebracht. Während der Bauteilbelastung wird somit der Spannungszustand in Richtung des Druckbereichs verschoben und infolge dessen die Schwingfestigkeit des Bauteils erhöht [2]. Weitere Maßnahmen zum Einbringen von Druckeigenzuständen können zusätzlich angewendet werden. Damit das Leichtbaupotenzial massivumgeformter Bauteile aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften ausgeschöpft werden kann, ist eine frühe Einbindung des Massivumformers in die Bauteilauslegung notwendig. Nur so können Lösungen gefunden werden, die ein Optimum aus Funktionserfüllung, Leichtbau und Kosteneffizienz darstellen.

ENTWICKLUNGSKOMPETENZ

Massivumformende Unternehmen verfügen heute über eine ausgeprägte Entwicklungskompetenz. Neben der inzwischen selbstverständlichen Nutzung der Finite Element Methode zur Stoffflusssimulation, das heißt zur Auslegung der Umformprozesse, können Bauteilberechnungen auf Basis der linear-elastischen Simulation zur Identifikation von Leichtbaupotenzial genutzt werden. Als Beispiel hierfür sei die in Bild 3 darge-

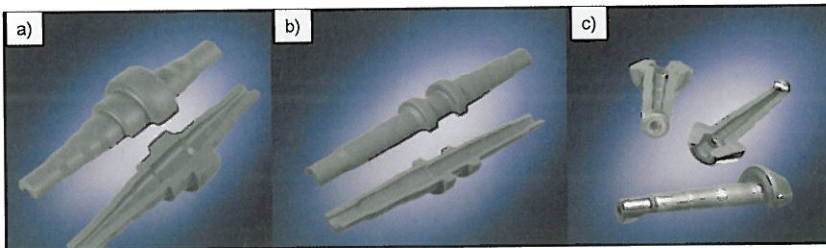


BILD 5 Massivumgeformte Rohteile für hohle Getriebewellen (a, b); durch Massivumformung hergestellter Rohling für ein Antriebskegelrad (c)

stellte Zwischenwelle für ein PKW-Getriebe gezeigt. Durch linear-elastische Simulationen konnte die Seriengeometrie optimiert werden. Die Vergrößerung des Außendurchmessers im hinterschnittenen Bereich der Welle bewirkt die Erhöhung der Torsionssteifigkeit. Dadurch kann die Wandstärke dünner ausgeführt werden, wodurch eine Gewichtsreduzierung von 13,6 % erreicht wird. Fertigungstechnisch weist diese optimierte Geometrie einen geringeren Zerspanaufwand auf, bedingt durch den kleiner ausgeführten Hinterschnitt. Dadurch kann eine Preisreduktion in Höhe von 5 % erreicht werden.

Mittels rechnergestützter Topologieoptimierung kann die Gestalt eines Bauteils im Sinne des konstruktiven Leichtbaus verbessert werden, wie nachfolgend anhand des Beispiels eines umgeformten Aluminium-Schwenklagers dargestellt, Bild 4. Ausgangsbasis stellt ein Finite-Elemente-Modell des Bauteils dar, das die Anbindungsbedingungen und den vorgegebenen Bauraum nahezu völlig ausfüllt. Nachfolgend wird das Bauteil im Rahmen einer FEM-Simulation mit den vorgegebenen Belastungen beaufschlagt und die Spannungsverteilung berechnet. Bauteilbereiche, die nur geringe Spannungen aufweisen, werden für die nachfolgende Berechnung deaktiviert. Diese iterative Vorgehensweise wird solange wiederholt, bis eine gleichmäßige Spannungsverteilung über dem Werkstück vorliegt und dadurch eine optimale Nutzung des Werkstoffs an allen Bauteilbereichen gewährleistet wird.

Bei der Überführung dieser optimierten Geometrie des Aluminium-Schwenklagers in ein fertigungsgerechtes Bauteil sind Spezialisten des angedachten Fertigungsprozesses unabdingbar. Erst der erfahrene Schmiedekonstrukteur entwickelt durch die Kenntnis des Fertigungsprozesses (minimale Wanddicken oder Radien, Ausstoßschrägen, Teilungsebenen u. v. m.) ein fertigbares Aluminium Warm Schmiedeteil.

ANWENDUNGSBEISPIELE ZUM KONSTRUKTIVEN LEICHTBAU

Hohlwellen

Im Getriebebereich erlangen hohl ausgeführte Wellen eine immer größere Bedeutung. Zum einen sind sie technisch notwendig, beispielsweise bei Doppelkupplungsgetrieben oder diversen Elektro-Antriebskonzepten. Zum anderen besitzt die Ausführung von Getriebewellen als Hohlwelle enormes Leichtbaupotenzial, da deren mechanischen Eigenschaften, zum Beispiel die Torsionssteifigkeit, kaum vom Kern einer Welle beeinflusst werden. Für deren wirtschaftliche Herstellung in großen Stückzahlen eignen sich insbesondere die Kaltmassivumformung. In Bild 5 sind hohl aus-

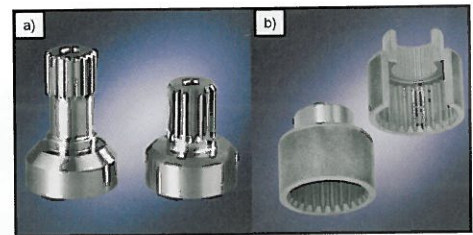


BILD 6 Kompaktere Bauweise durch gepresste Verzahnungen

geführte Rohlinge für Getriebewellen dargestellt, die mittels Kaltumformung hergestellt wurden. Das eingesparte Gewicht beträgt 27 %, Bild 5 (a), beziehungsweise 38 %, Bild 5 (b). Die Bauteile wurden durch einen mehrstufigen Kaltumformprozess in Kombination mit Zerspanung realisiert. Die Gewichtseinsparungen sind aufgrund des Hinterschnitts durch eine zerspanende Herstellung alleine wirtschaftlich nicht zu realisieren. Antriebskegelräder können mittels Massivumformung sehr wirtschaftlich im Sinne des konstruktiven Leichtbaus dargestellt werden. Das hohle Antriebskegelrad in Bild 5 (c) wird in einem mehrstufigen Kaltumformprozess ausgehend von einer hohlen Vorform gefertigt.

Gepresste Steckverzahnungen

Weiteres Potenzial für konstruktiven Leichtbau bieten umgeformte Verzahnungen. Die heute üblichen Genauigkeitsanforderungen an Steckverzahnungen bewegen sich in einem Bereich der Qualitäten 7 bis 9 (nach DIN 5480), die durch Umformen in Großserie darstellbar sind [9]. Aufgrund der umformtechnischen Herstellung von Verzahnungen kann im Gegensatz zur Fertigung mittels Zerspanung auf Ein- und Auslaufbereiche verzichtet werden. Dies kann für eine kompaktere Bauweise genutzt werden. Das Anschlussstück in Bild 6 (a) konnte beispielsweise durch die Umstellung von fräsender auf umformende Fertigung um 25 % verkürzt und dabei die Belastbarkeit noch erhöht werden. Dadurch konnte eine Gewichtseinsparung von circa 15 % realisiert werden. Bild 6 (b) zeigt eine umgeformte Verzahnung eines Abtriebsflansches, die ohne Auslauf bis an den Boden des Bauteils reicht. Eine solche Ausführung bietet aufgrund der geringen Bauteillänge Leichtbaupotenzial und ist mit spanenden Methoden wirtschaftlich nicht herstellbar.

Mittels Massivumformung kann eine Vielzahl von Formelementen auf sehr wirtschaftliche Weise eingebracht werden, die zu einer Gewichtsreduktion führen. So zeigen die Gleichlaufgelenkwellenteile in Bild 7 Aussparungen, die zur Reduzierung der Masse von circa 100 g führen.

ANWENDUNGSBEISPIELE ZUM STOFFLEICHTBAU

Gewichtseinsparungen aufgrund des Fertigungsverfahrens Massivumformung können nicht nur durch Maßnahmen des konstruktiven Leichtbaus erzielt werden, sondern auch durch stofflichen Leichtbau. Durch das Schmieden von Aluminium können hervorragende mechanische Eigenschaften erzielt werden, Tabelle 1. Die dadurch ermöglich-



BILD 7 Kostengünstige Gewichtseinsparung durch Massivumformung

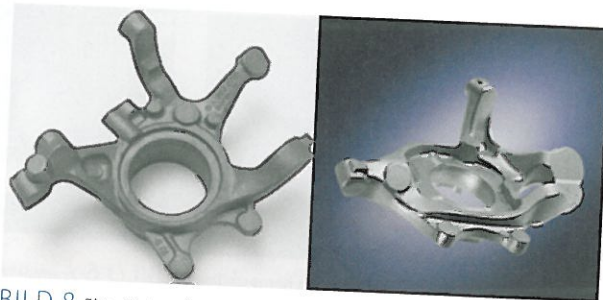


BILD 8 Pkw-Hinterachs-Radträger: Vorgängerteil aus Stahl (a); Nachfolgteil aus Aluminium mit verringertem Systemgewicht (b)

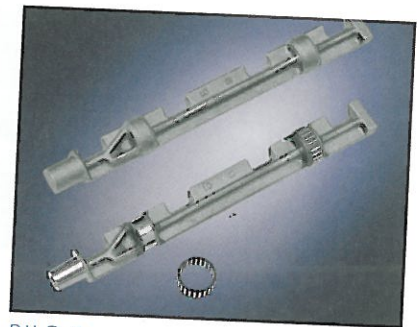


BILD 9 Massivumgeformte Ausgleichswelle

te Substitution von Stahlguss durch geschmiedetes Aluminium soll anhand eines Beispiels aus der Großserie illustriert werden. Der in Bild 8 dargestellte Hinterachs-Radträger für einen Pkw wurde im Rahmen eines Modellwechsels grundlegend überarbeitet. Der ursprüngliche Radträger aus Stahlguss wies ein Gewicht von 4,4 kg auf. Durch die Auslegung als Aluminium-Schmiedeteil und die anschließende Optimierung konnte in Verbindung mit einer veränderten Lagergeneration das Systemgewicht auf 2,6 kg reduziert werden. Auch wenn die Gewichtsreduktion nicht ausschließlich auf die Werkstoffsubstitution zurückzuführen ist, werden die Möglichkeiten des Stoffleichtbaus unter Berücksichtigung der Massivumformung deutlich. Ein weiteres Beispiel für stofflichen Leichtbau aufgrund der erfolgreichen Substitution von Gussteilen durch geschmiedete Komponenten stellt die in Bild 9 dargestellte Ausgleichswelle für Verbrennungsmotoren dar. Durch die Herstellung aus geschmiedetem Stahl wird eine filigranere Struktur ermöglicht, die sich positiv auf das Gewicht auswirkt. Zudem kann die geschmiedete Welle aufgrund der Wälzbelastbarkeit als Innenläufer der Nadellagerung dienen, womit Bauraum und Gewicht eingespart werden. So konnte die Masse der Ausgleichswelle um ein Drittel reduziert werden, was zu einer Gewichtseinsparung von bis zu einem Kilogramm je Motor führt [1]. Die daraus resultierende Reduktion der Drehträgheit der Welle führt zu geringeren Antriebskräften und einer geringeren Geräusentwicklung. Die Massivumformung bietet erhebliches Leichtbaupotenzial aufgrund der hervorragenden erzielbaren mechanischen Eigenschaften. Die Nutzung dieser Leichtbaumöglichkeiten erfordert eine frühe Einbindung des Massivumformers in den Produktentwicklungsprozess. ●

LITERATURHINWEISE

- [1] Hennig, F.; Moeller, E.: Handbuch Leichtbau – Methoden, Werkstoffe, Fertigung. Carl Hanser, München, 2011
- [2] Lange, K. (Hrsg.): Umformtechnik – Grundlagen. Springer, Berlin, 2. Auflage, 1984
- [3] Raedt, H.-W.: Extra-Info Leichtbau durch Massivumformung, Info-stelle Industrieverband Massivumformung (Hrsg.), 2004
- [4] Schuster, A.; Raedt, H.-W.; Tekkaya, A. E.: The Fibre Flow in Steel before and after Cold Upsetting. in: Proc. of 43rd Plenary Meeting of the International Cold Forging Group ICFG. 12-15 Sept. 2010, Darmstadt, Germany
- [5] Golze, N.; Schoch, H.: Faserverlauf beeinflusst Dauerfestigkeit. In: Industrie Anzeiger 1/2, 111 (1989) 28 - 30,
- [6] Cyril, N.; Fatemi, A.; Cryderman, B.: Effects of Sulfur Level and Anisotropy of Sulfides Inclusions on Tensile, Impact, and Fatigue Properties of SAE4140 Steel. SAE Paper No. 2008-01-0434, SAE World Congress & Exhibition, Detroit, MI, April 2008
- [7] Schuster, A.; Raedt, H.-W.; Tekkaya, A. E.: Der Faserverlauf in warm gewalztem Stahl und dessen Auswirkungen auf mechanische Bauteileigenschaften, Planneralm 2011
- [8] DIN 50115: Prüfung metallischer Werkstoffe; Kerbschlagbiegeversuch; Besondere Probenform und Auswerteverfahren, Berlin, Beuth Verlag, 1991
- [9] Hofmann, T.; Weidel, S.; Raedt, H.-W.: Umgeformte Verzahnungen für Getriebe und Antriebsstrang. In: ATZ 113 (2011) Nr. 3, S. 198 - 203

TABELLE 1 Mechanische Eigenschaften von Aluminium 6082, geschmiedet und wärmebehandelt

Dehngrenze	Rp0,2	360 MPa
Zugfestigkeit	Rm	380 MPa
Bruchdehnung	A10	Min. 10 %

Der Autor:

DR.-ING. STEPHAN WEIDEL ist Leiter Forschung und Entwicklung bei der Hirschvogel Umformtechnik GmbH in Denklingen.