



Für Batteriegehäuse ist aufgrund von Gewichtsreduktion und zunehmender Funktionsintegration meist Aluminium das Material der Wahl.

3. Internationale VDI-Fachtagung

„Gießen von Fahrwerks- und Karosseriekomponenten 2018“

Teil 2: Digitalisierung, Car-Sharing, Vernetzung: Autohersteller entwickeln sich zunehmend vom reinen Produzenten zum Mobilitätsanbieter.

Die Auswirkungen des Strukturwandels der Automobilindustrie auf die Gießereibranche waren Gegenstand der 3. Internationalen VDI-Fachtagung „Gießen von Fahrwerks- und Karosseriekomponenten 2018“ Ende Februar in Esslingen.

VON GERD KRAUSE, DÜSSELDORF

Entwicklungen im Karosserierohbau waren Gegenstand des ersten Themenkreises am zweiten Tag der 3. Internationalen VDI-Fachtagung „Gießen von Fahrwerks- und Karosseriekomponenten“ unter Moderation von Dr.-Ing. Lutz Storsberg, Leiter Produktion, Druckguss der Daimler AG in Stuttgart und Josef Nüschen, Director Vehicle Structures, in Vertretung von Dipl.-Ing. Gerd Hahn, Leitung BU Gießerei und Bearbeitung in Kassel.

Mit den „Herausforderungen in der Gehäuse- und Strukturentwicklung von HV-Batteriesystemen“ befasste sich Dipl.-Ing. Ralph Wünsche, Group Leader Concept Design BED-C, Samsung SDI Battery Systems GmbH, Premstätten, Österreich. Samsung ent-

wickelt und produziert in Premstätten bei Graz Lithium-Ionen-Batteriesysteme für alle Varianten der Elektromobilität – vom 48-V-Mikro-Hybridfahrzeuge über Plug-In-Hybridfahrzeuge (PHEV) bis hin zu Lithium-Ionen-Batteriesystemen für rein batterieelektrische Fahrzeuge (BEV). Die frühere Batteriesparte der Magna Steyr wurde 2015 von dem südkoreanischen Elektronikkonzern übernommen. Bereits 2011 erfolgt am österreichischen Standort die Entwicklung von Energiespeichern für Hybrid-Trucks. Ziel von Samsung SDI sei es, hinsichtlich der Anforderungen an Leistung, Packaging und mechanischer Robustheit kundenspezifische Lösungen zu liefern.

Kernelement eines Batteriesystems sind die zu Modulen zusammengesetzten Batteriezellen. Die einzelnen Module sind untereinander elektrisch verbun-

den. Komplettiert wird das Batteriesystem durch elektronische Bauteile wie Hochvolt-Komponenten, Steuerung und Überwachung sowie einem Kühlsystem. Alle diese einzelnen unterschiedlichen Komponenten müssen in einem sicheren Batteriegehäuse verpackt werden.

Die Anforderungen an Batteriegehäuse in Elektrofahrzeugen sind deutlich höher als an konventionelle Strukturbauteile. „Die Batterie muss Teil des Crashkonzepts werden“, fordert Wünsche. Mechanisch hat das Batteriegehäuse hohe Anforderungen an Crashesicherheit und Korrosion zu erfüllen und als rundum geschlossener Kontakt muss es die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) erfüllen. Eine zentrale Rolle spielt das Thermomanagement: Batteriegehäuse von Elektrofahrzeugen sind dynamischen Bedingungen ausgesetzt. Schnelle Beschleunigung und sportliche Fahrweise fordern einen hohen Entladestrom, kurze Ladezeiten sind nur mit hohem Ladestrom zu erreichen. In beiden Betriebsarten fällt erhebliche Verlustwärme an, die in den Batteriezellen entsteht und abgeleitet werden muss. So ist das thermische Management wesentlich verantwortlich für die Lebensdauer des Energiespeichers. Da nur ein Teil der Wärme über das Gehäuse selbst abgeführt werden kann, ist eine aktive Kühlung über Kühlkanäle erforderlich.

Forderungen nach Gewichtsreduktion und zunehmende Funktionsintegration machen in den meisten Fällen Aluminium zum Material der Wahl. Der nächste Schritt zur weiteren Gewichtsreduktion könnte bei Batteriegehäusen allerdings mit anderen Leichtbaumaterialien erfolgen. SDIBS hat bereits Gehäuse aus den unterschiedlichsten Werkstoffen entwickelt, darunter aus faserverstärktem Kunststoff, Stahl und eben Aluminium. Vor allem für Plug-In-Hybrid-Batteriesysteme (PHEV) haben sich Aluminium-Gehäuse aus Druckguss oder geschweißten Strangpressprofilen bewährt, wie Wünsche bestätigt. Das Material bietet in Verbindung mit einer Aluminium-Abdeckung eine gute EMV-Abschirmung. Solange kein Kontakt zu anderen Metallen besteht, ist zudem ein guter Korrosionsschutz naturgegeben. Anders als bei einem – ansonsten preiswerteren – Stahldeckel ist keine Beschichtung erforderlich.

Stärken gegossener Lösungen sieht Wünsche nicht zuletzt in der Gestaltungsvielfalt. Montagepunkte und Strukturelemente lassen sich integrieren. Nachteilig seien die hohen Werkzeugkosten und die Einschränkung, dass Druckguss in der Größe limitiert ist. Bei einem PHEV-Batteriegehäuse beispielsweise liege die Obergrenze dessen, was mit Druckguss zu erreichen sei, bei 1 m Länge und 60 cm Breite.

Hybridkonstruktion

Über „Hochvoltbatteriekästen als Hybridkonstruktion aus Druckguss und Blech – Fügeverfahren und Naht-Geometrien“ referierte Dr.-Ing. Peter Lutze, Entwicklungsingenieur, Projektleiter im Vertrieb, ae group ag in Gerstungen. Als große Strukturbauteile sind Hochvoltbatteriekästen Bestandteil der Fahrzeugstruktur. Funktionsbedingt werden hohe Anforderungen an ihre Dichtheit und partiell an ihre

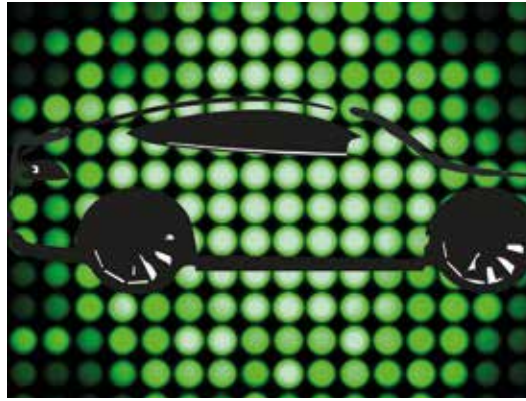


FOTO: RARE - FOTOLIA

Die Anforderungen an Batteriegehäuse in Elektrofahrzeugen sind deutlich höher als an konventionelle Strukturbauteile.

Oberflächengüte gestellt. Nur wenn die Batteriezellen vollflächig plan aufliegen, lässt sich die Verlustwärme über die Gehäusewand optimal ableiten. Zusätzlich sind die Sicherheit im Crashfall und eine hohe Steifigkeit zu gewährleisten. Aufgrund des Einsatzes im Auto müssen Werkstoffe mit hoher Duktilität verarbeitet werden. Teilweise ist auch eine Wärmebehandlung erforderlich, um die Bauteileigenschaften zu verbessern.

Bedingt durch die Größe des Teils ergeben sich lange Füllwege, die vor einem nennenswerten Erkalten der Schmelze zurückzulegen sind. Dies erfordert eine kurze Füllzeit und entsprechend hohe Strömungsgeschwindigkeiten. Infolge dessen können die tief eingebetteten Teilepartien weder gezielt durchströmt noch entlüftet werden. Dies hat Verwirbelungen und Luftschlüsse zur Folge, die beim nachfolgenden Lösungsglühen der oft geforderten T6-Behandlung zu Blasenbildung führen. Entfernt vom Anschnitt liegende Materialanhäufungen können aufgrund der dünnen Bodenpartien nicht über den Anschnitt dicht gespeist werden, zumal die für die Wärmebehandlung erforderliche Legierung ein enges Erstarrungsintervall aufweist.

Ein weiteres Problem sind die Kosten: Die geforderte Oberflächengüte des Strukturbauteils limitiert stark die Lebensdauer der Form. Die großen, unterbrechungslosen Flächen der Formgravur erzeugen maximale Spannungen in der Formoberfläche aufgrund der thermischen Wechselbelastung, die im Gießzyklus auftritt, und führen damit zu einer frühzeitigen Brandrissbildung in der Formoberfläche sowie zu Kornausbrüchen. „Dem kann mit gießtechnischen Maßnahmen nur ungenügend entgegengewirkt werden“, zieht der Referent sein Fazit. Die vorliegende Konstruktion sei als Gussteil praktisch nicht herstellbar und bedinge frühzeitig hohen Nacharbeitsaufwand am Behälterboden.

Lösungsansatz Hybridkonstruktion

„Eine Hybridkonstruktion aus Aluminium-Druckguss als Grundstruktur und Aluminiumblech in den wärmetauschenden Bereichen kann die Summe aller Anforderungen gewährleisten“, wie Lutze aufzeigte. Um Druckdichtheit zu erreichen, wird die Verbindung von Druckguss und Blech durch Schweißen hergestellt. Das Blech wird im Bereich der wärmetauschenden Oberflächen eingefügt. Die ebenen Böden des Batteriekastens dienen der Temperierung der Strom-



Die steigenden Ansprüche an Karosseriebauteile erfordern zunehmend den Einsatz von Verbundwerkstoffen.

speicher, was eine „satte“ Anlage der Batteriemodule bedingt. Die Kühlung erfolgt über eine außen am Boden liegende Flüssigkeitskühlung. Dies macht absolute Druckdichtheit erforderlich. Daneben werden Steifigkeit, Festigkeit und duktiler Verhalten im Crashfall gefordert.

„Dieses Eigenschaftsprofil lässt sich in der Kombination einer gegossenen Struktur beplankt mit Aluminiumblech problemlos erfüllen“, sagt Lutze. Die Unterteilung der Fächer sowie der außen liegende Rahmen und allgemein die tragende Struktur sei als Gussstück darstellbar. So werde auch eine Funktionsintegration z.B. für die erforderlichen Anschlüsse erreicht. Die Baugruppen aus druckgegossener Grundstruktur und Blech in den wärmetauschenden Bereichen müssen durch Schweißen druckdicht gefügt werden.

Zum Schweißen kommen verschiedene Verfahren infrage, wie der Referent erläutert. Dies sind von den Schmelzschweißverfahren sowohl Laser- wie auch MIG- und Plasma-Schweißen und deren Kombinationen sowie von den Pressschweißverfahren das Rollnahtschweißen und das Rührreißschweißen. Welches Verfahren zum Einsatz komme, hänge u.a. von konstruktiv gegebenen Einschränkungen in der Geometrie der Baugruppe sowie von der Gussqualität, ggf. erforderlichen Wärmebehandlungen und von verfahrensspezifischen Eigenheiten der Schweißverfahren ab.

Aufgrund der Nahtlänge, die gewöhnlich einige Meter beträgt, und der Verminderung eines möglichen Verzugs kommen vor allem das Laser- und das Rührreißschweißen in Betracht. Bei Schweißgeschwindigkeiten von 3–6 m/min liegt die Taktzeit beim Schweißen je Bauteil im Bereich der Zykluszeit beim Gießen. Alle Prozesse können dann automatisiert und ggf. verkettet erfolgen. Auf Nacharbeit des Gusses zur Erzielung der erforderlichen Oberflächenqualitäten kann aufgrund des Einsatzes von Blech verzichtet werden. Die Wirtschaftlichkeit ist allein schon durch den weitgehenden Entfall sonst erforderlicher Glättung der wärmetauschenden Oberflächen gegeben, deren Aufwand den des Schweißens übersteigt und die Lieferfähigkeit beeinträchtigt. Die erforderliche Nacharbeit an gegossenen Batterieböden käme am Ende der Formstandzeit einer kompletten Bearbeitung der Oberflächen in den wärmetauschenden Bereichen gleich.

Als mögliche Stoßgeometrien kommen beim Laser- wie auch beim Rührreißschweißen nur I-Nähte infrage. Das Laserschweißen bedingt gasarme Gussqualitäten und wird für wärmebehandelten Guss empfohlen, wo das Rührreißschweißen zu Festigkeitseinbußen führt. Ohne Wärmebehandlung ist Rührreißschweißen empfehlenswert, das toleranter gegenüber Gaseinschlüssen reagiert. Neuere Werkstoffe erreichen ohne T6-Wärmebehandlung gleiche bzw. bessere Eigenschaften als die alten Standardlösungen und sind erheblich kostengünstiger, setzen allerdings genau wie die Herstellung schweißgeeigneter Druckgussqualitäten spezielles Know-how voraus.

Aluminium-Stahl-Mischbauweise

„Karosserieleichtbau in Al-Stahl-Mischbauweise: Fügetechnisch optimierte Integration von Al-Guss in Rohbauprozessen durch hybride Unterzusammenbauten“ war das Thema von Mario Senff, M. Eng., BMW Group in Landshut unter Jean-Marc Ségaud und Doktorand der Technischen Universität München bei Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk.

Die aktuellen Entwicklungen im Automobilbau hinsichtlich Hybridisierung oder Elektrifizierung des Antriebsstrangs sowie autonomes Fahren und Fahrsistenz führen durch zusätzliche Komponenten wie Hochvolt-Speicher und Sensorik zu einer Erhöhung der Fahrzeuggewichte. Hinzu kommt, dass steigende Kundenanforderung bzgl. Komfort und Sicherheit die Gewichtsspirale der Fahrzeuge zusätzlich nach oben treiben. Zwingend nötig sind daher Leichtbaumaßnahmen, die jedoch unter steigendem Kostendruck der Hersteller auch den wirtschaftlichen Ansprüchen gerecht werden müssen.

Für diverse Strukturbauteile in der Karosserie ist ein Trend von der Schalenbauweise Stahl hin zur Integralbauweise aus Aluminiumguss zu erkennen. Allerdings fordert dieser Umschwung neue Investitionen im Rohbau und Prozessanpassungen in der Fügetechnik, da der Karosseriebau aktuell überwiegend auf das Fügen von Stahl-Stahl-Verbindungen (Widerstandspunktschweißen Stahl-Stahl) ausgelegt ist. Um diese Aufwände zu reduzieren, könnten Stahlflansche bereits beim Gießen, außerhalb des Rohbaus, an den Gussbauteilen angebracht werden. Diese hybriden Unterzusammenbauten könnten dann im Karosseriebau sortenrein gefügt werden, da die Anbindungspunkte an die Karosserie in Stahl vorliegen würden.

Senff berichtete in seinem Vortrag über eine Leichtbaumaßnahme aus Aluminiumguss und Stahl für die Karosserie, welche mit einem Gewichtsanteil von bis zu 40 % vom Fahrzeuggesamtgewicht besonderes Potenzial für Gewichtseinsparungen aufweist. Bei der wirtschaftlichen Bewertung von Mischbauweisen kommt es nicht nur darauf an, die Kosten der Einzelkomponente zu betrachten, sondern auch die nötigen Folgeprozesse wie Logistik, Korrosionsmaßnahmen und insbesondere die benötigte Fügetechnik im Karosseriebau. Senff verdeutlicht das am Beispiel des Fügekonzepts des aktuellen 7er-BMW. „Durch den Materialmix ist eine Vielzahl verschiedener Fü-

getechnologien notwendig, welche einen hohen Investitions- und Flächenbedarf mit sich bringen“, betont Senff. Zum Punktschweißen hinzu kommen im Rohbau des aktuellen 7er die Füge- und Anlagentechniken Kleben, Hohlstanznieten, Bolzenschweißen, Schrauben und Fließblochschraben. „Als Konsequenz daraus soll die bestehende Füge- und Anlagentechnik in der nächsten Fahrzeuggeneration wiederverwendet werden, was jedoch das Leichtbaupotenzial erheblich einschränkt“, beschreibt Senff die Situation. Bauteile, die aktuell in der Karosserie aus einem bestimmten Werkstoff wie Stahl hergestellt sind, müssen in der nächsten Generation wieder aus Stahl sein, damit die bestehende Füge- und Anlagentechnik wiederverwendbar ist.

Einen wirtschaftlichen Lösungsansatz stellt die Hybridbauweise dar, die Senff in dem betrachteten Projekt untersucht hat. Um weiterhin Stahlbauteile in Schalenbauweise durch Integralbauweise Aluminiumguss zu substituieren, könnten zuvor außerhalb des Rohbaus (z.B. beim Gießer) Stahlflansche an die Gussbauteile angebracht werden. Diese hybriden Unterelemente ließen sich dann konventionell durch Widerstandspunktschweißen im Rohbau fügen, ohne die bestehende Füge- und Anlagentechnik zu beeinflussen. Der geplante Entwicklungspfad verläuft somit von der Schalenbauweise Stahl über die Integralbauweise Aluminiumguss zum Hybrid-Leichtbauteil.

Wie Senff weiter erläutert, könnten die Stahlflansche sowie, bei geeigneter Fügefolge, angrenzende Bauteile aus Stahl bereits beim Gießer durch Rührreißschweißen an die Gussteile gefügt werden. Die Anbindungspunkte der hybriden Unterelemente an die Karosserie lägen dann in Stahl vor und ließen sich im Rohbau sortenrein durch Widerstandspunktschweißen fügen. Durch den geringen Wärmeeintrag des Rührreißschweißverfahrens und durch den Umstand, dass keiner der Fügepartner die schmelzflüssige Phase erreicht, eigne sich das Verfahren besonders gut dazu, Gussmaterialien sowie artungleiche Werkstoffpaarungen wie Stahl und Aluminium zu verbinden. „Um die Eignung des Verfahrens für die angestrebte Werkstoffkombination zu untersuchen, werden im ersten Schritt Laborproben hergestellt, um diese mit unserem aktuellen Benchmark Halbhohlstanznieten in Verbindung mit Kleben zu vergleichen“, schildert Senff. Nach dem die Tauglichkeit des Verfahrens für das Einsatzfeld nachgewiesen wurde, erfolgt im nächsten Schritt der Übertrag auf ein Realbauteil.

Fazit

Im ersten Schritt wurde die Eignung des Verfahrens Rührreißschweißen für die Materialkombination aus Aluminiumdruckguss (AlSi10MnMg) und Stahl (CR380LA) nachgewiesen. Wie Senff erläutert, wurde hierzu die Verbindung anhand von Laborproben in einem quasi-statischen Zugversuch sowie einem Wählerversuch charakterisiert. Anschließend wurden die Erkenntnisse aus den Grundlagenversuchen auf die Fertigung eines Realbauteils übertragen. Hier konnten die Machbarkeit nachgewiesen und ein Realbauteil gefertigt werden. „Im nächsten Schritt gilt es nun eine Erprobung am Realbauteil durchzuführen

und die Eigenschaften hinsichtlich statischer und dynamischer Belastung, Crasheigenschaften sowie Korrosion zu untersuchen“, sagt der Fachmann. Um später eine mögliche Anwendung im Serienbetrieb zu realisieren, wären, im Falle positiver Ergebnisse aus den Realbauteiltests, noch Konzepte und Methoden für Fertigung, Absicherung und Prüfmethodik auszuarbeiten.

Wärmebehandlung für Struktur Gussteile

„Integration lieferantenseitiger T5-Wärmebehandlung für Struktur Gussteile der Legierung AlSi7MnMg (C611) im Lacktrocknungsprozess des OEM“ war das Vortragsthema von Dipl.-Ing. Thomas Mache, Entwicklungsingenieur Aufbau Karosserie, Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach und Co-Autor Dipl.-Wirt.-Ing. Tim Spielmann von der MAGNA BDW technologies Soest GmbH. In seinem Vortrag beschrieb Mache die Integration der T5-Wärmebehandlung für Struktur Gussteile der Legierung AlSi7MnMg in den Produktions- bzw. Lackierprozess der Karosserie am Beispiel des Porsche 911 Carrera (Typ 991). Ziel dieses Projekts sei gewesen, die Verlagerung der Wärmebehandlung der Einzelteile beim Lieferanten in den Fertigungsprozess beim OEM durch die Nutzung der Prozesswärme während der Trocknungsphasen der Lackschichten. Neben den wirtschaftlichen Vorteilen durch einen geringeren Teilepreis auf Seiten des OEM und dem Entfall von Arbeitsschritten beim Zulieferer ergeben sich laut Mache zusätzlich technologische und ökologische Vorteile auf beiden Seiten. Da die Bauteile im F- bzw. im Gusszustand verbaut würden, erreiche man aufgrund der geringeren Festigkeiten und der erhöhten Dehnung ein robusteres Verhalten im Hinblick auf die Verbindungstechnik. „Darüber hinaus bedeutet der Entfall der Wärmebehandlung beim Lieferanten den Entfall eines vergleichsweise energieintensiven Fertigungsschritts, was eine Reduzierung von ca. 1400 Tonnen CO₂ im Produktionszeitraum entspricht“, wie Mache hervorhebt. Durch die Wärmebehandlung der Bauteile in der gefügten Karosserie werde die heutige Prozesskette jedoch auch entscheidend verändert. „Untersuchungen zur Entwicklung der mechanischen Eigenschaften und dem Verhalten speziell beim Stanznieten sowie zur Maßhaltigkeit der Gussteile waren daher erforderlich“, berichtet Mache. Des Weiteren sei ein neues Konzept zur Qualitätssicherung erarbeitet worden, um serienbegleitend die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs im T5-Zustand nachzuweisen. Hierfür wurden die Temperatur-Zeit-Verläufe, an den für die Gussbauteile relevanten Bereichen der Karosserie, während der Lacktrocknung analysiert und die Parameter einer resultierenden Wärmebehandlung abgeleitet und validiert, so Mache. Zeitgleich wurde ein Ofen im Labor-Maßstab installiert, welcher durch eine entsprechende Steuerung diese Temperatur-Zeit-Verläufe realisieren kann, um die Proben der Bauteile im F-Zustand mit den Parametern der Lacktrocknung auszulagern. „Darüber hinaus wurden die Dokumentationsumfänge erweitert, sodass die Ergebnisse der serienbegleitenden Prüfungen den Wärmebehandlungsparamete-

tern der jeweiligen Proben zuzuordnen sind“, ergänzt Mache.

„Das durchgeführte Projekt zeigt, dass durch eine Betrachtung der gesamten Fertigungsprozesskette, vom Einzelteil zur Karosserie, technologische, ökonomische und ökologische Potenziale gehoben werden können“, folgert Entwicklungsingenieur Mache. Eine stetige und konsequente Optimierung von Prozessen und Fertigungsabläufen nehme daher, mit Blick auf die gesamte Fahrzeugfertigung, eine zentrale Rolle ein.

Zusammenfassung

Die Integration der T5-Wärmebehandlung von Gussteilen in den Fertigungsablauf der Karosserie stellt eine konsequente Weiterentwicklung der bestehenden Prozesskette dar und bietet technologische, ökonomische sowie ökologische Vorteile für den Zulieferer und den OEM gleichermaßen. Auf Basis einer Analyse des bestehenden Serienprozesses am Beispiel der Gussbauteile des Porsche 911 (Typs 991) wurden die Potenziale dieser Prozessanpassung herausgearbeitet und eine neue Prozesskette definiert. Zur Absicherung des Prozesses wurden Untersuchungen zur Entwicklung der mechanischen Eigenschaften, zum Verhalten der Verbindungstechnik und der Maßhaltigkeit durchgeführt. Dabei zeigte sich im Vergleich zur Serie des 991 ein Anstieg der Dehnung bei leicht geringeren Festigkeiten im T5-Zustand und der Verbau der Bauteile im F-Zustand führt zu einem robusten Verhalten des Stanznietprozesses. Es konnte weiterhin in Versuchen nachgewiesen werden, dass die Auslagerung der Gussbauteile im gefügten Zustand der Karosserie zu einer besseren Maßhaltigkeit der Einzelteile führt und keine Auswirkungen auf die Maßhaltigkeit der Karosserie hat.

Zum Erreichen dieser positiven Effekte wurde beim Lieferanten die serienbegleitende Qualitätssicherung an den neuen Prozess angelehnt, um den Serienprozess abzubilden. Das hier beschriebene Verfahren „Verschiebung der Warmauslagerung in den Lackprozess des OEM“ birgt Potenzial in Bezug auf die eingangs genannten Faktoren. Er ist allerdings zwingend in Abstimmung zwischen dem Lieferanten und dem OEM durch den OEM zu validieren, da die Trocknungsparameter elementar zur Erreichung der geforderten Eigenschaften sind.

Al-Legierungen

Über „Al-Legierungen für Strukturteile und deren Wärmebehandlung“ referierte Dr.-Ing. Hubert Koch, Senior Scientist, TRIMET Aluminium SE, Essen. „Gegossene Strukturbauteile sind große, stabilitätsgebende Bauteile, welche dem Leichtbaugedanken durch Maßgenauigkeit und Funktionsintegration gerecht werden. Im Crashfall wird ihnen ein hohes Energieabsorptionsvermögen abverlangt“, definiert Koch. „Aluminium ist hier der Werkstoff der Wahl.“ Aus den Anforderungen an Strukturguss, wie etwa Wanddickenbereiche von 1-4 mm, komplexe Geometrien mit Verrippungen, Wanddickenübergängen und Durchbrüchen, Zugfestigkeiten von 300–350 MPa

und mehr, Anforderungen an Dehnung, Zähigkeit, Ermüdungsverhalten u.a.m., ergebe sich, dass der Druckgussprozess das Verfahren der Wahl sei.

Dass der Konstruktionswerkstoff Aluminium bei der Umsetzung von Leichtbaukonzepten einen wichtigen Beitrag zur Gewichtseinsparung und somit zur Verbrauchs- und Emissionsreduzierung leistet, ist ganz wesentlich neuen Legierungen und Prozessen wie der Wärmebehandlung zu verdanken. Wärmebehandlung von Aluminium-Strukturguss, dies machte Aluminium-Experte Koch an mehreren Beispielen deutlich, beeinflusst die mechanischen Eigenschaften, die Langzeitfestigkeit, die Korrosionseigenschaften, die elektrische Leitfähigkeit und die Bearbeitbarkeit. In der Hauptsache kommt die Wärmebehandlung zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften zum Einsatz.

Ein Beispiel für crashrelevante Druckgussbauteile ist die Verwendung der Legierung trimal-05 vom Typ AlSi10MnMg. Sie weist neben einer vergleichbaren Dehngrenze vor allem höhere Dehnungen auf. Zusätzlich zeichnet sie sich durch ein hohes Energieabsorptionsvermögen aus, so dass sich crashrelevante Bauteile im Fall eines Aufpralls falten bzw. plastisch verformen. Um das gewünschte Crashverhalten zu erzielen, ist eine T7-Wärmebehandlung erforderlich, die aus den Prozessschritten Lösungsglühen, Luftabschreckung und Warmauslagerung besteht. Hierdurch wird unter anderem eine Entkopplung und Einformung des eutektischen Siliziums erreicht.

Als Beispiele innovativer Leichtbaukomponenten aus Strukturguss, gegossen mithilfe geeigneter Legierungen mit Funktionsintegration, nennt Koch das von Trimet Automotive gefertigte Hochvoltbatteriegehäuse (T7), Ober- und Unterteil eines von Georg Fischer Druckguss gefertigten Autobatteriegehäuses und ein Gusseiteil von BMW Landshut; ein großes Strukturgussteil wie ein Integralträger mit angeschweißten Profilen kommt beispielsweise von KSM, Türinnenteile werden bei BMW gegossen. Weitere Komponenten aus AlSi10MnMg sind beispielsweise Federbeindom und Scharnieraufnahme. Von Audi in Münchsmünster kommt mit einem Verbindungsteil Schweller-Längsträger ein 10,5 kg schweres Strukturgussteil mit den Abmessungen 1432 x 379 x 498 mm.

Ausblick

Zusammenfassend hält Aluminium-Experte Koch fest, dass eine Gewichtseinsparung erreichbar ist durch Reduktion der Wanddicken, Funktionsintegration und bionische Strukturen. Zu prüfen seien einphasige Legierungen, die eine Wärmebehandlung überflüssig machen. Eines der künftigen Entwicklungsziele bestehe daher in der Entwicklung einer AlSi-Legierung, bei der beispielsweise crashrelevantes Werkstoffverhalten mit einer vereinfachten Wärmebehandlung ohne die Prozessschritte Lösungsglühen und Abschrecken erreicht werden kann. Grundsätzlich fordert Koch, die Druckgusstechnik weiter zu entwickeln, sowohl was den Prozess als auch was die Form betrefte. Mittelfristig, so ist der Experte überzeugt, sei auch eine additive Fertigung vorstellbar.

Stahlverstärkter Aluminium-Druckguss

Beispiele für die Zukunftstechnologie „Stahlverstärkter Al-Druckguss“ lieferten von der BMW Group in Landshut Dominik Schittenhelm, Doktorand und Projektleiter in der Technologieentwicklung, und sein Betreuer und Abteilungsleiter Jean-Marc Ségaud. Kooperationspartner war Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse vom Fraunhofer IFAM in Bremen.

Die unterschiedlichen Anforderungen an den automobilen Leichtbau verlangen nach neuen Lösungen. So stehen konstruktionsseitig Steifigkeits- und Gewichtsvorgaben sowie zur Verfügung stehender Bauraum in der Fahrzeugkarosserie in stetigem Zielkonflikt, wie Schittenhelm betont. Die steigenden Anforderungen an Karosseriebauteile machen zunehmend den Einsatz von Verbundwerkstoffen notwendig. Ein prägendes Merkmal im Karosseriebau bleibt allerdings der große Anteil dünnwandiger Druckguss-Integralbauteile. Ein Problem dabei ist, dass konventionelle Maßnahmen zur lokalen Steifigkeitserhöhung wie Wandstärkenerhöhung oder das Aufbringen von Gussrippen mit erhöhtem Bauraumbedarf einhergehen. Zur effizienten Auslegung von Komponenten werden daher vermehrt Strukturoptimierungsverfahren eingesetzt, welche sich jedoch überwiegend auf einzelne Materialien beschränken. „Mit dem Ziel der Gewichtsreduzierung wird Material fern der Hauptlastpfade reduziert, ohne signifikante Steifigkeitsverluste zu erfahren“, weiß Schittenhelm zu berichten. Aus dem Stand der Technik gehe kein Optimierungstool hervor, welches mehrere Materialien zur Bauteilgestaltung einbeziehe und im Grundgedanken bei unverändertem Bauteilgewicht durch Materialumverteilung die lokale Biegesteifigkeit erhöhe.

Die gießtechnische Umsetzung eines topologieoptimierten Umgusshybrids im Druckguss zur Erhöhung der lokalen Steifigkeit ohne erhöhten Bauraumbedarf ist ein bislang unerforschter Ansatz. Im vorliegenden Fall sollte als bauraumneutrales Konstruktionsmittel ein Verbundhecklängsträger gestaltet und umgesetzt werden, der mit integriertem Stahlkern verstärkt ist. Hierzu wird eine Mehrphasentopologieoptimierung angewendet, welche unter Gewichtsaspekten den Stahl lastgerecht im Bauteil platziert. Der Verbundhecklängsträger soll im Serienprozess hergestellt und abschließend gemäß den Funktionen im Fahrzeug hinsichtlich lokaler Anbindesteifigkeit geprüft werden.

Gestalt- und Topologieoptimierung

Topologieoptimierungsverfahren unterscheiden sich von der Gestaltoptimierung dadurch, dass nicht die äußere Gestalt des Bauteils verändert, sondern Bereiche im Inneren entfernt werden, was zu einer Änderung der Bauteiltopologie führt. „Für den hybriden Leichtbau ist der menschliche Knochen ein Vorbild“, verdeutlicht Doktorand Schittenhelm. Der Knochen weist Bereiche unterschiedlicher Porosität auf (Knochenschwamm), die sich in einem durchgehend ändernden biologischen Prozess so anordnen, dass auf Basis der Knochenbelastung eine hohe Steifigkeit entsteht. Da es sich dabei um eine Materialumver-

teilung handelt, bleibt die Masse des Knochens in der Regel erhalten (krankheitsbedingte Ausnahme: Osteoporose). Die Erkenntnisse aus der Natur nahmen sich die Kooperationspartner vom Fraunhofer zum Vorbild. „Auf Basis des Knochenumbauprozesses wurde am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) die sogenannte Mehrphasen-Topologieoptimierung (MPTO) entwickelt“, wie Schittenhelm erläutert. Die MPTO verteilt Materialphasen unterschiedlicher physikalischer Dichte ρ in einer mechanisch belasteten Struktur so, dass eine hohe Gesamtsteifigkeit entsteht.

Gießtechnische Umsetzung des Verbundhecklängsträgers

„Die Vorteile der Grundwerkstoffe Aluminium und Stahl sollen im Verbund zum Tragen kommen, jedoch erschweren die Materialeigenschaften deren fertigungstechnische Paarung“, so Schittenhelm. Die begrenzte Löslichkeit der Materialien zueinander und die durch Diffusion ausgebildeten hochspröden intermetallischen Phasen Fe_2Al_5 (1000–1050 HV) und $FeAl_3$ (1000–1100 HV) wirken sich negativ auf die Beständigkeit des Verbundes aus. Der wohl kritischste Faktor bei der Paarung von Aluminium und Stahl ist die Differenz des elektrochemischen Normalpotenzials $s E_0$ der Werkstoffe zueinander. Aluminium ist mit $-1,66$ V zwar deutlich unedler als Eisen mit $-0,44$ V, dennoch bildet es an der Luft sehr schnell eine sehr dünne undurchlässige und in sich geschlossene Oxidschicht aus (Passivierung), die das Metall vor weiterer Korrosion schützt. Eisen hingegen bildet keine geschlossene Oxidschicht aus, weshalb es bei Kontakt korrodiert. Ein Ansatz, die Werkstoffe trotz der fertigungstechnischen Hürden zu paaren, ist deren Verbund im Druckgießprozess.

Schlussbetrachtung

Mit der Integration des topologieoptimierten Stahlkerns im Guss zeigt das Verbundbauteil die gleiche Bauteilsteifigkeit wie das verrippte Serienbauteil. Durch die konstruktiven Änderungen und die Integration des Stahls kann am Hecklängsträger sowohl der Bauraumbedarf als auch das Bauteilgewicht reduziert werden, während die geforderte Steifigkeit unter quasistatischer Last erhalten bleibt. Unter Betriebslast zeigt das Verbundbauteil jedoch aufgrund von Kerbwirkung und thermischen Einflüssen beim Umgießen des Stahls unter Dauerlast verfrühte Rissinitiierung. Schittenhelm bringt jedoch an, dass „hier bereits angedacht ist, die lokalen Wandstärken neu auf die kritischen Bereiche abzustimmen“. Die Weiterentwicklung der Technologie hinsichtlich der Bauteilbeständigkeit unter Betriebslast steht gemeinsam mit dem Crashverhalten im Fokus der weiteren Entwicklung. „Die Integration verstärkender Stahlkerne im Guss soll damit in Zukunft als neuartige Auslegungsmethodik zur effizienten Skalierbarkeit von Strukturteilen beitragen“ gibt Schittenhelm als Ausblick.

Gerd Krause, Mediakonzept, Düsseldorf