



### AMAP FORUM 2018:

## Aluminium ist im Leichtbau Trumpf

- Leichtbau durch flexibles Walzen von hochfestem Aluminium
- Strukturbauteile mit Funktionsintegration durch Aluminium-Hohlpressen
- Neue Design- und Berechnungsmethoden für hochfeste Aluminiumlegierungen

Als Konstruktionswerkstoff ist Aluminium quasi Synonym für automobilen Leichtbau. Dass die Entwicklung nicht stillsteht und das Leichtbaupotenzial des NE-Metalls noch lange nicht gehoben ist, machten Experten aus Wissenschaft und Industrie am Beispiel innovativer Ergebnisse aus Forschung und praxisnaher Zusammenarbeit auf dem AMAP FORUM am 19. April in Aachen deutlich. In dem Open-Innovation-Forschungscluster AMAP haben sich vierzehn Industrieunternehmen und fünf Universitäts-Institute der RWTH Aachen University zusammengeschlossen. Die Themen der interdisziplinären Zusammenarbeit reichen von der Produkt- und Materialentwicklung, Modellierung und metallurgischen Prozesstechnologie bis hin zu neuen Produktionstechnologien.

Leichtmetalle wie Aluminium und Magnesium sind bestens positioniert, die zunehmenden Anforderungen heutiger und künftiger Fahrzeuggenerationen zu erfüllen: Einhaltung der Emissionsobergrenzen bei Autos mit klassischem Verbrennungsmotor und Forderungen der Verbraucher nach mehr Reichweite bei Elektrofahrzeugen zu bezahlbaren Kosten.

#### Höhere Festigkeit – geringeres Gewicht

Die Bedeutung von Aluminium als Konstruktionswerkstoff hat über die letzten Jahrzehnte kontinuierlich zugenommen. Heute ist ein PKW in Europa im Durchschnitt mit mehr als 150 Kg Aluminium unterwegs, wobei mit knapp 100 Kg der Löwenanteil des NE-Metalls auf Guss für Motor- und Antriebsstrang anfällt sowie auf Räder. Automobiler Leichtbau mit einer Karosserie vollständig aus Aluminium war lange Zeit Premiummarken wie Jaguar vorbehalten. Der Durchbruch in den Volumenmarkt gelang Ford 2015 in den USA mit der Neuauflage seines Klassikers F-150, wie Dr. Jürgen Wesemann vom Ford Forschungszentrum in Aachen deutlich machte. Der Pick-up-Truck mit seiner Leichtbaukarosserie aus hochfestem Aluminium markiert die Abkehr von der jahrzehntelang eingesetzten Stahlbauweise bei diesem in Amerika geradezu legendären Fahrzeug. In Europa so gut

wie unbekannt, sind Pick-up-Trucks der F-Serie in den USA seit 36 Jahren die bestverkauften Fahrzeuge.

In der Karosserie des F-150 kommen Aluminiumlegierungen mit 4 unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen zum Einsatz. Das ermöglicht effizientes Recycling durch sortenreife Trennung von Produktionsschrotten. Wie Wesemann erläutert, werden aus diesen 4 Legierungen durch Processing 10 „grades“ mit unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften. Durch die Verwendung hoch- und höchstfester Aluminiumlegierungen in Form von Blechen und Strangpressprofilen ist die Rohkarosserie um 45% leichter, als das Vorgängermodell in Stahlbauweise. Bezogen auf Nutzlast und Zugkraft hat der Pick-up-Truck mit Benzinmotor den Best-in-Class-Kraftstoffverbrauch.

Für die aluminiumintensive Bauweise des F-150 spielt das Beherrschen der richtigen Füge-technologie an der richtigen Stelle eine wesentliche Rolle. Beim F-150 kommen Verfahren wie, Laserschweißen und Widerstandspunktschweißen, Halbhohlstanznieten, FDS-Schrauben, Kleben und Clinchen zum Einsatz.

Künftige Forschungsschwerpunkte sieht Ford-Experte Wesemann beispielsweise in der Entwicklung neuer hochfester Aluminiumlegierungen zur Fortsetzung der Gewichtsreduzierung, maßgeschneiderte Werkstoff- und Bauteileigenschaften und in der Weiterentwicklung fortschrittlicher Gusstechnologien mit dem Ziel weiterer Gewichtseinsparung und Kostenreduzierung. Auch bei den Fügeverfahren besteht nach Ansicht von Wesemann Entwicklungspotenzial. So befasste sich Ford im Rahmen eines AMAP Projekts zusammen mit dem RWTH Institut ISF mit dem vielversprechenden Fügeverfahren Refill Friction Stir Spot Welding. Wichtige Bausteine wirtschaftlicher Aluminium-Leichtbaulösungen seien zudem CAE und virtuelle Optimierung.

Wesemann kann zusammenfassen, dass erfolgreicher Leichtbau nicht nur dem Konstruktionswerkstoff Aluminium geschuldet ist. Damit aus Innovationen auch erfolgreiche Produkte und Lösungen werden, ist eine enge Zusammenarbeit von Werkstoffforschung, Aluminiumherstellern, Bauteilelieferanten und Automobilindustrie erforderlich. Der Ford-Manager machte in seinem Vortrag deutlich, dass nur ein ganzheitlicher Ansatz über die gesamte Wertschöpfungskette von Aluminium zum Ziel führt - ein Ansatz wie ihn das Forschungscluster AMAP verfolgt.

### **Maßgewalzte Aluminiumbleche**

Ein anschauliches Beispiel für innovative Aluminium-Technologien liefert Dr. Udo Brück, Leiter Leichtbauzentrum des Automobilzulieferers Mubea. Wie Brück ausführte, arbeitet Mubea in einem AMAP-Projekt gemeinsam mit Ford und dem Aluminiumhersteller Constellium daran, die ursprünglich für Stahlblech von Mubea entwickelte Technologie des flexiblen Walzens auf Aluminium zu übertragen.

Bei der Technologie zur Herstellung sogenannter Tailor Rolled Blanks (TRB) handelt es sich um einen Kaltwalzprozess, bei dem durch einen veränderlichen Walzspalt variable Blechdicken entsprechend der lokal geforderten Festigkeiten und Steifigkeiten eingestellt werden. Diese innovative Technologie für maßgeschneiderte Material-Lösungen erlaubt bei Stahl Dickenunterschiede bis zu 50 % innerhalb eines Bauteils.

Ziel des Forschungsvorhabens ist eine industrielle Fertigung von maßgeschneiderten Blechen zur Realisierung gewichtsoptimierter Strukturbauteile aus hochfestem Aluminium. Dazu wird die gesamte Prozesskette betrachtet: Vom FLEXwalzen über die anschließende Wärmebehandlung und der darauffolgenden Kaltumformung über die künstliche Alterung des Bauteils bis hin zur

Fügetechnik. Begleitet wird die Entwicklung durch umfangreiche Methoden zur Materialcharakterisierung und Prognose des Umformverhaltens bis hin zum Crashverhalten des Bauteils.

Wie Brüx ausführte, sind die Ergebnisse des flexiblen Walzens mit den bisher eingesetzten Aluminiumlegierungen (6xxx) vielversprechend. Nach entsprechender Wärmebehandlung erreicht das Material eine hohe Festigkeit bei ausreichender Duktilität.

Als nächster Schritt steht an, mit einer 7xxx AlZnMg(Cu) Legierung zu hoch- bis höchstfesten Bauteilen zu kommen. Da sich dieser Hochleistungswerkstoff nur eingeschränkt für eine Kaltumformung eignet, ist eine Warmumformung unabdingbar. In Kombination mit einer Wärmebehandlung nach dem Abschreckvorgang könnte die gewichtsspezifische Festigkeit dieser Tailor Rolled Blanks an die von pressgehärtetem Stahl heranreichen.

### **Start-up für E-Mobility**

Wie der Start in die E-Mobilität aus dem Stand heraus einem Start-Up gelingen kann, zeigt die junge Aachener e.GO Mobile AG unter ihrem CEO Prof. Dr. Günther Schuh, Inhaber des Lehrstuhls für Produktionssystematik an der RWTH und Geschäftsführender Direktor Cluster Produktionstechnik. Dr. Gregor Tücks, Vice President Production der e.GO Mobile erläuterte auf dem AMAP FORUM, wie mit einem interdisziplinären Ansatz die Produktentwicklung des kostengünstigen Elektro-Stadtautos e.GO Life in einer Industrie 4.0 Umgebung auf dem RWTH Aachen Campus erfolgt.

Die Internet of Production Architektur ermöglicht eine schnelle und flexible Entwicklung wie Tücks ausführt. So führte frühe Simulation beispielsweise zu einem überdurchschnittlich steifen Chassis, in dem die Steifigkeit des Batterie-Gehäuses für die passive Sicherheit des gesamten Autos genutzt wird. Die konsequente Modulbauweise trägt zudem zu den niedrigen Herstellungskosten bei, indem der Zusammenbau des Spaceframe aus Aluminium-Strangpressprofilen in einem mehrstufigen Montageprozess erfolgt. Die Außenhaut der crashsicheren und leichten Karosserie besteht aus einer leichten und kostengünstigen Kunststoff-Beplankung.

Emissionsfreie Mobilität ist ein wesentlicher Aspekt des e.GO Life, wie Tücks ausführt, der einzige aber nicht. Datenbasierte Dienstleistungen über anwenderorientierte Apps - Stichwort Konnektivität - und autonomes Fahren sind ebenso Bestandteil der Aachener Entwickler.

Wer in den Besitz des Stadtautos kommen möchte, muss sich noch ein wenig gedulden. Für die Montage des e.GO Life und weiterer Fahrzeuge wie dem autonom fahrenden Elektrokleinbus e.GO Mover und dem viertürigen e.GO Booster errichtet e.GO Mobile im Triwo Technopark auf dem ehemaligen Philips-Gelände in Aachen Rothe Erde die erste Produktionsstätte. Start der Serienproduktion des e.GO Life soll im zweiten Quartal 2018 sein.

### **Funktionsintegration mit Aluminium-Hohl-guss**

AMAP-Mitglied Nematik ist weltweiter Zulieferer von Aluminium-Leichtbaulösungen für Autos mit klassischem Verbrennungsmotor ebenso wie für die neue E-Mobility. Ein zunehmend wichtiger Wachstumsbereich ist der Strukturguss. Seit über zwei Jahren fertigt Nematik an verschiedenen Standorten Strukturgussteile in Serie für verschiedene deutsche und europäische OEMs. Wie dynamisch und forschungsintensiv die Entwicklung in diesem Bereich verläuft, zeigte Prof. Dr. Franz Josef Feikus, R&D Manager der Nematik Europe GmbH am Beispiel hohlgegossener Strukturbauteile im Druckguss.

Heute dominiert Stahl vor allem im kostensensiblen Volumenmarkt, ultrahochfeste Stahlwerkstoffe finden sich aber auch bei sicherheitsrelevanten Bauteilen selbst im Premiumsegment. Im Rahmen

des Forschungsprojektes bei AMAP wird an einer Substitutionsmöglichkeit durch Aluminium-Guss gearbeitet. Durch eine Fertigung im großserientauglichen Druckgießverfahren ist absehbar, dass neben einer Gewichtseinsparung auch eine erhöhte Belastbarkeit möglich ist. Das macht die Technologie interessant als Leichtbaualternative zu der heutigen weitverbreiteten Blechschalenbauweise mit pressgehärteten Stählen. Im Rahmen des laufenden Forschungsprojektes wird daran gearbeitet, eine Innenverrippung für die Al-Gussteile zu realisieren. Dieses Design verleiht ihnen bei minimalen Wanddicken ein geringeres Gewicht und erhöht die Steifigkeit und Festigkeit.

Nemak und seine Konsortialpartner haben für das Projekt eine A-Säule als Demonstrator gewählt. Die crashrelevante A-Säule muss bei einem eventuellen Überschlag den Überlebensraum der Insassen sichern.

Die Wanddicke des Aluminium-Druckgussteils misst nicht mehr als 3 mm. Die Hohlräume der komplexen verrippten Innenstruktur werden durch Salzkerne abgebildet. Die Kerne müssen trotz ihrer filigranen Struktur beim Druckgießvorgang der unter hohem Druck mit hoher Formfüllgeschwindigkeit eingebrachten Aluminiumschmelze standhalten und sich anschließend leicht entfernen lassen.

Begleitet wurde die Arbeit mit Methoden der Topologieoptimierung und umfangreichen Simulationen einschließlich der Simulation des Crash-Verhaltens.

Es ist zu erwarten, dass mit den entwickelten Design- und Berechnungsmethoden und dem eingesetzten Druckgießverfahren der Nachweis erbracht wird, dass sich hohle Strukturteile für die Fahrzeugkarosserie im Industriemaßstab herstellen lassen. Neben dem Leichtbauaspekt zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung zeichnet sich das Design durch gesteigerte Steifigkeit und der Möglichkeit zur Funktionsintegration aus. Komponenten, die in konventioneller Stahlbauweise aus mehreren Blechteilen zusammengeschweißt werden, lassen sich im Druckgießverfahren als ein einziges Bauteil gießen.

In einem nächsten Schritt wollen die Projektpartner weitere Untersuchungen zum Gießverfahren und zum Fügen von Aluminium und Stahl durchführen und ein Geschäftsmodell entwickeln.

### **Modellierung der gesamten Prozesskette**

Über die Ergebnisse des abgeschlossenen AMAP-Projekts „Prozessübergreifende Modellierung von Bauteilen aus gewalzten und geglühten Al-Bändern mit speziellen Eigenschaften für die Automobilindustrie“ berichteten Dr. Thiemo Brüggemann, Projektmanager für Prozessmodellierung bei der Hydro Aluminium Rolled Products GmbH in Bonn, gemeinsam mit Stephan Hojda, M.Sc., Gruppenleiter Werkstoffmodellierung am Institut für Bildsamer Formgebung der RWTH Aachen, University.

In einem Konsortium von sieben Partnern (SMS group GmbH, Hydro Aluminium Rolled Products GmbH, Novelis Deutschland GmbH, Aleris Rolled Products Germany GmbH, Mubea, Institut für Metallkunde und Metallphysik, Institut für Bildsamer Formgebung) wurde die Walzprozesskette zur Herstellung einer EN AW6016 Legierung für die Automobilindustrie untersucht. Der ganzheitliche Ansatz des Projektes umfasste dabei die industrielle Fertigung sowie die damit verbundene Betriebsdatenerfassung in den Werken Duffel (Aleris) sowie Neuss (Aluminium Norf GmbH). Parallel dazu wurden im Produktionsprozess an verschiedenen Stellen Proben gezogen, die in Laborversuchen zur Charakterisierung und Validierung verwendet wurde. Ziel dieser Maßnahmen war es, eine gute Datenbasis für die Simulation der gesamten Prozesskette sowohl auf Ebene der Eigenschaften als auch auf Ebene der Mikrostruktur zu entwickeln.

Die Idee dieses „Integrated Computational Materials Engineering“ (ICME) geht dabei über das klassische „Through Process Modelling“ hinaus. Einerseits ist die Verknüpfung nicht nur entlang der Prozesse sondern auch entlang der Skalen erforderlich. Andererseits ist die durchgängige Mikrostruktursimulation nur dann für den Kunden des Halbzeugs interessant, wenn aus den physikalischen Daten der Mikrostruktur anwendungsrelevante Eigenschaften wie eine Streckgrenze, ein Fließort oder Aussagen bezüglich des Werkstoffversagens gemacht werden können. Die im Konsortium gemeinsam entwickelten und für den Modellprozess validierten, vorwettbewerblichen Methoden können nun durch die beteiligten Fachleute der Firmen implementiert und auf die Bedürfnisse des Wettbewerbs zugeschnitten eingesetzt werden. Ein mögliches Einsatzfeld ist die automatisierte Erstellung von Materialkarten für die Blechumformsimulation aus gemessenen oder simulierten Mikrostrukturinformationen.

### **Vorhersage der Materialeigenschaften**

Eine genaue Kenntnis der Wärmebehandlung beim Gießen von Aluminium hilft Energie einzusparen und das Potenzial des Materials auszuschöpfen. Dadurch lässt sich die Wettbewerbsfähigkeit beim Aluminium-Guss im Allgemeinen steigern. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Gießprozess-Simulation, wie Dr. Marc C. Schneider, Vorsitzender der Geschäftsführung der MAGMA Gießereitechnologie GmbH ausführte. Die Gießprozess-Simulation ist in der Lage, den dynamischen Prozess des Gießens und die sich daran anschließende Erstarrung unter realitätsnahen Prozessbedingungen vorherzusagen.

Neben Erkenntnissen über Eigenspannungen in einem gegossenen Bauteil, ist die Vorhersage der Mikrostruktur der Ausgangspunkt für die anschließende Wärmebehandlung. Das Wissen über die lokalen thermischen Bedingungen während des gesamten Wärmebehandlungsprozesses ist die Grundlage für die Modellierung der mechanischen Eigenschaften nach der Wärmebehandlung.

Um eine genaue Kenntnis über die Entwicklung der ausgeschiedenen Phasen in Aluminiumguss zu erlangen, werden Proben aus unterschiedlichen Legierungen und Mikrostrukturen, vor und nach einer definierten Wärmebehandlung, charakterisiert. Diese Charakterisierung findet auf der Nanometerebene statt. Parallel hierzu sind die zu dem jeweiligen Wärmebehandlungsstatus gehörenden mechanischen Kennwerte zu ermitteln. Ausgehend von der beobachteten Ausscheidungscharakteristik wird ein Ausscheidungsmodell kalibriert und verifiziert. Auf Basis der Mikrostrukturentwicklung, Erkenntnissen zum größenabhängigen Härungsbeitrag unterschiedlicher Ausscheidungsphasen und auch der Mischkristallverfestigung, lassen sich die mechanischen Eigenschaften des Gussteils berechnen.

Um die Übertragbarkeit auf ein breites Feld von Prozessparametern und Legierungen sicherzustellen, findet eine Verifikation des entwickelten Mikromodells anhand von Realgussteilen aus Sand- und Kokillenguss statt.

### **Physikalisches Werkstoff-Design**

Einen Ausblick auf das Potenzial zukünftiger Materialentwicklung gab Prof. Dr. Sandra Korte-Kerzel, Leiterin des IMM-Institut für Metallkunde und Metallphysik der RWTH. Die Professorin und ihr Team untersuchen Materialien skalen-übergreifend bis auf die atomare Ebene, um so durch ein besseres Verständnis der physikalischen Vorgänge zu neuen Legierungen zu kommen. Das Vorgehen machte Korte-Kerzel in ihrem Vortrag am Beispiel von Magnesium deutlich.

Magnesiumkomponenten können sowohl als Gussteile wie auch als Walzprodukte im Automobilbau eingesetzt werden. Mit einer um etwa 30 % geringeren Dichte im Vergleich zu Aluminium sind Magnesiumlegierungen die leichtesten metallischen Konstruktionswerkstoffe. Nachteilig jedoch ist

eine eingeschränkte Umformbarkeit, was dem Einsatz von Magnesiumblech im Karosseriebau Grenzen setzt. Für den Einsatz bei hohen Temperaturen, wie etwa in Motorenkomponenten, wäre darüber hinaus eine verbesserte Kriechfestigkeit wünschenswert.

Wie die Wissenschaftlerin in ihrem Vortrag aufzeigte, lassen sich durch Simulation auf atomarer Ebene neue Erkenntnisse über das mechanische Verhalten gewinnen und daraus neue Legierungen für Magnesiumkomponenten entwickeln. Mit Hilfe quantenmechanisch gestützter Modelle untersuchten Korte-Kerzel und ihr Team die Plastizität im atomaren Bereich und die Veränderungen der Eigenschaften durch Austausch einzelner atomarer und kristalliner Bestandteile. Die Forscher simulierten am Computer beispielhaft den Einfluss einer Vielzahl von Elementen und konnten mit der Verwendung kleiner Mengen von Aluminium (Al) und Kalzium (Ca) deutlich unter den üblichen Legierungsgehalten eine überraschend gute Duktilität auf Basis günstiger und gut verfügbarer Elemente erzielen. Innerhalb des gleichen Legierungssystems Mg-Al-Ca konnte darüber hinaus mit Hilfe hochauflösender nanomechanischer und elektronenmikroskopischer Methoden das Potenzial intermetallisch verstärkter Gusslegierungen dargestellt werden.

In beiden Fällen, der Entwicklung duktiler Legierungen für Walzprodukte und hochtemperaturfester Gusslegierungen für den Motorenbau zeigte Professor Korte-Kerzel eindrucksvoll das enorme Potential einer erkenntnisgetriebenen Materialentwicklung von der atomaren Skala auf.

### **Metallurgische Prozesstechnologie**

Nichtmetallische Einschlüsse in Aluminiumschmelzen haben auf das Endprodukt eine schädliche Auswirkung. Werkstoffe ohne nichtmetallische Verunreinigungen und mit fehlerfreier homogener Oberfläche erreichen signifikant bessere mechanische Eigenschaften und führen auch bei zyklischer Beanspruchung zu einer längeren Lebensdauer und einer verbesserten Betriebsfestigkeit.

Nichtmetallische Einschlüsse wie Aluminiumcarbid  $Al_4C_3$ , Aluminiumoxid  $Al_2O_3$ , Titanborid  $TiB_2$ , Magnesiumoxid  $MgO$  und Spinell  $MgAl_2O_4$  sind diesbezüglich die häufigsten Vertreter unerwünschter Verunreinigungen in Aluminiumschmelzen.

Ein metallurgisches Verständnis der nichtmetallischen Einschlüsse ist eine wichtige Voraussetzung zur Verbesserung der Reinheit von Aluminiumschmelzen, wie Cong Li wissenschaftlicher Mitarbeiter am IME Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling der RWTH Aachen University ausführte.

Die Schmelzereinheit konnte zwar in den letzten Jahrzehnten durch stete Weiterentwicklung von Filtrationstechniken und Schmelzebehandlungen verbessert werden, nichtsdestotrotz ist weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich folgender Themengebiete erforderlich, wie Cong Li hervorhebt:

- Bildungsmechanismen kritischer Einschlüsse
- Einschlussentwicklung von Beginn ihrer Entstehung bis zum Endprodukt
- Einschlussquantifizierung in der Schmelze
- Auswirkungen der Einschlüsse auf die Produkteigenschaften

### **Automatisierte Behandlung von Aluminiumschmelzen verbessert die Gussqualität**

Wie sich mit einer automatisierten Behandlung von Aluminiumschmelzen die Gussqualität verbessern lässt, zeigte Philippe Kientzler, International Marketing Manager von Foseco am Beispiel der Rotorentgasung auf. Bei dieser Spülgasbehandlung rotiert ein in der Schmelze untergetauchter Injektor mit großer Kraft. Dank seines speziellen Designs saugen die von Foseco hergestellten Rotoren ähnlich einer Pumpe die Schmelze vom Boden der Pfanne oder des Tiegels an, was eine optimale Schmelzedurchmischung und eine hohe Entgasungsleistung bewirkt.

Dieser innovative Prozess der Rotorentgasung kann optional durch eine Software gesteuert werden. Die Software mit der Bezeichnung SMARTT basiert auf einer von Foseco entwickelten Entgasungssimulation, mit der sich die Rotorentgasung genau berechnen lässt. Der Bediener braucht nur die gewünschte Schmelzequalität einzustellen und die Software schlägt daraufhin die beste Behandlungsmöglichkeit vor, basierend auf den Umgebungsbedingungen, Schmelztemperatur, Rotordesign und Legierungszusammensetzung.

Als nächsten Schritt der automatisierten Schmelzebehandlung kündigt Kientzler ein System zur Online-Überwachung der Rotorleistung während des Betriebs an.

### **Fortschritte beim Recycling**

Eine der Stärken von Aluminium ist die gute Recyclebarkeit. Verglichen mit der Erzeugung von primärem Aluminium, braucht die Wiederverwertung von Schrott - beispielsweise von Getränkedosen - weniger als 5 % der ursprünglichen Energie und verursacht deutlich geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen. Der Prozess jedoch ist alles andere als einfach, wenn nicht gerade unbeschichteter, sortenreiner Schrott vorliegt. Im Rahmen des abgeschlossenen AMAP Projekt 5 haben sich die beteiligten Partner die Modellierung des Erwärmungs- und Einschmelzvorgangs von Aluminium-Schrotten vorgenommen und Wege zur Verbesserung technologischer Prozesse im Hinblick auf Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit ausgelotet. Oxidationsverluste gilt es zu minimieren und die Energieeffizienz des Recyclingprozesses zu verbessern. Prof. Dr.-Ing. Georg Rombach von Hydro Aluminium Rolled Products gab in einem Vortrag einen Einblick in die Ergebnisse zurückliegender Forschungsarbeit und die anstehenden nächsten Aufgaben.

Ein wichtiger Vorgang in der Recyclingkette ist das Einschmelzen von Aluminiumschrott, was eine detaillierte Betrachtung aller beteiligten Mechanismen erfordert. Ein besseres Verständnis beispielsweise der Wärmeübertragung oder der Pyrolyse ist Voraussetzung für eine weitere Optimierung des Recycling-Konzepts. Im AMAP-Projekt wurden Fragestellungen zu den Metallverlusten durch Oxidation und der organischen Kontamination der Aluminiumschrotte untersucht. Im Pyrolyse-Verfahren – thermo-chemische Spaltung unter hohe Temperaturen (500 – 900 °C) – werden die Anhaftungen vom Aluminium getrennt und eine saubere Aluminiumfraktion ausgeschieden.

Wie Rombach ausführte, war ein wichtiger Aspekt der Arbeit die Untersuchung der Pyrolysegas-Emissionen aus verschiedenen, mit Organik kontaminierten Schrotten während der Erwärmung. Anhand von experimentellen Untersuchungen wurden die Pyrolysegas-Emissionen charakterisiert um die Wechselwirkungen derartiger Gase mit der Schmelze betrachten und die Emission in CFD-Simulationen integrieren zu können.

Als ein Ergebnis der Arbeiten und als zielführende Ansätze schlägt Rombach vor, näher zu untersuchen:

- Indirekte Beheizung (Gas Luft/Strom), denn diese verspricht eine geringere Menge an höher konzentriertem Pyrolysegas
- Energetische Kopplung von Pyrolyse und Schmelzen (Nachverbrennung flüchtiger organischer Verbindungen im Schmelzofen)
- Alternative Pyrolyse-Heizkonzepte (beispielsweise Mikrowellen)

Wie Rombach berichtet, wird ein Antrag zur Forschungsförderung vom BMWi gerade geprüft.

Recyclingexperte Rombach kann festhalten: „Die von AMAP durchgeführten Arbeiten zum Recycling sind der Nukleus für ein neues Forschungsprojekt, auch wenn einige neue Partner (noch) kein AMAP-Mitglied sind.“

## **Schlüsseltechnologie Fügetechnik**

Je stärker Entwicklungen wie Materialmix im Automobilbau oder Batteriefertigung für Elektromobilität ins Blickfeld geraten, umso mehr gewinnt die richtige Fügetechnik an Bedeutung, wie Dr. Simon Olschok vom Lehrstuhl und Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik der RWTH ausführte. Verlangt wird ein wirtschaftlicher Fügeprozess, der sich im Industriemaßstab in die bestehende Fertigungsinfrastruktur integrieren lässt und eine mechanisch stabile und lang haltbare Verbindung garantiert. Bei elektrisch leitenden Komponenten wie Batterien und elektrischen Maschinen kommen Anforderungen an die elektrische Leitfähigkeit der Verbindung, möglichst geringe Energieverluste und die Vermeidung von Überhitzung der Komponenten hinzu.

Beim Fügen von Aluminium mit Kupfer oder Stahl gilt es einige Herausforderungen zu meistern. Formschlüssige Verbindungen haben einen hohen elektrischen Widerstand, Schweißverbindungen mit einem in einer in flüssiger Phase aufgeschmolzenen Metall neigen zur Brüchigkeit und ein grundsätzliches Problem ist die Korrosion zwischen Stahl und Aluminium.

Für das Verbinden so unterschiedlicher Materialien wie Aluminium mit Kupfer und Stahl gibt es eine ganze Palette an technischen Lösungen. Kraft- und formschlüssige Verbindungen wie Schrauben, Stanznieten und Clinchen zählen ebenso dazu wie stoffschlüssige Verbindungen im festen Zustand worunter Rührreißschweißen und Reibpunktschweißen fallen, oder im aufgeschmolzenen Metall mit Techniken wie Laserstrahlschweißen und Elektronenstrahlschweißen. Das Metallschutzgas-Verfahren CMT-Schweißen erweist sich laut Olschok als eine kostengünstige und prozesssichere Fügetechnik.

Die Verbindungstechnikexperten des Instituts haben zu den unterschiedlichsten Mischverbindungen und Fügeverfahren umfangreiche Untersuchungen angestellt. Im Ergebnis lässt sich laut Olschok festhalten, dass bei genauer Kenntnis des Prozesses sowohl für Aluminium-Kupfer wie Aluminium-Stahl-Mischverbindungen geeignete Fügeprozesse zur Verfügung stehen. Die Forschungsergebnisse am Aachener Institut geben allerdings Anlass zu weiteren Forschungen, wie Olschok aufzeigte:

- Aluminium und Kupfer sind im festen Zustand nur partiell löslich
- Bei einer Mischverbindung sind intermetallische Phasen unvermeidlich und müssen gezielt behandelt werden
- Sowohl Al-Cu wie auch Al-Fe-Verbindungen lassen sich mit unterschiedlichen Fügetechniken verbinden
- Schmelzschweiß- und Reibschweiß-Verfahren bilden eine unterschiedliche Schweißnaht. Die sich dabei bildende intermetallische Phase ist aber gleich
- Die Fügezone der Schmelzschweißverfahren ist immer gleich

Festzuhalten ist laut Olschok, dass der Einfluss der unterschiedlichen Variablen Zeit, Temperatur und Mischungsgrad auf die Bildung der intermetallischen Phase noch genauer untersucht werden muss.

## **Umformtechnik erschließt das Potenzial von Aluminium**

Dass auch die Umformtechnik Innovationspotentiale für die Verarbeitung von Aluminium bietet, machte Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hirt, Institut für Bildsame Formgebung IBF der RWTH Aachen University, an vier Themenfeldern deutlich: dem Walzen von Flachprodukten, dem Freiformschmieden, der Blechumformung sowie der Nutzung von Simulation, Modellierung und Daten-Analyse.

Bei den Walzprozessen ermöglichen Modifikationen und Weiterentwicklungen maßgeschneiderte Oberflächeneigenschaften und eine anforderungsgerechte örtliche Verteilung der Materialdicke und der mechanischen Festigkeit. Beim Freiformschmieden kann durch neue Steuerungskonzepte ein erweitertes Formenspektrum erschlossen werden und die inkrementelle Blechumformung



ermöglicht es, komplizierte Blechbauteile auch als Einzelteile wirtschaftlich herzustellen. Mit detaillierter numerischer Simulation lässt sich unter anderem Verständnis für die bei der Umformung auftretenden Änderungen des Mikrogefüges gewinnen und für die Prozessoptimierung nutzen. Will man flexibel auf Abweichungen im Produktionsablauf reagieren, so ermöglichen dies heute reduzierte sehr schnelle Modelle im Zusammenspiel mit betrieblichen Messdaten und Methoden des maschinellen Lernens.

### **Additive Fertigung mit Aluminium**

Mit Aluminium-Legierungen für additive Fertigung befasst sich Dr. Andreas Weisheit vom Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT. Der Fraunhofer-Forscher betrachtet dabei die beiden Verfahren Laser-Powder Bed Fusion (L-PBF) und Laser Metal Deposition (LMD).

Beim L-PBF-Verfahren, einem selektiven Laserstrahlschmelzen wird eine 30-50 µm dünne Schicht Metallpulver flächig auf einer Bauplattform aufgetragen und vom Laser entsprechend den CAD-Daten schichtweise geschmolzen. Die Plattform wird abgesenkt, eine neue Schicht Metallpulver aufgetragen und der Vorgang wiederholt. Das fertige Bauteil wird dem Pulverbett entnommen.

Beim LMD, einem Laser-Pulver-Auftragsschweißen, erfolgt die additive Fertigung mit direktem Metallauftrag. Metallpulver wird über eine Düse zugeführt und mit dem Laser geschmolzen. Durch Mehrlagenauftrag entsteht schichtweise das Bauteil.

Beide Verfahren erreichen eine im Vergleich zum Guss homogenere und feinkörnigere Mikrostruktur was der hohen Abkühlrate beim metallischen 3D-Druck zu verdanken ist. Die kleinen Schmelzbäder (einige mm<sup>3</sup>) kühlen durch das große umgebende feste Volumen viel schneller ab, als die Schmelze beim Gießen.

Das LMD Verfahren kann handelsübliches Gießereialuminium verarbeiten, wie etwa die Standard-Legierung AlSi10Mg. Im Ergebnis etwas härter als Guss, ist die Mikrostruktur feinkörniger. Die mechanischen Eigenschaften können auch anisotrop, also richtungsunabhängig sein.

Das L-PBF Verfahren mit AlSi10Mg weist ebenfalls einige Besonderheiten auf. Die damit gefertigten Materialproben weisen bei einer Verdopplung der Laserleistung - also bei einer Verdopplung der Schmelzleistung und somit der Geschwindigkeit des Fertigungsprozesses - gegenüber dem herkömmlichen L-PBF Verfahren die gleiche Zugfestigkeit und Dauerfestigkeit auf. Am höchsten ist die Festigkeit parallel zum Schichtaufbau. Bei schwingender Beanspruchung ist eine Oberflächenbehandlung zwingend erforderlich, um Risseinleitung an Rauheitsspitzen auszuschließen.

Eine gegenüber AlSi10Mg deutlich höhere Festigkeit erreicht L-PBF mit der Sonderlegierung Scalmalloy®RP, eine von EADS (vertrieben von der Tochtergesellschaft APWorks) entwickelte Leichtbaulegierung für den metallischen 3D-Druck. Durch den Zusatz von Scandium erreicht diese Aluminium-Magnesium-Legierung eine Zugfestigkeit von 520 MPa und die Duktilität von Titan.

Trotz hoher Festigkeit und den hervorragenden Materialeigenschaften: Einem breiteren Einsatz von Hochleistungslegierungen wie Scalmalloy stehen die hohen Kosten gegenüber. Fraunhofer-Forscher Weisheit plädiert daher für weitere Forschungen zur Legierungsentwicklung. Als Legierungselemente könnten an Stelle des teuren Scandiums beispielsweise Nickel (Ni) oder Kalzium (Ca) dienen.

Ende des Jahres soll mit dem Start des BMBF-Projekts MAYFEST zur hybriden Fertigung die Herausforderung angegangen werden. An einem Zylinderkopf als Demonstrator wollen die Partner aus Wissenschaft und Industrie das Zusammenspiel von Gießtechnik und additiver Fertigung mit neuen Legierungen erforschen.

### **Aluminiumlegierungen mit Scandium**

Wie Elvira Ivanova von RUSAL auf dem AMAP FORUM in Aachen ausführte, bewirkt ein geringer Zusatz von Scandium (bereits einige Zehntel Prozent) eine Festigkeits- und Härtesteigerung sowie eine Strukturverfeinerung bei Aluminiumlegierungen. Aluminium-Scandium-Legierungen sind zudem gut und fest schweißbar und damit vielversprechend für die Anwendung in Maschinenbauindustrie. Nachteilig ist allerdings der hohe Preis von Scandium, der zur Verteuerung von Sc-haltigen Materialien führt.

Der hohe Preis von Aluminium-Scandium-Legierungen bestimmt die Notwendigkeit der Entwicklung von neuen Legierungszusammensetzungen mit einem geringeren Sc-Gehalt im Vergleich mit den gängigen kommerziell erhältlichen Legierungen. Das russische vereinigte Unternehmen RUSAL realisiert erfolgreich innovative F&E-Projekte, die auf die Entwicklung und industrielle Assimilation von niedriglegierten Al-Mg-Sc-Legierungen gerichtet sind.

Wie Ivanova ausführte hat RUSAL die komplette Produktionskette für die Gewinnung und Verarbeitung von Scandium entwickelt. Sie fängt mit der Gewinnung von 99,5 % reinem Scandium-Oxid aus Rotschlamm an, erstreckt sich über die Herstellung von der Vorlegierung im eigenentwickelten energieeffizienten Verfahren und endet mit der Produktion von vielversprechenden Aluminiumlegierungen mit einem Sc-Gehalt von 0,09 – 0,11 %. Die Untersuchungen bestätigten gute Eigenschaften des entwickelten Materials.

Ein neues Feld für den russischen Aluminium-Konzern ist die additive Fertigung. So hat RUSAL eine AlMgSc-Legierung speziell für den metallischen 3D-Druck entwickelt. Der niedriglegierte Sc-Werkstoff hat laut Ivanova die gleichen Eigenschaften wie eine Legierung mit 2,5-fach größerem Sc-Gehalt. Die aus der AlMgSc-Legierung gefertigten Details sind um 26 % leichter, als die aus der Legierung A356 gegossenen Teile gleicher Geometrie.

Zusammenfassend kann Ivanova festhalten, dass es möglich ist, für die Erweiterung des Anwendungsbereichs von Aluminium-Scandium-Legierungen und für die Senkung ihrer Preise, den Sc-Gehalt zu reduzieren und es durch andere Legierungselemente zu ersetzen. Die Entwicklung und Anwendung der richtigen Prozess- und Verarbeitungsparameter von Legierungen ermöglicht die Herstellung von Produkten, die in ihren Eigenschaften den traditionellen Aluminiumwerkstoffen überlegen sind. Ivanova ist zudem davon überzeugt, dass die Kosten für die AlSc-Vorlegierung ständig sinken werden und die Entwicklung und Einführung neuer Legierungen mit niedrigem Sc-Gehalt zu einem konstanten Marktwachstum für neue Aluminiumlegierungen führen wird.

### **Additive Fertigung in der industriellen Anwendung**

Den praktischen Nutzen additiver Fertigung kann der Anlagenbauer SMS am Beispiel eines im 3D-Druck gefertigten Sprühkopfes für Gesenkschmiedepressen unter Beweis stellen. Der Sprühkopf erfüllt beim Gesenkschmieden eine wichtige Funktion: Er entfernt den Zunder von Gesenken, kühlt die Gesenkoberfläche, bringt Schmierstoffe auf und trocknet die Gesenke. Wie Axel Roßbach, Technology Extrusion and Forging Presses SMS Group darstellte, sind die Werkzeugräume von Gesenkschmiedepressen in Teilen geometrisch so komplex, dass die konventionelle Fertigung von Sprühköpfen hier an ihre Grenzen stößt. Die additive Fertigung zeigt genau dort ihre Stärken: Ein geringes Materialgewicht und ein gewichtsoptimiertes Design bei freier Geometrie, denn Material findet sich nur an den Stellen, an denen es gebraucht wird. Die 3D-Sprühköpfe sind extrem leicht, woraus sich Vorteile wie ein geringerer Verschleiß und höhere Taktzeiten beim Schmieden ergeben.

Der 3D-Druck ermöglicht die Fertigung verschiedenster Düsenformen und Ausrichtungen. Die Positionierung der Düsen ist hochflexibel und wird vom Kunden bestimmt, wie Roßbach berichtet. Gleichzeitig haben die 3D-Sprühköpfe eine geringe Bauhöhe, sodass der Werkzeugraum anderweitig genutzt werden kann.

SMS hat ein eigenes Know-how zum Erstellen der 3D-Sprühköpfe entwickelt, das die Konstruktionszeit auf ein Minimum reduziert, wie Roßbach erläutert. Dank automatisierter Fertigung kann ein Sprühkopf je nach Material über Nacht geliefert werden. Die Sprühköpfe werden nach Kundenwunsch wahlweise in Kunststoff (Polyamid) oder Metall (Aluminium) gefertigt.

### **AMAP – das Open-Innovation-Forschungscluster - Klein und fein**

Der Name ist Programm: AMAP – Advanced Metals and Processes. Das Open-Innovation-Forschungscluster AMAP widmet sich der Werkstofftechnik von NE-Metallen und insbesondere der Herstellung und Verarbeitung von Aluminium zu innovativen Produkten (einschl. Magnesium) für die Automobilindustrie. Das Netzwerk verknüpft eine Gruppe von vierzehn Industrieunternehmen mit fünf Universitäts-Instituten der RWTH Aachen University.

„Wir sind ein kleines Netzwerk“, sagt Dr. Klaus Vieregge, Vorsitzender des AMAP-Beirates und Leiter Hydro Aluminium-Forschung Bonn. Neue Mitglieder sind jederzeit willkommen, doch nicht die Größe steht im Fokus des Forschungsclusters, sondern wir wollen durch die Effizienz der Arbeit und die Forschungsergebnisse überzeugen. Mit dem Markenkern „Open Innovation“ verfolgt AMAP eine F&E- und Innovationsstrategie, mit der Hochschulen der RWTH Aachen und Industrie-Unternehmen ihre Technologien und Produkte über eigene Grenzen und gewerbliche Schutz- und Urheberrechte hinaus öffnen. Mit dieser interdisziplinären Zusammenarbeit von Industrie und Hochschul-Instituten an aktuellen Problemen auf den Gebieten der Nichteisenwerkstoffe lassen sich neue Ideen generieren und komplexes Wissen der RWTH-Institute und Firmen-Forschungspartner in Projektarbeiten einbringen. Diese effiziente Risikoverteilung zwischen Industrie und Wissenschaft ist wesentliche Grundlage der Win-Win-Partnerschaft.

Angesiedelt an der RWTH Aachen University verfolgt das Forschungscluster den evolutionären Gedanken einer gemeinsamen Forschung an einem Ort, industrie- und institutsübergreifend. „Die unterschiedlichen Unternehmensphilosophien von Industrie und akademischen Institutionen formen ein gemeinsames Verständnis von fruchtbarer Zusammenarbeit“, weiß Dr. Christian Bollmann von ALERIS Rolled Products Germany zu berichten. Die Gemeinschaftsarbeit hilft nicht nur den beteiligten Unternehmen Kosten bei vorwettbewerblicher Forschung zu sparen. Dank der interdisziplinären Zusammenarbeit lernen die Partner auch ein Problem aus unterschiedlichen Perspektiven zu betrachten, wie Bollmann bestätigt.

Und nicht nur nebenbei erschließt die Nähe zu einer der renommiertesten technischen Hochschulen Deutschlands den beteiligten Unternehmen die wichtigste Ressource: Gut ausgebildete junge Akademiker. Dr. Klaus Vieregge kann bestätigen: „Die Nähe zur RWTH Aachen University öffnet eine Chance, Talente im hart umkämpften Ingenieurbereich zu finden.“

*Dipl.-Ing. Gerd Krause, Mediakonzert, Düsseldorf*

Diese Presseinformation sowie Pressebilder (Marcel Dohmen, pictures of life) finden Sie unter: [www.amap.de/aktuelles](http://www.amap.de/aktuelles)

### **Kontakt für Journalisten:**

Dr. Rolf Weber: [RWeber@metallurgie.rwth-aachen.de](mailto:RWeber@metallurgie.rwth-aachen.de)

Dr. Peter von den Brincken: [vdb@ime-aachen.de](mailto:vdb@ime-aachen.de)

### **AMAP GmbH**

Das Open-Innovation-Forschungscluster AMAP konzentriert sich im Bereich der Werkstofftechnik auf Herstellung und Verarbeitung von NE-Metallen, insbesondere auf solche mit Aluminiumbasis. Gründungsmitglieder sind zehn Industrieunternehmen und vier Universitäts-Institute der RWTH Aachen University.

Die AMAP GmbH ist eine 100 %-ige Tochter des gemeinnützigen eingetragenen Vereins Aluminium Engineering Center e.V. (aec), dem die Leiter von 10 Instituten der RWTH Aachen University angehören.  
**[www.amap.de](http://www.amap.de)**