

# Schlussbericht zu 01RW0103

Zuwendungsempfänger: Hydro Aluminium Deutschland GmbH	Förderkennzeichen: BMBF 01 RW 0103
Vorhabensbezeichnung: Entwicklung von Recyclingkonzepten für Aluminium-Sonderwerkstoffe	
Laufzeit des Vorhabens: 26 Monate	
Berichtszeitraum: Oktober 2001 bis Dezember 2003	

## ***I. Kurzdarstellung***

### **1. Aufgabenstellung,**

Der steigende Einsatz und die Vielzahl verschiedener Aluminium-Sonderwerkstoffe führt dazu, dass die in den Recyclingkreislauf gelangenden Schrotte zunehmend durch metallische und nichtmetallische Fremdelemente verunreinigt sind, die zu Problemen im Verarbeitungsprozess führen und die Qualität der hergestellten Legierungen beeinflussen können. Gegenstand der Untersuchungen sind MMC/AMC, Aluminium-Schäume, Sonderlegierungen mit seltenen Legierungselementen, Schichtverbunde und auch Fe-haltige Rückläufe.

Um entscheiden zu können, mit welchem Recyclingkonzept die einzelnen Materialien verarbeitet werden sollten, müssen zunächst die Charakteristika in Bezug auf Aufbereitung und Schmelztechnik bestimmt werden. Grundsätzlich ist für alle genannten Arten von Sonderwerkstoffen anhand der jeweiligen Werkstoffcharakteristik sowie insbesondere der Art und Menge der eingesetzten Werkstoffkomponenten zu prüfen, ob bestehende Recyclingkonzepte unverändert oder modifiziert genutzt werden können, oder neue Verfahren entwickelt und erprobt werden müssen.

Hier gilt es die Werkstoffe in geschlossenen Kreisläufen zu verarbeiten oder die jeweiligen Komponenten ohne substanzielle Qualitätsverluste zurückzugewinnen. Dabei ist stets auch der Wert der Werkstoffe bzw. einzelner Komponenten für die wirtschaftliche Machbarkeit bei entsprechendem Aufwand zu betrachten.

### **2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Das Projekt wurde von der VAW-Imco Guss & Recycling GmbH initiiert, einer Beteiligungsgesellschaft der ehemaligen VAW aluminium AG. Im Zuge des Verkaufs der VAW aluminium AG (Bonn) an die Hydro Aluminium ASA (Oslo) ist diese in die Hydro Aluminium Deutschland GmbH umgewandelt worden. Ende 2003 hat sich die frühere Beteiligungsgesellschaft VAW-Imco Guss & Recycling GmbH von Hydro Aluminium a.s. getrennt und führt das Projekt fort. Sie ist auf das Recycling von höher legierten und verunreinigten sekundären Vorstoffen spezialisiert, die überwiegend zu Gusslegierungen verarbeitet werden. Somit gehören auch die im Projekt untersuchten Sonderwerkstoffe zum gegenwärtigen und potenziellen Einsatzmaterial der VAW-Imco Guss & Recycling GmbH.

### **3. Planung und Ablauf des Vorhabens**

Die Projektarbeit der VAW aluminium AG bzw. der Hydro Aluminium Deutschland GmbH umfasste neben analytischen Aufgaben die Technikumsversuche im halbertechnischen Maßstab. Folgende Materialien standen zur Untersuchung:

**MMC/AMC:** Folgende Ansätze zur Verarbeitung von MMC-Schrott sind zu prüfen. Entfernung der Partikel aus dem flüssigen Al durch Filtration oder aufgrund der Dichteunterschiede, evtl. auch unter Schmelzsalz und gemeinsames Recycling des Werkstoffverbundes zu neuen MMCs. Für beide Wege sind hauptsächlich die Löslichkeit und das Absetzverhalten der Partikel während des Schmelzens. Gegenstand der theoretischen und praktischen Untersuchungen. Eine technische Umsetzung und die benötigte Modifikation der Versuchsanlagen wird sich dann am Erfolg der Abtrennung bzw. Homogenisierung der Partikel richten.

**Schäume:** Das Hauptaugenmerk beim Recycling von Aluminiumschäumen wird sich auf das Schmelzverhalten richten, das durch vorheriges Kompaktieren oder den Einsatz von Tauch- und Einrührverfahren, wie sie für die Legierungsherstellung genutzt werden, verbessert werden kann. Außerdem sind die Auswirkungen vorgeschalteter Aufbereitungsschritte und das Verhalten der Schäumer zu untersuchen.

**Sonderlegierungen:** Bei den Sonderlegierungen handelt es sich um konventionelle Knet- und Gußlegierungen, die durch Zusätze von Pb, Ni, Cr, Mn, etc. modifiziert werden und um unkonventionelle Aluminiumlegierungen mit Zusätzen von Li, Zr, C, Mo, Ce, V oder Sc. Aufgrund des untypischen Legierungszustandes solcher Schrotte und der damit verbundenen Einschränkungen für den Einsatz ist das Verhalten der Legierungselemente in Bezug auf An- oder Abreicherung in der Legierung zu untersuchen.

**Eisenhaltiger Rücklauf:** Die Behandlung Gußstücken mit Stahlkomponenten kann zunächst durch eine mechanische Anreicherung mittels bekannter Aufbereitungstechnologien (Shredder, Magnetscheider, Wirbelstromscheider) erfolgen, wobei die Aluminiumverluste um so größer werden je weitgehender Eisen abgetrennt werden soll. Hierbei gilt es die optimale Aufbereitungstiefe für nachfolgende Schmelzverfahren für derartige Vorstoffe herauszufinden. In Abhängigkeit von der Art der Vorbehandlung ist der Spannungsbereich möglicher Eisenaufnahme des Aluminium zu ermitteln. Bei den Schmelzversuchen steht das Abschmelzen der Vorstoffe unter Salz zur Vermeidung der Eisenanreicherung im Mittelpunkt.

#### **4. Wissenschaftlich- technischer Stand**

Vor Beginn des Projektes waren keine direkt vergleichbaren Ergebnisse bekannt, mit Ausnahme einiger älterer Arbeiten zur Behandlung MMC-haltiger Legierungen, siehe Jahresberichte IME.

#### **5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Neben dem Projektpartner IME der RWTH Aachen wurden keine weiteren Stellen in das Projekt einbezogen.

## ***II. Darstellung der Ergebnisse***

### **1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ergebnisse**

Die Schwerpunkte der Arbeiten im Berichtszeitraum 2002 lagen auf der Analyse der Aluminiumschäume und Umschmelzversuchen mit hochfesten Sonderlegierungen. Darüber hinaus wurden MMC-Proben chemisch und metallographisch analysiert.

Die Schwerpunkte der Arbeiten im Berichtszeitraum 2003 lagen auf der Bereitstellung und Untersuchung eisenhaltiger Vormaterialien und Schäume und der experimentellen Untersuchung des Umschmelzverhaltens unter produktionsnahen Bedingungen.

#### ***1.1. Al-Schaum***

Aluminiumschäume zeichnen sich gegenüber massiven Aluminiumwerkstoffen besonders durch ihre geringe Dichte, ihre niedrige elektrische und thermische Leitfähigkeit sowie durch ihre Fähigkeit zur Energieabsorption aus. Ferner haben sie gute Dämpfungseigenschaften und einen geringeren Elastizitätsmodul als massive Werkstoffe sowie ein günstiges Verhältnis von Masse zu Steifigkeit. Neben Reinaluminium können verschiedene Aluminiumlegierungen zur Schaumherstellung verwendet werden, z.B. AlSi12, AlCu4 oder aushärtbare Aluminium-Magnesium-Silizium-Legierungen. Die Verwendung von Schaumaluminium ist besonders bei großflächigen Sandwich-Konstruktionen und bei der Versteifung von Hohlräumen in einer Aluminium- oder seltener auch Stahlunggebung von Vorteil. Insgesamt ergeben sich Anwendungsmöglichkeiten in der Automobil- und Bauindustrie, der Luft- und Raumfahrt und der Messtechnik.

Die Herstellung von Aluminiumschäumen geschieht heute durch eine Kombination von pulver- und schmelzmetallurgischen Verfahren. Ausgangspunkt sind Pulver aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen. In einem ersten Schritt werden die Pulver mit einem Treibmittel vermischt. Als Treibmittel dient Titanhydrid ( $\text{TiH}_2$ ). Die zuzusetzende Menge richtet sich nach der gewünschten Porosität. Bereits ein Zusatz von 0,1 %  $\text{TiH}_2$  ergibt eine Porosität von ca. 50 %. Maximal können - je nach verwendeter Legierung - Porositäten von 80 – 85 % erreicht werden. Nach dem Vermischen der Pulver werden diese entweder durch axiales Heißpressen zu runden Blöcken geformt oder durch Strangpressen zu Halbzeug verarbeitet. Halbzeuge können anschließend durch Verformung zu Blechen, Profilen, Hohlprofilen etc. weiterverarbeitet werden.

Der eigentliche Aufschäumvorgang wird danach eingeleitet, indem das Material bis kurz über seinen Schmelzpunkt erwärmt wird. Durch die Zersetzung des Treibmittels kommt es zur Gasfreisetzung und das Material bekommt beim Aufquellen eine

halbflüssige, schaumige Konsistenz. Durch vorzeitige Abkühlung kann die Porosität und damit auch die Dichte gezielt gesteuert werden.

Bei diesem Verfahren können sehr geringe Dichten und homogene Porenverteilungen erzielt werden. Die direkte Herstellung von Formen und von Halbzeug ist ebenso möglich, wie das Einbringen von Faser- oder Partikelverstärkungen.

Prinzipiell ist die Herstellung von Aluminiumschäumen auch über rein schmelz- oder pulvermetallurgische Verfahren möglich. Beim Sintern loser Pulver können Porositäten von 40-60 % erzielt werden. Alternativ können Schlicker aus Metallpulver und einem flüssigen Trägermedium durch mechanisches Rühren oder durch Zugabe von Treibmitteln aufgeschäumt werden. Bei der schmelzmetallurgischen Herstellung kommt es beim Einrühren von Viskositätserhöhenden Zusätzen und anschließender Treibmittelzugabe zu einer spontanen Gasfreisetzung.

Unter dem Aspekt des Recyclings von Aluminiumschäumen sind insbesondere die mögliche Verunreinigung durch den Treibmittelträger (Titan) und die Oxidbildung auf den erzeugten Oberflächen von Bedeutung. Beides sollte zunächst zur eindeutigen Charakterisierung der Versuchsmaterialien mittels chemischer und metallographischer Analyse untersucht werden.

#### 1.1.1. Chemische Analyse der Schaumprobe

Die chemische Analyse zeigt Tabelle 1. Die Oxidation des Aluminiums durch den Schäumprozess ist unerwartet gering. Ein Vergleich des Gesamtgehaltes an Aluminium und dem metallisch vorliegenden Anteil zeigt, dass nur etwa 0,5 - 0,9 % der Gesamtmenge nichtmetallisch vorliegen.

Tabelle 1: Analysenergebnisse verschiedener Schaumproben

Probenbez.	Probe 1	Probe 2	Probe 3
% Al (ges)	93,3	89,5	90,4
% Al (met)	92,8	88,7	89,7
% Ti (ges)	0,50	0,73	0,51
% Ti (met)	0,50	0,72	0,50

Es ist jedoch weiterhin zu erkennen, dass der Treibmittelträger Titan nahezu quantitativ im Aluminium vorliegt. Keinen Aufschluss gibt die chemische Analyse allein aber darüber, ob metallisches Titan als Partikel oder in der Aluminiummatrix gelöst vorliegt. Der Gesamtgehalt von 0,5 bzw. 0,7 % liegt etwa um den Faktor 10 oberhalb der gängigen Legierungswerte und kann somit bei Vermischung mit anderen Knetlegierungsschrotten zu einem unerwünschten Titaneintrag führen.