Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
Sicherheit gefügter Bauteile, V.5
Unter den Eichen 87
12205 Berlin

Forschungsstellenleiter: Prof. Dr.-Ing. M. Rethmeier
Projektleiter: Dr.-Ing. C. Schwenk
Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. P. Schempp

Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH
Klagenfurter Straße 2
28359 Bremen

Forschungsstellenleiter: Prof. Dr.-Ing. F. Vollertsen
Projektleiter: Dipl.-Ing. T. Seefeld
Projektbearbeiter: M. Eng. Z. Tang

Statusbericht zur FA1-Sitzung der DVS Forschungsvereinigung am 10.03.2011
Berichtsdatum: 16.02.2011

Thema: Verbesserung der Schweißeignung von Aluminium durch Kornfeinung
Forschungsvorhaben AiF Nr. 16.242 N / DVS Nr. 01.067
Laufzeit: 01.10.2009 – 30.09.2011 (2 Jahre)

Erste PbA-Sitzung: 26.11.09 (BIAS, Bremen)
Zweite PbA-Sitzung: 23.06.10 (BAM, Berlin)
Dritte PbA - Sitzung: 02.02.11 (BIAS, Bremen)
Nächste PbA-Sitzung: KW 39 (geplant auf GST in Hamburg)

1 Forschungsziele

Im Rahmen des Vorhabens werden folgende Forschungsziele angestrebt:

- Bestimmung des Mindestgehalts an AlTi5B1-Kornfeinungsmittel, der in einem Schweißzusatzwerkstoff benötigt wird, um eine vollständige Kornfeinung des Schweißguts zu erzielen
- Untersuchung dieses Zusammenhangs für unterschiedliche Aluminiumlegierungen unter verschiedenen Schweißbedingungen
- Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht wie Festigkeit und Zähigkeit und der Schweißeignung der verwendeten Legierungen durch Kornfeinung im Schweißgut

2 Aktueller Bearbeitungsstand

2.1 WIG-Schweißversuche mit vordeponiertem Schweißzusatzwerkstoff

Der gegossene, stabförmige Schweißzusatzwerkstoff (Gusseinlage) wurde im Grundwerkstoff vordeponiert und im WIG-Verfahren überschweißt. Mit zunehmendem Titan- bzw. Borgehalt im Schweißzusatz konnte eine deutliche Kornfeinung im Schweißgut beobachtet werden, siehe Bild 1 links. Hier ist der Zusammenhang zwischen der mittleren Schweißgutkorngröße und dem Titangehalt im gegossenen Schweißzusatz dargestellt. Bei allen drei Legierungen führt die Erhöhung des Titan- bzw. Borgehalts zu einer deutlich Abnahme der mittleren Korngröße. Ab einer bestimmten Konzentration tritt ein Sättigungseffekt auf, bei einer Legierung (Al Mg4,5Mn0,7) wird sogar ein Ansteigen der Korngröße bei noch höheren Titangehalten beobachtet.

Das Kornfeinungspotential und der Sättigungsgehalt sind von der jeweiligen Legierung abhängig. So kann das Schweißgut des Reinaluminiums (Al 99,5) am deutlichsten verfeinert werden (Verringerung der mittleren Korngröße -88 %), gefolgt von Al Si1MgMn (-70 %) und Al Mg4,5Mn0,7 (-44 %). Für die maximale Kornfeinung des Reinaluminiums ist eine niedrigere Zugabemenge (0,7 % Ti) erforderlich als bei den beiden anderen Legierungen (1,2 – 1,5 %).

Bei der bekanntermaßen heißrissgefährdeten Legierung Al Si1MgMn konnte ein Zusammenhang zwischen der Schweißgutkorngröße und dem Auftreten von Heißrissen ermittelt werden: Bei keiner oder nur geringer Zugabe von Titan/Bor (< 0,3 % Ti) traten Heißrisse entlang der Schweißnahtmittellinie auf, die durch Kornfeinung verhindert werden konnten, siehe Bild 1 rechts.

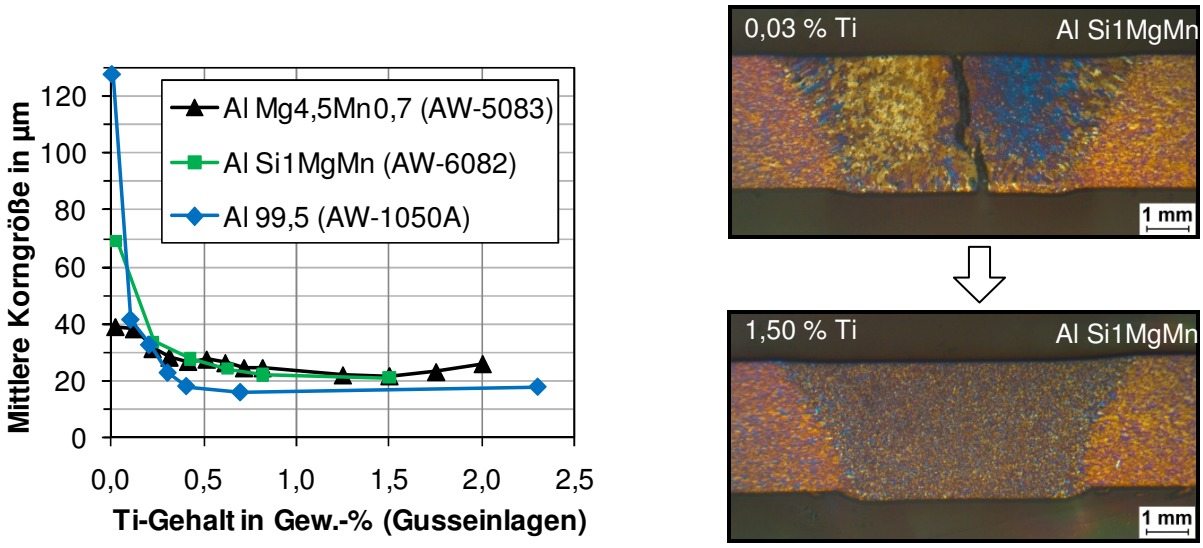

Bild 1: Mittlere Korngröße in Abhängigkeit des Titangehalts (in Gusseinlagen, links) und Vermeidung von Heißrissen in Al Si1MgMn (AW-6082) durch Kornfeinung (rechts), WIG-Schweißung

2.3 Laserstrahlschweißen mit vordeponiertem Schweißzusatzwerkstoff

Beim Laserstrahlschweißen wurden die vordeponierten Gusseinlagen mithilfe eines Laserscanners zusammen mit Grundwerkstoff aufgeschmolzen, sodass eine relativ breite Naht mit gleichmäßiger Verteilung der Korngröße im Schweißgut erzeugt wurde. Bild 2 zeigt die Abhängigkeit der mittleren Korngröße und den Anteil der gleichachsigen Körner vom Titan-Gehalt im Schweißgut bei drei verschiedenen Schweißgeschwindigkeiten. Mit steigender Titanzugabe nimmt die Korngröße bis auf ca. 22 µm ab und gleichzeitig steigt der Anteil der gleichachsigen Körner auf 100%. Somit wurde bei ausreichender Zugabe von Titan/Bor eine vollständige Kornfeinung (d.h. vollständige gleichachsige Kornstruktur) in Abhängigkeit der Schweißparameter erreicht. Bei höherer Schweißgeschwindigkeit wird mehr Titan/Bor benötigt, um eine vollständige Kornfeinung in Schweißgut herbeizuführen.

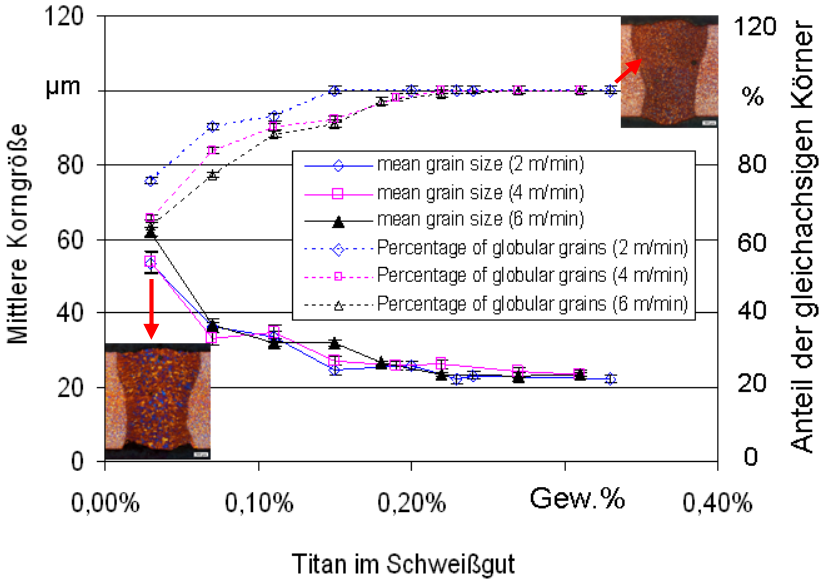

Bild 2: Abhängigkeit der mittleren Korngröße und Anteil der gleichachsigen Körner vom Titangehalt im Schweißgut in Al Mg4,5Mn0,7 (AW-5083), Laserstrahlschweißung

Neben der Legierung Al Mg4,5Mn0,7 (AW-5083) wurden Schweißuntersuchungen mit den Werkstoffen Al Si1MgMn (AW-6082) und Al 99,5 (AW-1050A) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten auch hier einen deutlichen Kornfeinungseffekt. Beim Vergleich der drei Legierungen wurde festgestellt, dass die Legierungszusammensetzung einen großen Einfluss auf den Grenzgehalt hat, der für eine vollständige Kornfeinung nötig ist. Im Fall der Legierung Al 99,5 wurde keine vollständige Kornfeinung erreicht. Dies kann auf das kleine Erstarrungsintervall dieser Legierung und die damit fehlende Möglichkeit der Unterkühlung zurückgeführt werden.

3 Weiteres Vorgehen

3.1 Schweißversuche mit vordeponiertem Zusatzwerkstoff

Derzeit wird für den vierten und letzten Versuchswerkstoff Al CuLiMgAg (2098 lean) der gussförmige Schweißzusatz hergestellt. Die Reaktionsfreudigkeit der Legierung (ca. 1 % Lithium) stellt hierbei eine besondere Herausforderung dar, deren Einfluss auf die Schweißergebnisse noch nicht absehbar ist. Nichtsdestoweniger sollen die oben dargestellten Zusammenhänge auch für diese Legierung ermittelt werden.
Darüber hinaus wird eine thermische Analyse im Schweißgut (teilweise bereits durchgeführt) wichtige Abkühlungsparameter wie Temperaturgradient und Abkühlrate liefern. Diese werden für die analytische Auswertung des Kornfeinungseffekts nach Hunt (siehe Arbeits- und Zeitplan) benötigt. Außerdem wird die Variation der Schweißgeschwindigkeit weiter durchgeführt, um deren Einfluss auf das Kornfeinungsverhalten der einzelnen Legierungen zu ermitteln.

3.2 Beschaffung des Schweißzusatzdrahtes

Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Beschaffung von Füll- und Umhüllungsmaterial wird kein Fülldraht hergestellt werden können. Bei der letzten PbA-Sitzung wurde beschlossen, alternativ möglichst einen Massivdraht aus Al Si1MgMn (AW-6082), versetzt mit Titan und Bor, herzustellen. Hierzu soll ein Gussrohling mit der gewünschten Zusammensetzung gegossen werden, der anschließend auf einen Durchmesser von 9,5 mm stranggepresst wird, welcher wiederum zu einem Draht mit 1,2 mm Durchmesser gezogen wird. Die genaue Zusammensetzung des Gussrohlings wird aufgrund der bisherigen Ergebnisse festgelegt mit dem Ziel maximaler Kornfeinung im Schweißgut. Der so hergestellte Schweißdraht soll schließlich als Demonstrator beim Laserstrahlschweißen eingesetzt werden. Zusätzlich ist die Verwendung des Drahtes als MSG-Draht angedacht, um bei diesem Verfahren erste Erfahrungen bezüglich erreichbarer Kornfeinung zu sammeln (hier wird erhöhter Abbrand erwartet).

3.3 Mechanische Werkstoffprüfung und Heißrissprüfung

Auf der letzten PbA-Sitzung wurde beschlossen, die Untersuchung der mechanischen Eigenschaften vor allem auf die Legierung Al Si1MgMn (AW-6082) zu fokussieren. Hiermit werden Härtemessungen, Zugversuche und Kahn-Tear Tests (statische Rissfortschrittsversuche) durchgeführt. Bei den Zugversuchen soll der Werkstoff Al Mg4,5Mn0,7 (AW-5083) zum Vergleich herangezogen werden.
Die Heißrissprüfung ist ebenfalls für die Legierung Al Si1MgMn (AW-6082) vorgesehen. Die stark heißrissgefährdete Legierung Al CuLiMgAg (2098 lean) ist gleichfalls für diese Versuche eingeplant, wobei die in Abschnitt 3.1 angesprochene Reaktionsfreudigkeit hier ebenfalls zeigen wird, inwieweit Versuche möglich sind.

4 Arbeits- und Zeitplan

Arbeitsschritte	2009	2010				2011			
	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1		Q2	Q3
Literaturrecherche									
Herstellung von Gusseinlagen									
Schweißeignung vordeponierter Zusatzwerkstoffe									
Schweißeignung drahtförmiger Zusatzwerkstoffe									
Metallographische Analyse									
Mechanischen Eigenschaften									
Analyse und Auswertung									
Modellierung nach Hunt									
Berichtserstellung									

Erledigte Aufgaben
Verschobene Aufgaben
Bestehende Aufgaben nach Arbeitsplan
Verlängerte Aufgaben

FA1-Sitzung 10.03.11