AiF-Forschungsvorhaben-Nr. IGF 16.318 N / DVS-Nr. 05.043
Statusbericht zur FA5-Sitzung am 02.02.2010

Themenlaufzeit: **01.01.2010 – 31.12.2011**
Berichtsdatum: **11.01.2011**

1 Forschungsthema

Qualifizierung des Friction-Stir-Welding für das Fügen von Aluminium-Druckguss-Komponenten

2 Forschungsziel / Lösungsweg / Ergebnisse

2.1 Forschungsziel

Ziel dieses Projekts ist es, mit dem Rührreibschweißen ein prozesssicheres Fügeverfahren für die Herstellung von qualitativ hochwertigen Verbindungen an Aluminium-Druckgussteilen bereitzustellen. Im Fokus der Betrachtung soll die Anwendung in kleinen und mittelständischen Unternehmen stehen, bei denen das FSW mit Anlagen durchgeführt werden soll, die in den Betrieben meist schon vorhanden sind oder einen vergleichsweise geringen Investitionsaufwand erfordern. Als Anlagen können Fräsbearbeitungszentren oder entsprechend ausgerüstete Roboter eingesetzt werden. Durch diesen Ansatz soll die Integration des FSW in bereits bestehende Fertigungsketten ermöglicht, sowie wirtschaftliche Vorteile erreicht werden.

2.2 Lösungsweg

Aufgrund der komplexen Wechselwirkungen zwischen dem Gieß- und FSW-Prozess ist eine gesamtheitliche Betrachtung der Fertigungskette notwendig, daher wird folgender methodischer Ansatz zur Erreichung des Forschungsziels verfolgt:

1. Qualifizierung von FSW für Al-Druckguss unter werkstoffkundlich-technologischen Aspekten
2. Prozesstechnische Qualifizierung durch die exemplarische Übertragung der grundlegenden Ergebnisse in die industrielle Anwendung mit Überprüfung der geforderten Bauteileigenschaften
3. Erarbeitung von Richtlinien (FSW-gerechte Konstruktion, Festlegung von Qualitätsstandards, Auslegungskriterien für die einzusetzenden Maschinen)

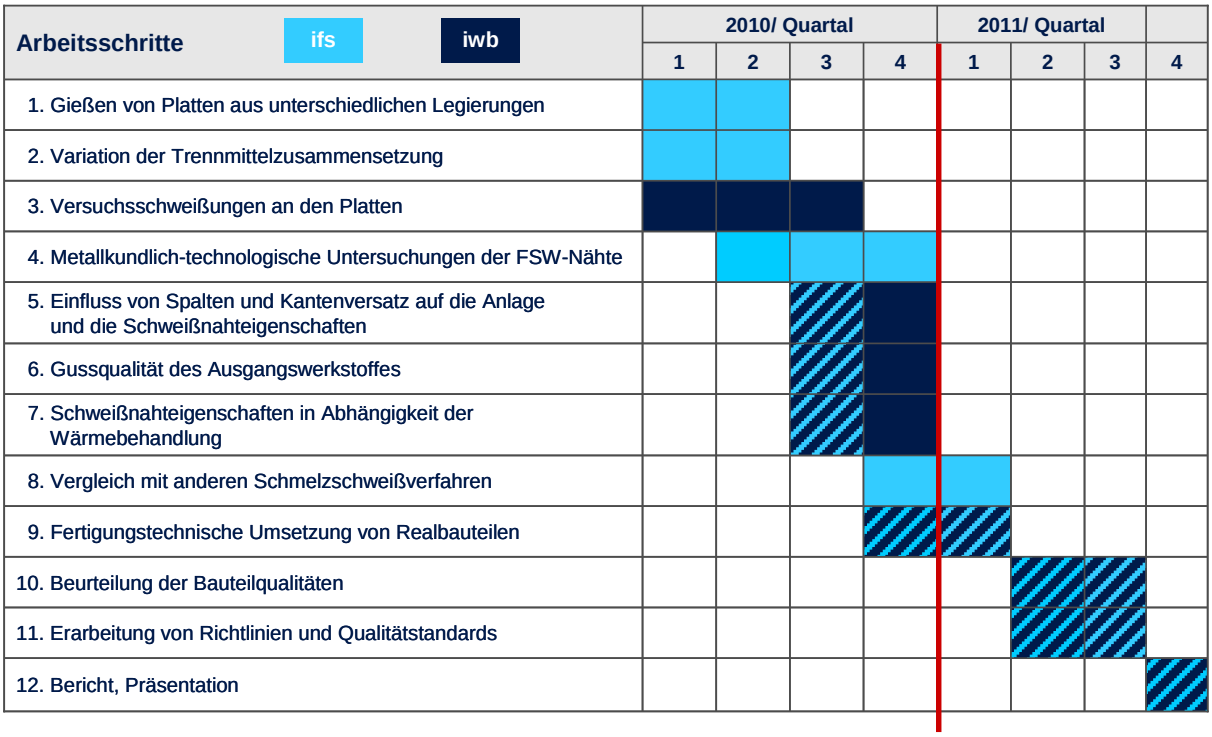


Abbildung 1: Arbeitsplan

2.3 Ergebnisse der Arbeitspakete 1 bis 8

Die Arbeitspakete AP1 bis AP4 wurden bisher bearbeitet, wobei bei AP3 und AP4 die Untersuchungen noch laufen.

In AP1 & AP2 wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

Es wurden Platten in den drei Legierungen AlSi9Cu3(Fe) (Dicke 4 und 6 mm), Trimal-05 (AC-AlSi10MnMg, Dicke 4 mm) und Trimal-37 (AC-AlSi9Mn, Dicke 4 mm) hergestellt. Als Trennstoffe sind Safety-Lube® 1610, Safety-Lube® 7477 und Safety-Lube® 3188 in den Mischungsverhältnissen 1:125 & 1:50 verwendet worden.

In AP3 wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

Für die Werkstoffe AlSi9Cu3(Fe) (Dicke 4 und 6 mm), Trimal-05 (AC-AlSi10MnMg, Dicke 4 mm) und Trimal-37 (AC-AlSi9Mn, Dicke 4 mm) sind die Schweißversuche, mit dem Ziel robuste Schweißparameter zu ermitteln, sowohl im positions- als auch im kraftgeregelten Betrieb abgeschlossen. Es wurden folgende Parameter variiert:

- Spindeldrehzahl: 300 bis 3000 U/min
- Vorschubgeschwindigkeit: 200 bis 1400 mm/min
- Eintauchtiefe: 0,05 bis 0,25 mm
- Pinlänge: 0,1 bis 0,2 mm geringer als Plattendicke

Abbildung 2 zeigt die untersuchten Parameterkonfigurationen von Drehzahl und Vorschubgeschwindigkeit für den Werkstoff Trimal-05 der Dicke 4 mm.

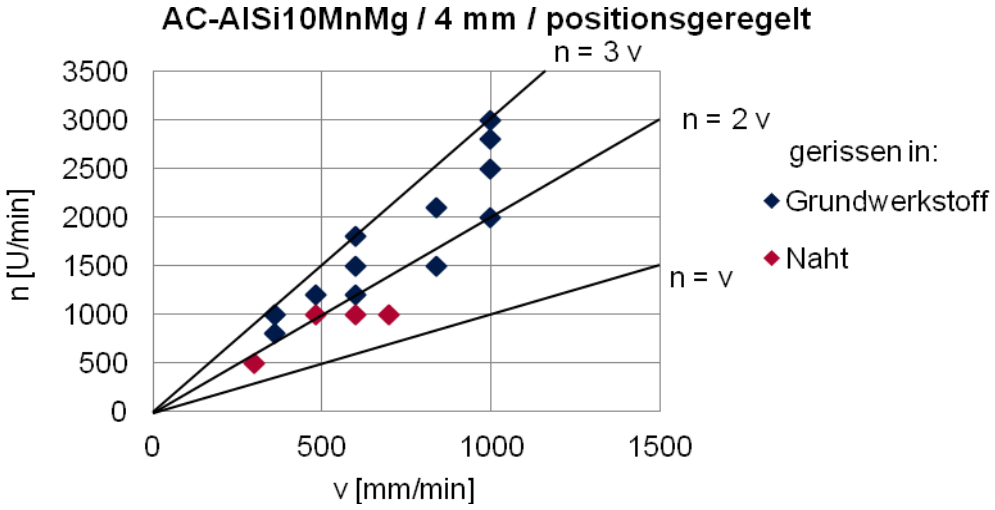


Abbildung 2: Schweißversuche zur Ermittlung robuster Schweißparameter

Eine gute Nahtqualität ist im Bereich 2 ≤ n/v ≤ 3 erzielbar, während im Bereich n/v ≤ 1 ein robuster FSW-Prozess nicht möglich ist.

Zur quantitativen Beurteilung der Nahtqualität wurden Zugversuche durchgeführt und die Zugfestigkeiten der drei Werkstoffe ausgewertet. Die Mehrzahl der Zugproben sind, mit Ausnahme bei Trimal-37, im Grundwerkstoff gebrochen. Unter Berücksichtigung der Streuung erreichen die Zugfestigkeitswerte der in der Naht gerissenen Zugproben nahezu das Grundwerkstoffniveau.

Um die Dichtigkeit der FSW-Naht und deren Durchschweißung zu überprüfen, wurden Querschliffe (s. Abbildung 3) erstellt und unter dem Mikroskop ausgewertet. In der linken Naht von Abbildung 4 liegt ein Tunnelfehler (Schlauchpore) vor, der vermutlich auf einen zu „kalten“ Schweißparametersatz zurückzuführen ist. Aufgrund des zu geringen Wärmeeintrags wurde der Werkstoff nicht ausreichend plastifiziert, was zu dem Fehler und somit zu einem Riss in der Naht (R_m = 211 MPa) führte. Rechts ist der Querschliff einer fehlerfreien Naht zu sehen. Der Riss erfolgte im Grundwerkstoff (R_m = 258 MPa).

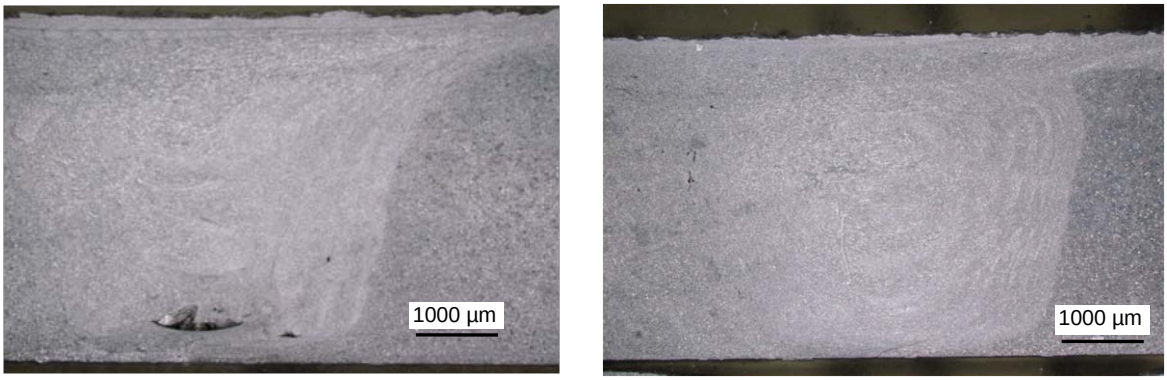


Abbildung 3: Querschliffe von Trimal-05, positionsgeregelt geschweißt

Vorhaben: DVS-Nr.: 05.043 / IGF-Nr.: 16.318 N
Ergebnisbericht für FA5 Sitzung am 02.02.2011

In AP4 wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

Für die Beurteilung der Einflussfaktoren wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Metallographische Querschliffe
- UCI- Härteverteilung über den Nahtquerschnitt
- Zugversuche (Zugfestigkeit und Dehnung)
- Dauerschwingprüfungen (ausgewählte FSW-Nähte)
- ESMA

Die Untersuchungen ergaben

- kein Einfluss des Trennstoffes auf die mechanischen Kennwerte
- Bruchlage bei AlSi9Cu3(Fe) & Trimal-05 im Grundwerkstoff
- Bruchlage bei Trimal-37 überwiegend in der Schweißnaht

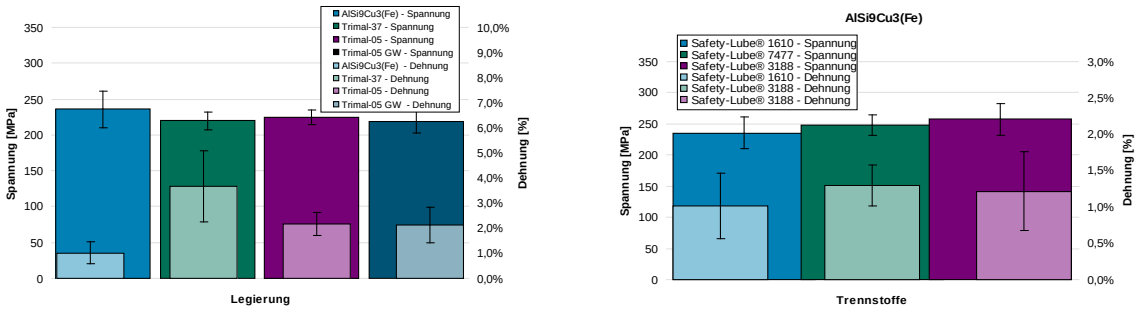


Abbildung 4: Ergebnisse der Zugversuche zum Einfluss des Trennstoffes und der Legierung

- Legierungseinfluss auf die Härteverteilung
- kein Einfluss des Trennstoffes auf die Härte

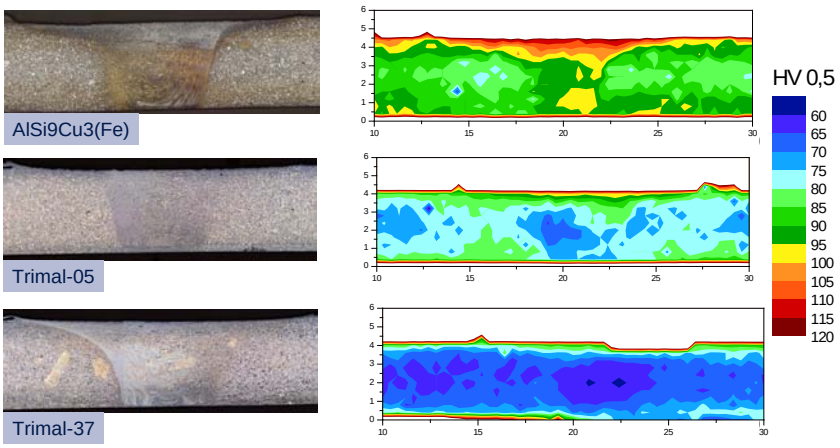


Abbildung 5: Schliffe und UCI Härteverlauf verschiedener Legierungen

Um den generellen Einfluss des Trennmittels auf die Nahtqualität zu untersuchen, wurden schließlich Platten geschweißt, die im Vorfeld im Fügebereich überfräst worden sind. Somit konnte eine absolut trennmittelfreie Fügezone sichergestellt werden. Die werkstofftechnischen Untersuchungen dazu laufen aktuell.

Vorhaben: DVS-Nr.: 05.043 / IGF-Nr.: 16.318 N
Ergebnisbericht für FA5 Sitzung am 02.02.2011

In AP5 werden folgende Arbeiten durchgeführt:

Die Spaltüberbrückbarkeit wird an der Legierung AC-AlSi10MnMg an 2 (bzw. 3) und 4 mm dicken Platten anhand von definierten Spaltgrößen untersucht. Diese wird in 0,1 mm Schritten solange erhöht, bis die Herstellung einer fehlerfreien FSW-Naht nicht mehr möglich ist.

Der Kantenversatz wird an 4 mm dicken Platten an der Legierung AC-AlSi10MnMg bis zu einem maximalen Versatz von 0,4 mm untersucht. Die Arbeiten zu diesem Arbeitspaket laufen gerade an.

In AP6 werden folgende Arbeiten durchgeführt:

Da eine definierte Porosität in den Druckgussplatten nur schwer einstellbar und kaum reproduzierbar ist, werden diese durch Bohrungen senkrecht zum Fügestoß nachgestellt (s. Abbildung 6). Der Bohrungsdurchmesser variiert zwischen 0,2 und 1,0 mm. Es wird untersucht, welche Porengröße, d.h. Bohrungsdurchmesser, zur Erzeugung einer fehlerfreien FSW-Naht maximal zulässig ist. Darüber hinaus wird der Abstand zwischen den Bohrungen systematisch verändert. Die Versuche werden mit der Legierung AC-AlSi10MnMg an 4 mm Platten durchgeführt.

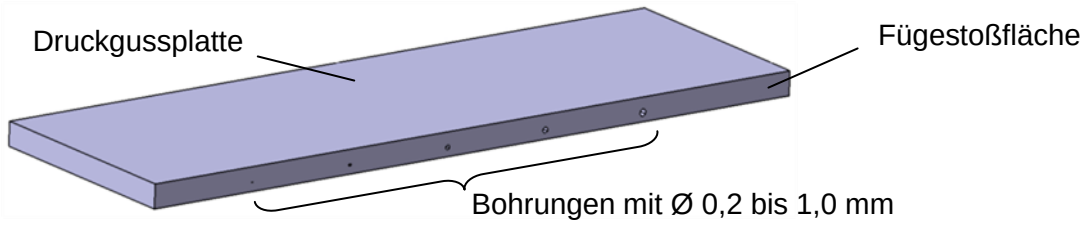


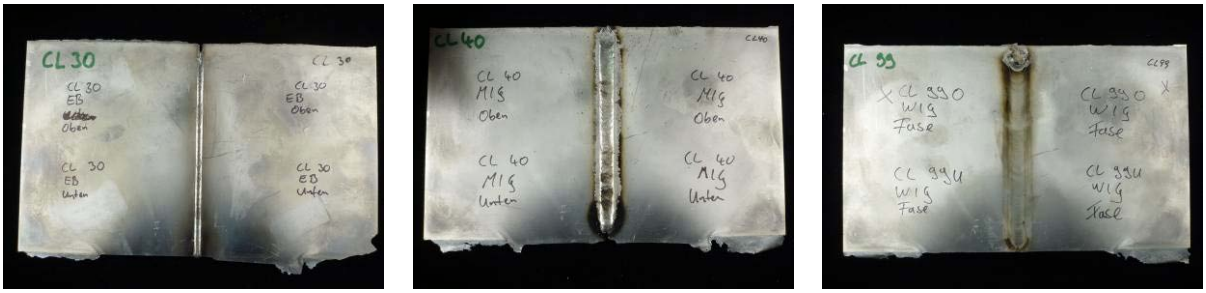
Abbildung 6 : Bohrungen mit unterschiedlichem Durchmesser in der Fügestoßfläche zur Nachbildung von Porosität

In AP7 werden folgende Arbeiten durchgeführt:

Die Versuche werden mit der Legierung Trimal-05 (AC-AlSi10MnMg) durchgeführt. Der Wärmebehandlungszustand ist T6. Zurzeit werden die Versuchsproben hergestellt und erste Vorversuche durchgeführt.

In AP8 wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

Es sind Vergleichsschweißungen mit den Schweißverfahren MIG, WIG und EB durchgeführt worden. Hierfür wurden 4 mm Platen aus der Legierung AC-AlSi9Cu3(Fe) verwendet. Zurzeit werden die Versuchsproben metallkundlich-technologischen Untersuchungen unterzogen.



EB-Schweißung MIG-Schweißung WIG-Schweißung

Abbildung 7 : Versuchsschweißungen an 4 mm Platten mit verschieden Schweißverfahren

Weitere Arbeiten

In Abstimmung mit dem projektbegleitenden Ausschuss (pbA) werden aktuell folgende Arbeiten ausgeführt:

- Untersuchung des Einflusses der Trennmittel- und Oxidschicht beim Überlappstoß an 4 mm Platten (AC-AlSi10MnMg, Mischungsverhältnis 1:50).
- Um geometrische Einflüsse (z. B. Kerbwirkung der Nahtoberfläche) auf die Ergebnisse der Zugversuche auszuschließen, werden die geschweißten Proben in der Fügezone überfräst.
- Zur Ermittlung der tatsächlichen Festigkeit der Schweißnaht, werden Zugproben längs der Fügezone entnommen und im Zugversuch getestet.
- Um den Einfluss des prozessbedingten Wärmeeintrags in die Fügezone zu untersuchen, wird die Temperatur an der Nahtoberseite mithilfe eines in der Werkzeugschulter integrierten Thermoelementes gemessen. An der Nahtunterseite wird die Temperatur zusätzlich an drei Stellen mit Thermoelementen ermittelt.

3 Projektbegleitende Ausschusssitzungen

Mitglieder	Firma (kursiv = KMU)	02.02.2010 Braunschweig	22.10.2010 München
Dipl.-Ing K. Greven	KSM Castings GmbH	-	X
Dipl.-Ing. A. Röders	*G.A. Röders GmbH & Co KG*	X	X
Dipl.-Ing C.Behrend	*H&B Omega Europa GmbH*	-	X
Dipl.-Ing. A. Pithan	Honsel GmbH & Co. KG	X	X
Dr.-Ing. Krawinkel	Pierburg	-	-
Dipl.-Ing. H. Lange	*Schött Druckguss GmbH*	X	X
Dipl.-Ing. A. Von Strombeck	*Riftec GmbH*	X	-
Dr.-Ing. H. Koch	Trimet Aluminium AG	X	-
Dr.-Ing. F.J. Feikus	BDG	-	X

4 Durchführende Forschungsstellen

Forschungsstelle 1:
Technische Universität Braunschweig
Institut für Füge- und Schweißtechnik (ifs)
Langer Kamp 8, 38106 Braunschweig
Tel.: +49 (0)531 / 391 - 7820
Fax: +49 (0)531 / 391 - 5834
Email: isf-bs@tu-bs.de
Leiter der Forschungsstelle: Univ. Prof. Dr.-Ing. K. Dilger
Projektleiterin: Frau Dr.-Ing. H. Pries

Forschungsstelle 2:
Technische Universität München
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)
Boltzmannstraße 15, 85748 Garching
Tel.: +49 (0)89 / 289 - 155 00
Fax: +49 (0)89 / 289 - 155 55
Email: info@iwb.tum.de
Leiter der Forschungsstelle: Univ. Prof. Dr.-Ing. M. F. Zäh
Projektleiter: Herr Dipl.-Ing. A. Roth