1. Forschungsthema

Rissminimierung beim Schweißen von Al-Legierungen mittlerer und höherer Festigkeit

2. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

In den Schweißnähten von Al-Legierungen treten trotz technologischer Maßnahmen häufig Risse in unterschiedlicher Form und Lage auf. Als Werkstoffbeispiele für das Auftreten derartiger Risse seien die im Automobil- bzw. Schienenfahrzeugbau eingesetzten Knetlegierungen, wie **EN AW-Al Si1MgMn** (Strangpressprofile), **EN AW-Al Mg0,4Si1,2** (Karosseriebleche) sowie die Druckgusslegierung **AB-Al Mg5Si2Mn** (Magsimal 59)**,** die in der Luftfahrtindustrie genutzte aushärtbare Al-Legierung **EN AW-Al Zn5,5Mg1,5,** zu nennen. Großes Interesse besteht seitens der Luftfahrtindustrie auch an den **Legierungen B226 (4,6% Cu, 0,5% Mg, Ag)** und **PA 765.** Durch empirische Herangehensweise bei der Lösung dieses Qualitätsproblems lassen sich bisweilen für einzelne Legierungspaarungen Möglichkeiten zur Rissvermeidung finden, häufig bleiben jedoch die wissenschaftlichen Hintergründe offen und die Hauptursachen für das Rissauftreten ungeklärt.

Im Vergleich zu hochlegierten austenitischen Stählen gibt es für Al-Legierungen mittlerer und höherer Festigkeit einen großen Nachholbedarf im Hinblick auf die Aufdeckung von Zusammenhängen zwischen Gefüge- und Legierungseinflüssen auf die Rissbildung infolge des Schweißens. Neben diesen beiden Faktoren gibt es noch eine Reihe weiterer Einflussgrößen auf die Rissbildung, wie z. B. das Schweißverfahren oder die Art der Konstruktion, die unbedingt Berücksichtigung finden müssen.

3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

Das Forschungsvorhaben zielt auf die Klärung der komplexen Rissbildungsmechanismen von ausgewählten Al-Legierungen unter Berücksichtigung der sich wechselseitig beeinflussenden Einflüsse von Werkstoff, Schweißzusatzwerkstoff, Schweißverfahren und Bauteil. Die Rissbildung beim Schweißen wird über die werkstoffbedingte qualitative Eigenschaft hinaus zu einer komplexen und abschätzbaren Eigenschaft im Sinne der Schweißbarkeit entwickelt. Auf der Grundlage dieser Kenntnisse werden Maßnahmen zur Rissvermeidung beim Schweißen dieser Legierungsgruppen erarbeitet. Die Umsetzung dieses Konzepts ermöglicht eine Steigerung der Schweißnahtqualität und der Fertigungssicherheit beim Schweißen solcher Al-Legierungen, deren Schweißbarkeit derzeit wegen der Rissbildungsneigung eingeschränkt ist.

Die Wirkung der Haupt- und Nebenlegierungselemente auf die Heißrissempfindlichkeit der Schweißungen wird über zwei unterschiedliche Prüftechniken am Heißrissprüfstand des IFST der Universität Magdeburg ermittelt.

Beim **PVR-Versuch** (Programmierter-Verformungs-Riss-Versuch) wird eine flache Probe während des Auftragschweißens mit einer linear zunehmenden Zuggeschwindigkeit in Schweißrichtung fremdbeanspruchend gezogen (Bild 1, oben). Dadurch werden mit diesem Heißrisstest sowohl die Grundwerkstoffe als auch die Auftragschweißraupen unter Variation der Schweißzusätze mit geringem Probenaufwand, guter Reproduzierbarkeit und guter Differenzierbarkeit zwischen den Heißrisstypen geprüft. Im Ergebnis der Versuche wird die kritische Verformungsgeschwindigkeit v_{kr} als Maß für die Risssicherheit ermittelt.

Bild 1 zeigt Untersuchungsergebnisse an den Al-Legierungen 5083 (AlMg4,5Mn0,7) und 6082 (AlMgSi1Mn). Die Ergebnisse der PVR-Prüfung mit dem MIG-Schweißverfahren unter Anwendung der Zusatzwerkstoffe EN AW-Al Si5 (A), EN AW-Al Si12 (A), EN AW-Al Mg4,5Mn0,7(A), EN AW-Al Mg4,5MnZr(A) sind der WIG-Umschmelzung des Grundwerkstoffes (Blindraupe) gegenübergestellt.

Im den nächsten Heißrisstests werden verschiedene Grundwerkstoff/Schweißzusatz-Kombinationen geprüft. Auf der ersten Sitzung des PBA's wurde beschlossen, den Schweißzusatz AlMg2,7Mn (5454) durch die Zugabe von Cr, V und Zr zu modifizieren und anhand des PVR-Versuches mit anderen zu vergleichen.

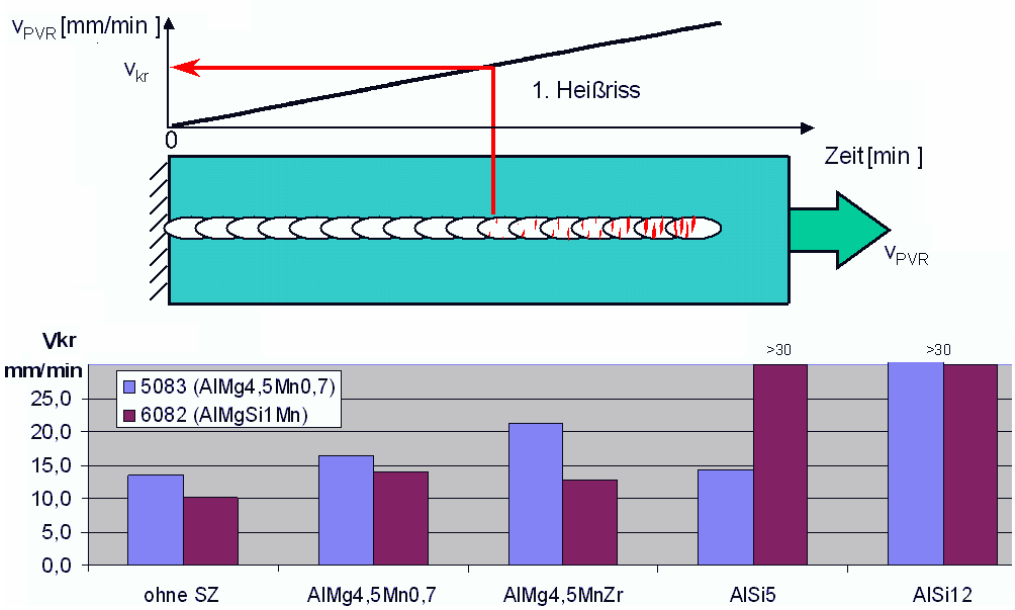

Bild 1. Vergleich der Grundwerkstoffe und der Schweißzusätze mit dem PVR-Versuch

Wärmephysikalische Einflüsse auf die Rissentstehung werden an **Blindnaht- und Auftragschweißungen** quer zur Naht an 200 mm langen 3 mm dicken Blechen mit variabler Breite (Bild 2) quantifiziert. Bei dieser Prüftechnik beanspruchen sich die Proben selbst durch ein Biegemoment, das infolge thermischer Ausdehnung des vom Schweißprozess erzeugten Nahtbereiches entsteht. Aus mehrerer Versuche mit Ergebnis Ja/Nein wird der kritischen Probenbreite als empirisches Risskriterium quantifiziert wird. Mit zunehmender kritischer Breite wird die Schweißverbindung heißrissanfälliger.

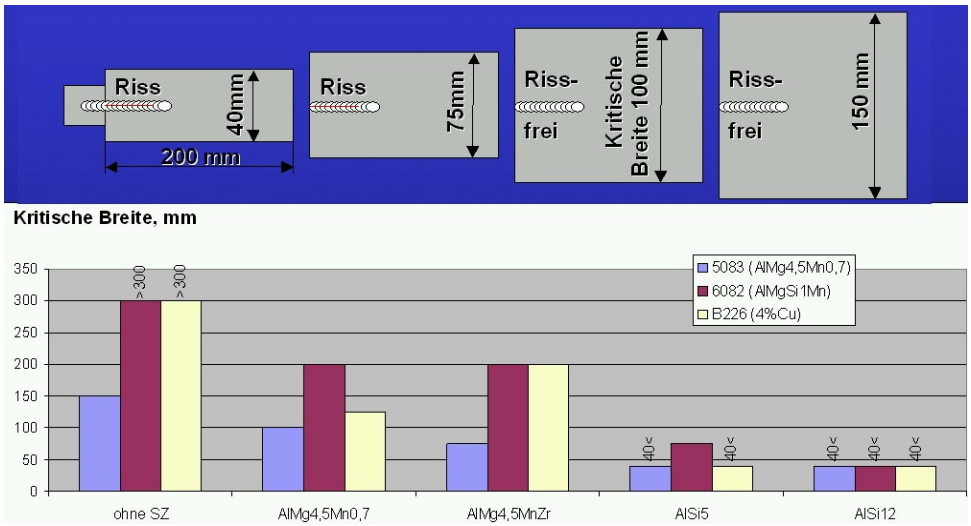

Bild 2. Kritische Breite beim Blindnaht- bzw. Auftragschweißen mit verschiedenen Grundwerkstoff/Schweißzusatz-Kombiantionen

Der Vergleich der ermittelten kritischen Breite für die Rissentstehung der Blindnaht- bzw. Auftragschweißungen mit den Ergebnissen des PVR-Versuches zeigt eine tendenzielle Übereinstimmung. Es gibt auch andere Variationen von selbstbeanspruchten Proben, die auf diesem Prinzip basieren und für bestimmte Schweißverfahren qualifiziert wurden.

Mit Hilfe der **FEM-Simulation** wurde die Verteilung von Temperaturen, Verformungen, Spannungen und anderen Parametern in den Blechen mit variierten Breiten ermittelt, um die kritischen Beanspruchungsbedingungen in den zu verbindenden Fügeteilen festzustellen.

Die Modelle werden in der weiteren Arbeit verifiziert, um eine Verkettung zwischen den Heißrissprüfverfahren und dem Bauteilverhalten beim Schweißen zu herzustellen.

Das Ziel dieser Simulation ist die Abschätzung der Heißrissgefahr in realen Bauteilen unter vorgegebenen Schweißbedingungen. Dies kann beispielsweise im Flugzeugbau eine Optimierung der Geometrie des Stringers am Nahtanfang und -ende hinsichtlich der Rissvermeidung ermöglichen und somit zu einer Erhöhung der Dauerfestigkeit führen. Diese Stringer werden mittels des Laserschweißens mit der Flugzeughaut zusammengeschweißt. Konkrete Beispiele für Fügeteile anderer Industriebereiche werden analog modelliert.

4. Wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)

In vielen kleinen und mittelständischen Unternehmen werden Al-Legierungen verarbeitet. Diese gehen in Verbindung mit der Anforderung des Leichtbaus immer mehr in die Konstruktionspraxis ein. Die aus dem Forschungsprojekt zu erwartenden Ergebnisse sind vielfältig sowohl von Werkstoff- und Zusatzwerkstoffherstellern, Zulieferern im Bereich Automobil-, Schienenfahrzeug-, Schiff- und Flugzeugbau als auch den Produzenten dieser Produkte nutzbar. Sie erhalten die Möglichkeit ihre Produktivität und Qualität durch verbesserte Fertigungssicherheit zu steigern.

5. Beabsichtigte Umsetzung der angestrebten Forschungsergebnisse

Die Projektdaten und die Kurzfassung des Forschungsvorhabens sind in die Forschungsdatenbank der Universität Magdeburg aufgenommen und somit über das Internet für jeden Interessenten abrufbar. Gemeinsam mit dem projektbegleitenden Ausschuss werden die gewonnenen Erkenntnisse auf Fachtagungen, Kongressen und Kolloquien vorgestellt und diskutiert. In die Diskussion werden die kleinen und mittleren Unternehmen durch problembezogene und industriezweigspezifische Workshops integriert.

Je nach Ausrichtung des Unternehmens sollen die erwarteten Erkenntnisse zur Verbesserung der Fertigungssicherheit im Karosseriebau, im Schienenfahrzeugbau, im Schiffbau, in der Luftfahrtindustrie und zur Verbesserung der Prozesstechnik beitragen. Weiterhin werden sie Eingang in die Bereiche Planung und Kundenberatung finden.

6. Sitzungen des projektbegleitenden Ausschusses

Das erste Arbeitstreffen wurde am 30.05.05 in Magdeburg am Institut für Füge- und Strahltechnik der Otto-von-Guericke Universiät durchgeführt. An dieser Beratung nahmen Herr Dr.-Ing. Alexander Pchennikov (IFST, Uni MD), Herr Dipl.-Ing Peter Baumgart (Drahtwerk Elisenthal GmbH), Herr Dipl.-Ing. Henning Haayen (Aljo-Aluminiumbau Jonuscheit GmbH), Herr Dipl.-Ing. Holger Gruss (EADS, CRC-Germany) und Frau Dr.-Ing. Manuela Zinke (IFST, Uni MD) teil. Die zweite Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses ist für Februar 2006 geplant. Am 16. und 17.12.05 erfolgte am IFST mit Herrn Dipl.-Ing. Gruß von der Fa. EADS eine Besprechung zu aktuellen Projektergebnissen sowie eine Planung weiterer gemeinsam zu realisierender Schweiß- und Heißrisstests.

7. Durchführende Forschungsstellen

Institut für Füge- und Strahltechnik
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg

7.1 Leiter der Forschungsstelle und Projektleiter
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. E.h. H. Herold

7.2 Projektbearbeiter
Dr.-Ing. A. Pchennikov

Magdeburg, den 01.12.2005