Forschungsthema:

Verbesserung der Prozesssicherheit des Punktschweißklebens von Aluminiumwerkstoffen und Ermittlung von Verbindungskennwerten für Konstruktion und Simulation

1. Einleitung

Das Hybridverfahren Punktschweißkleben wird bei Stahlwerkstoffen erfolgreich in der Karosserierohbaufertigung eingesetzt. Kurze Taktzeiten und geringere Fügekräfte als bei mechanischen Fügeverfahren sprechen auch bei Aluminium für das Widerstandspunktschweißen. Bedingt durch die natürliche Bildung einer Oxidschicht auf der Oberfläche und erhöhte thermische und elektrische Leitfähigkeiten ist der Werkstoff Aluminium nicht vergleichbar gut punktschweißgeeignet wie Stahl.

Die fortgeschrittene Invertertechnik, spezielle Prozessregelungssysteme und die Möglichkeit Strom- und Kraftprogramme zu nutzen eröffnen neue Möglichkeiten zum Punktschweißen von Aluminium. Ob die innovativen Systemtechniken vorteilhaft zum Fügen von Aluminiumwerkstoffen genutzt werden können begründet Forschungsbedarf.

2. Forschungsziel

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, Methoden zu entwickeln, die die Fertigungssicherheit beim Punktschweißkleben von Aluminiumverbindungen zu erhöhen. Des Weiteren sollen Verbindungskennwerte für Konstruktion und Simulation ermittelt werden. Die abschließend gewonnenen Kenntnisse sollen in Regelwerke und Ausbildung einfließen.

3. Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

1. Im ersten Schritt werden für die verschiedenen Aluminiumwerkstoffe sowie Klebstoffvarianten Schweißbedingungen ermittelt, die die Herstellung einwandfreier Schweißpunkte sichern.
2. Im zweiten Schritt werden mit optimal erachteten Parametern systematisch Schweißverbindungen hergestellt, an denen die für die Konstruktion und Simulation verwertbare Verbindungskennwerte ermittelt werden.

4. Durchgeführte Arbeiten und Versuchsergebnisse

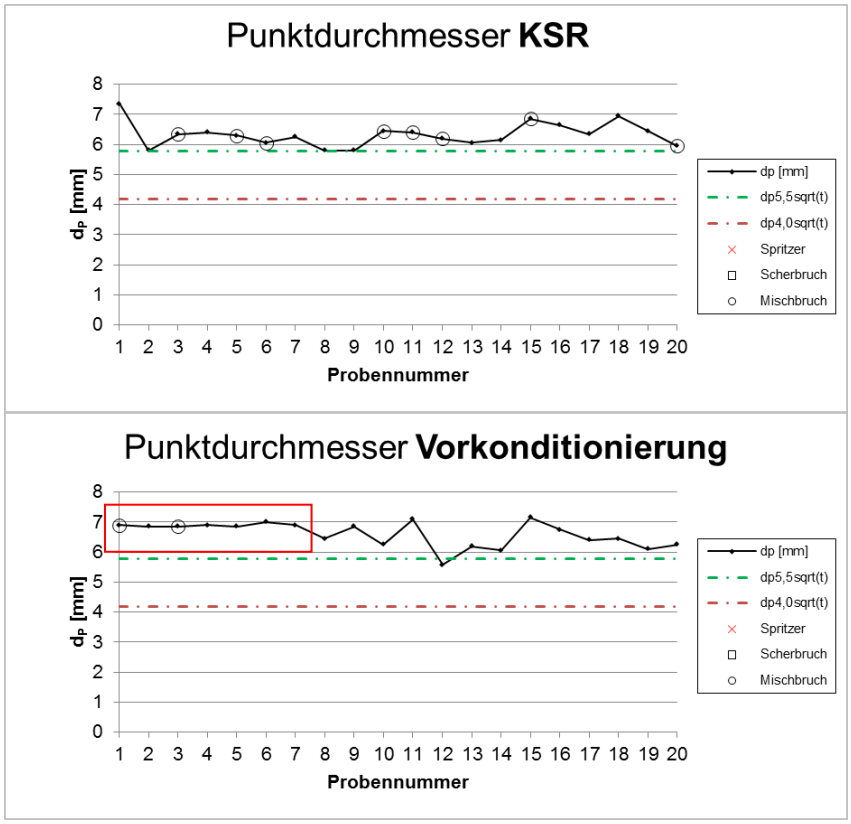
- Inbetriebnahme der Schweißzange mit geregelter Vorkonditionierung
- Ermittlung mech. Kennwerte der Grundwerkstoffe im Zugversuch
- Vergleich der Anlagentechnik (C-Zange /Bandzwischenelektrode)
- Untersuchungen zur Variation der Elektrodenkappengeometrien
- Simulation der Schweißungen mit SORPAS
- Untersuchung der geregelten Vorkonditionierung

4.1 Stand des Forschungsvorhabens

Der Grundgedanke zur Nutzung des Aluminiumregelmodus („Vorkonditionierung“) basiert auf der Tatsache, dass zu Beginn der Schweißung ein nicht reproduzierbarer Gesamtwiderstand vorliegt. Dieser hängt in hohem Maße von der elektrisch isolierenden Oxidschicht auf der Oberfläche des Aluminiumwerkstoffes ab. Die zusätzlich aufgetragene Klebstoffschicht stellt zumindest in der Anfangsphase einen weiteren Widerstand dar. Mit einem Vorwärmstrom in definierter Höhe wird ab dem Beginn der Aufschmelzung der Gesamtwiderstand sinken und folglich ein zu wählendes Niveau erreichen. Zu diesem Zeitpunkt setzt der eigentliche Energieeintrag zur Schweißung ein. Dieses Prinzip soll die Prozesssicherheit beim Schweißen von Aluminium verbessern.

Zu Beginn der Untersuchung der geregelten Vorkonditionierung wurden systematisch Parameter für die Konditionierphase ermittelt. Mit der Legierung EN AW 6016 in Kombination mit dem Klebstoff Betamate 1620 wurden optimale Parameter gewählt und 20 Vergleichsproben mit dem innovativen Regelmodus geschweißt. Weitere 20 Proben wurden bei gleicher Parametrierung mit dem konventionellen KSR-

Modus geschweißt. Für den Vergleich der beiden Regelmodi wurde jeweils der C_P-Wert des Punktdurchmessers ermittelt und gegenübergestellt. Insgesamt lässt sich anhand des C_P-Werts keine signifikante Verbesserung erkennen. Auffällig ist jedoch, dass die ersten, mit Regelung geschweißten Proben kaum Veränderungen des Punktdurchmessers zeigen (siehe Abb.1). Folgend zeigt sich der Elektrodenverschleiß als problematisch, sodass spätestens nach ca. 20 bis 25 Proben ein Wechsel erfolgen muss. Insgesamt zeigt der Elektrodenverschleiß einen deutlichen Einfluss auf Punktqualität und Punktdurchmesser. Abbildung 1 zeigt die Diagramme der beiden Messreihen.



Werkstoffe:
AlSi1,2Mg0,4 (6016)
AlSi1,2Mg0,4 (6016)
Klebstoff:
Betamate 1620
Aushärtung: 30min/180°C
Elektrodengeometrie:
"+": ISO5821 A0-20
"-": ISO5821 A0-20
Parameter:
I_S= 35kA
Elektrodenkraft: 4,0kN
Stromanstieg: 50ms
VHZ=1000ms
STZ=80ms
NHZ=500ms

Werkstoffe:
AlSi1,2Mg0,4 (6016)
AlSi1,2Mg0,4 (6016)
Klebstoff:
Betamate 1620
Aushärtung: 30min/180°C
Elektrodengeometrie:
"+": ISO5821 A0-20
"-": ISO5821 A0-20
Parameter:
I_S= 35kA
Elektrodenkraft: 4,0kN
Stromanstieg: 50ms
VHZ=1000ms
STZ=80ms
NHZ=500ms

Kond.-Strom I_{VK}
14,0 kA
Max. Kond.-Zeit t_{VK}
200 ms
Kond.-Schwelle R_{VK}
70 µΩ

Abbildung 1: *Diagramme und Parametrierung zum Einfluss des Aluminium-Regelmodus*

Die Untersuchungen zum Einfluss der Elektrodengeometrie auf das Schweißergebnis zeigten eine signifikante Verbesserung der Klebstoffverdrängung. Die Corona um den Schweißpunkt ist klar definiert und die erhöhte Spritzerneigung durch die Klebstoffe konnte bedingt durch eine erhöhte Flächenpressung deutlich verringert werden. Nachteilig sind die starken Elektrodeneindrücke von teilweise über 100% der Blechdicke. Bedingt durch die Geometrie ist ein erhöhter Elektrodenverschleiß zu erwarten. Diese Gründe erschweren den Einsatz spitzerer Elektrodengeometrien in der Serienfertigung stark.
Für die Nutzung der Standardgeometrie A0 nach DIN EN ISO 5821 wurde eine weitere Möglichkeit untersucht, den Klebstoff in der Anfangsphase zu verdrängen. Laut Forschungsantrag soll geklärt werden, ob ein Vorwärmstrom bei der Klebstoffverdrängung vorteilhaft sein kann.
Messungen hierzu zeigten, dass in Verbindung mit dem definierten Nebenschluss eine verbesserte Verdrängung möglich ist. Die Parametrierung der Vorwärmphase lehnt sich an die der Vorkonditionierung an. Je nach Blech-Klebstoffkombination zeigt ein Einbruch des Widerstandsverlaufes die Durchdringung des Klebstoffes an. Dieser Einbruch stellt sich etwa nach 40ms bei ca. 12-14kA ein. Danach erfolgt die eigentliche Schweißung. Im Vergleich zum Einsatz spitzerer Elektrodengeometrien kann generell eine stärkere Tendenz zu Mischbrüchen festgestellt werden.

Das Prinzip der Klebstoffverdrängung durch einen Vorwärmstrom wurde auch für die Fertigung der KSII-Proben angewendet. Um einen Einfluss des Elektrodenverschleißes zu minimieren wurde nach zehn geschweißten Proben das Elektrodenpaar ausgewechselt. Insgesamt wurden für alle Blech-Klebstoffkombinationen Proben mit als optimal erachteten Parametern geschweißt. Die Versuchsmatrix beinhaltete zudem den Einfluss kleinerer Punktdurchmesser und den Einfluss starker Spritzer auf die Festigkeit. Alle Proben werden auf Kopf- und Scherzug quasistatisch geprüft. Ausgewählte Versuchsreihen werden zudem mit den Zwischenwinkeln 30° und 60° geprüft.

Tabelle 1 zeigt die gefügten Blech-Klebstoffkombinationen.

Blechkombination	**BK A**				**BK B**			
	BK A.1	BK A.2	BK A.3	BK A.4	BK B.1	BK B.2	BK B.3	BK B.4
Werkstoff (Dicke [mm])	**EN AW 6016 (1,1)**				**EN AW 5182 (1,5)**			
Werkstoff (Dicke [mm])	**EN AW 6016 (1,1)**				**EN AW 5182 (1,5)**			
Klebstoff	BM 1620	BM 1493G	DP490	SP 498	BM 1620	BM 1493G	DP490	SP 498

Blechkombination	**BK C**				**BK D**	
	BK C.1	BK C.2	BK C.3	BK C.4	BK D.1	BK D.3
Werkstoff (Dicke [mm])	**EN AW 5754 (1,1)**				**EN AW 6016 (1,1)**	
Werkstoff (Dicke [mm])	**EN AW 5754 (1,1)**				**EN AW 6016 (2,0)**	
Klebstoff	BM 1620	BM 1493G	DP490	SP 498	BM 1620	DP490

Tabelle 1: *Auflistung der Blech-Klebstoffkombinationen für die Festigkeitsermittlung*

An ausgewählten Versuchsreihen mit Strukturklebstoffen werden Kennwerte für die Simulation aufgenommen. Durch das 3D Bildkorrelationsverfahren können nach Auswertung Aussagen über die Dehnung und Verschiebung der Probenoberfläche getroffen werden.

5. Arbeitsfortschritt und PbA-Sitzungen

Der Bewilligungszeitraum verlängert sich um sechs Monate, sodass das Forschungsvorhaben zum 30.06.2012 endet.
Die KSII-Proben zur Ermittlung der Festigkeitskennwerte sind erstellt und die Prüfung am Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik in Paderborn dauern an. Bis zum Ende der Projektlaufzeit sind Untersuchen zur Verkürzung der Vorhaltezeit und die Auswertung der KSII-Daten geplant.

Die Sitzungen des PbA fanden wie folgt statt:

1. 29.07.2010
2. 07.07.2011
3. 28.11.2011
4. 29.03.2012

Die fünfte PbA-Sitzung findet am 22.08.2012 in der SLV- Duisburg statt. Zu diesem Termin ist die Besprechung des Abschlussberichts vorgesehen.

Durchführende Forschungsstelle

Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt
SLV Duisburg NL der GSI mbH
Bismarckstraße 85
47057 Duisburg
Tel. 0203/3781-0
Forschungsstellenleiter: Prof. Dr.-Ing. Steffen Keitel
Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Reinhard Winkler
Verantwortlicher Bearbeiter: Dipl.-Ing. Stefan Schreiber, Thomas Wilhelm

Duisburg, April 2012