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 Fertigungssicherheit beim Punktschweißkleben von Aluminiumverbindungen zu erhöhen. Weiterhin sollen Verbindungskennwerte für Konstruktion und Simulation ermittelt werden. Die gewonnenen Kenntnisse sollen aufgearbeitet in Regelwerke einfließen und in der Ausbildung gelehrt werden.

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
- Klebstoffauftrag mittels Linearfahrwerk für reproduzierbare Raupenbreite
- Untersuchungen zur Variation der Elektrodenkappengeometrien A20 Radius: 50/75/150/200 am Klebstoff „DOW Betamate 1620“

4.1 Untersuchung zur Schweißbarkeit mit Klebstoff „3M DP 490“

Der zweikomponentige Klebstoff „3M DP 490“ lässt sich durch seine geringe Viskosität gut verdrängen, sodass stets eine Kontaktierung der Bleche gewährleistet ist. Mit der Elektrodenkappengeometrie B20 in Verbindung mit der Legierung AA6016 (t=1,1mm) treten Spritzer ab einer Stromstärke von 35,3kA auf. Hier befindet sich das Ende des Schweißbereichsdiagramms mit einem Punktdurchmesser von 7,7mm nach Aushärtung. Punktdurchmesser von $5{,}5\cdot\sqrt{t}$ stellen sich bei einem Schweißstrom von 29,7kA ein. Darunter laufen die Schweißungen spritzerfrei ab.
Tabelle 1 zeigt die weiteren Parameter aus dieser Probenreihe:

Tabelle 1

Kappengeometrie	El-Kraft t_s [kN]	VP-Kraft [kN]	NP.-Kraft [kN]	VHZ [ms]	STZ [ms]	NHZ [ms]
ISO 5821 B20 r=75mm	4,0	6,0	6,0	500	80	300

Der positiven Eigenschaft den Klebstoff gut zu verdrängen zu können steht jedoch die Tatsache entgegen, dass sich bei dem untersuchten Klebstoff durch Gasbildung größere, nicht verklebte Bereich bilden. Die Versuche wurden gemäß dem Forschungsantrag zunächst mit konventionellen Methoden, d.h. ohne Vorkonditionierung durchgeführt.
Ferner wurde eine Messreihe zur Reproduzierbarkeit des Punktdurchmessers ohne spezielle Regelung durchgeführt. Hierzu wurden die nach DIN EN ISO 5821 genormten Elektrodenkappengeometrien „A“ und „B“ in jeweils zehn Schweißungen gegenüber gestellt. Der Schweißstrom wurde so gewählt, dass im Mittel ein Punktdurchmesser von $5{,}5\cdot\sqrt{t}$ erreicht wurde. Mit der Kappengeometrie „B“ in Verbindung mit der Legierung AA 6016 konnte hierbei die Reproduzierbarkeit deutlich verbessert werden.

4.2 Untersuchung zur Schweißbarkeit mit Klebstoff „Betamate 1493G“

Der Klebstoff „Betamate 1493G“ ist durch seine hohe Viskosität von 140 Pa·s und die eingearbeiteten Glaskugeln mit konventionellen Methoden nur schwer aus dem Fügebereich zu verdrängen. Variiert wurden zunächst Vorpresszeit, Vorpresskraft, Elektrodengeometrie und Vorwärmstrom. Je nach Elektrodengeometrie konnte nach einer Vorhaltezeit > 2000ms und einer Vorpresskraft von 6,0kN ein Kontakt hergestellt werden. Eine Vorhaltezeit in dieser Dimension ist jedoch nicht wirtschaftlich.

Von Vorteil für die Verdrängung des Klebstoffes, stellte sich der „gezielte Nebenschluss“ heraus. Wie im Forschungsantrag beschrieben, wurde der Nebenschluss u.a. mit einem Vorwärmstrom kombiniert. Ein signifikanter Vorteil durch die Vorwärmphase kann bisher nicht bestätigt werden. Als nachteilig erweist sich hierbei die Tatsache, auf den Nebenschlusspunkt angewiesen zu sein. Entfernung und Durchmesser beeinflussen die eigentliche Schweißung. Schweißungen mit einer Vorrichtung für den Nebenschluss sind geplant. Für die Versuche zur Klebstoffdurchdringung ohne Regelung wurde im Phasenanschnittsmodus gearbeitet. Schweißungen im KSR-Modus führten bei ungünstigen Kontaktverhältnissen zur Zerstörung von Elektroden und Proben. Selbst mit geringen Elektrodenkräften (3,0kN) lassen sich bei Verwendung eines Stromanstiegs hierbei spritzerfreie Schweißungen beim 1,1mm dicken Blech erzeugen.

Zu Beginn des Forschungsvorhabens wurde in Absprache mit dem PbA erste Schweißung auf einer bestehenden Ständerpunktschweißmaschine durchgeführt. Unter anderem wurden in Verbindung mit dem Klebstoff „Betamate 1493G“ spitzere Kappengeometrien getestet. Diese Vorgehensweise zeigte Vorteile für die Verdrängung höherviskoser Klebstoffe. Auf der aktuellen C-Zange wurden diese Versuche in leicht abgewandelter Form wiederholt. Um einen Kompromiss zwischen guter Klebstoffverdrängung und Elektrodeneindruck zu erzielen wurden die genormten Kappengeometrien „C20“ und „E20“ zusammen verwendet. Diese Kombination stellt zu mindest auf einer Seite eine gute Oberfläche sicher.
Geschweißt wurde hierbei mit einer Vor- und Nachpresskraft von 6,0kN, während in der Schweißzeit 4,0kN aufgebracht wurden. Der maximale Elektrodeneindruck von zehn Schweißungen auf der Seite der C-Kappe beträgt +0,15mm und -1,55mm auf der Seite der E-Kappe Blechdicke (t=1,1mm; AA6016). Die Kombination dieser Kappengeometrien stellte in den Versuchsreihen stets eine Kontaktierung sicher.

4.3 Untersuchung zur Schweißbarkeit mit Klebstoff „Sika Power 498“

Die Versuche zum Klebstoff „SIKA Power 498“ wurden bisher alle mit Strom-Kraft-Programm ausgeführt. Ferner wurde zur Untersuchung konventioneller Methoden der KSR-Modus abgeschaltet, da sonst auch hier bei schlechter Kontaktierung eine Zerstörung der Proben und Elektroden erfolgt. Vorteilhaft für die Klebstoffverdrängung zeigte sich ebenfalls die Wahl von Elektrodenkappen mit spitzerer Geometrie. Schweißpunkte mit einem Durchmesser von $5{,}5\cdot\sqrt{t}$ konnten in den bisherigen Versuchsreihen erreicht werden, obliegen jedoch ohne Regelung starker Streuung. Zudem fällt eine erhöhte Spritzerbildung auf.

4.4 Schweißversuche mit geregelter Vorkonditionierung

Die Steuerung der Versuchsanlage bietet die Möglichkeit der Vorkonditionierung. Hierbei wird der eigentlichen Schweißung ein definierter Vorstrom vorgeschaltet, der den nicht reproduzierbaren Gesamtwiderstand auf einen zu wählenden Wert sinken lässt. Im Anschluss wird die eigentliche Schweißphase gestartet. Die Vorkonditionierzeit ist somit flexibel und hängt unter anderem vom Anfangsgesamtwiderstand ab. Die Prozessregelung soll für reproduzierbare Anfangsbedingungen sorgen und somit die Prozessfähigkeit steigern. Trotz Vorkonditionierung muss jedoch im Vorfeld ein elektrischer Kontakt geschaffen werden um den Schweißablauf starten zu können.

Ermittelt werden zunächst geeignete Umschaltwiderstände und Konditionierströme. Im Anschluss wird der Einfluss auf die Prozesssicherheit untersucht.
Aktuell laufen hierzu die Versuchsreihen.

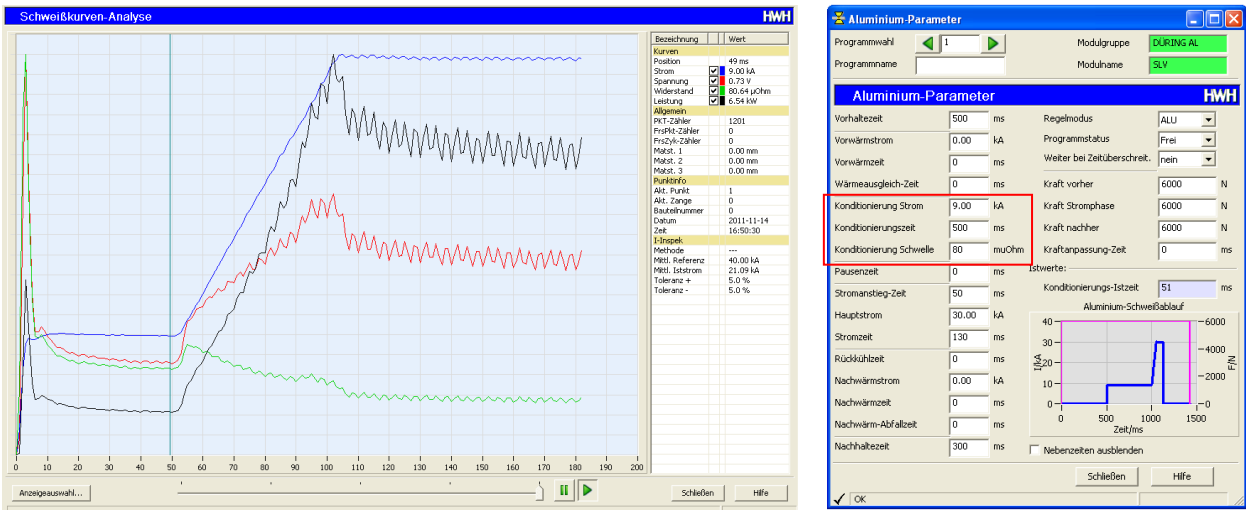

Abbildung 1: *Analysefenster und Beispielparameter der Vorkonditionierung*

5. Arbeitsfortschritt und PbA-Sitzungen

Durch den nennenswerten Verzug bei der Bereitstellung der zugesagten Anlage und dem Wechsel des verantwortlichen Bearbeiters wurde eine kostenneutrale Verlängerung des Forschungsvorhabens beantragt und dieser stattgegeben. Der Bewilligungszeitraum verlängert sich um sechs Monate, sodass das Forschungsvorhaben zum 30.06.2012 endet.

Vom PbA wurde angeregt, vergleichend Schweißversuche mit dem „DeltaSpot“-System des Herstellers FRONIUS zu unternehmen. Die Untersuchungen hierzu dauern an. Die Ermittlung von Verbindungskennwerten an KSII-Proben ist für den Januar 2012 am LWF-Paderborn geplant. Parallel dazu ist die Simulation mit SORPAS avisiert.

Die erste PbA-Sitzung fand am 29.07.2010 statt, die zweite Sitzung erfolgte am 07.07.2011. Für den 28.11.2011 ist die dritte Sitzung geplant.

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, November 2011