

# WERKSTOFFTECHNISCHE STUDIEN ZUR HERSTELLUNG VON AL-CU-ZELLVERBINDERN

## DIE AUFGABE

Ein wesentlicher Bestandteil der Elektromobilität sind Energiespeicher, die in hohen Stückzahlen zu niedrigen Preisen auf den Markt gebracht werden müssen. Ein wesentlicher Kernprozess beim Aufbau von Batteriemodulen aus einzelnen Batteriezellen ist die Verschaltung der Zellen mittels sogenannter Hochstromzellverbinder. Bisher wurde dies über ein mechanisches Verschrauben, mit all seinen Nachteilen in Bezug auf Kosten und Zuverlässigkeit über die Lebensdauer, realisiert. Ziel des Verbundprojektes »BatCon« war es, in einer ganzheitlichen Betrachtung funktionsintegrierte Hochstromverbinder für Batteriemodule mittels kostenoptimierter Fertigungstechnologien zu entwickeln, um Schraublösungen zu ersetzen.

Beim Einsatz thermischer Fügeverfahren stellt die begrenzte Löslichkeit der betreffenden Metalle untereinander (Al, Cu) im festen Zustand mit der Neigung zur Ausbildung spröder, intermetallischer Phasen die größte Herausforderung dar. Aufgrund der Bildung der spröden intermetallischen Phasen war zu Projektbeginn das Herstellen einer schmelzgeschweißten Verbindung zwischen Aluminium und Kupfer nicht Stand der Technik. Die Aufgabe des Vorhabens bestand deshalb darin, die werkstoff- und verfahrenstechnischen Grundlagen zum Fügen von Aluminium mit Kupfer und die Entwicklung neuer Fügeverfahren für die Fertigung von Halbzeugen für funktions- und kosten-optimierte Zellverbinder zu schaffen.

## UNSERE LÖSUNG

Durch die Nutzung des IWS Know-hows zum Fügen nicht oder nur bedingt schmelzschweißbarer Materialien bzw. Materialverbunde wurden die innovativen Sonderfügeverfahren Laserinduktionswalzplattieren (vgl. auch S. 64/65) und Rührreißschweißen

so weiterentwickelt, dass damit Al-Cu-Zellverbinder als Halbzeug reproduzierbar und effizient unter Berücksichtigung der Funktionsanforderungen hergestellt werden können.

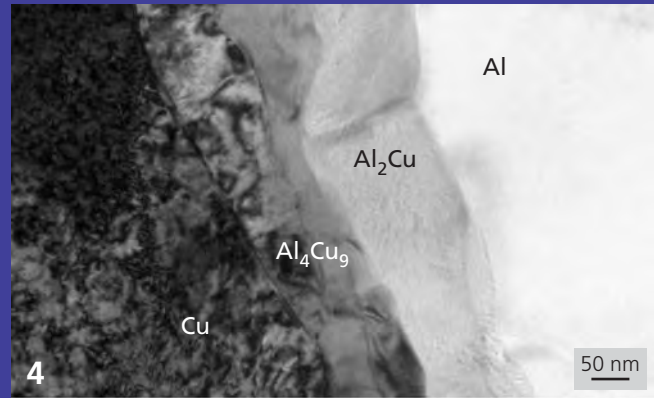
Eine weitere innerhalb des Vorhabens genutzte Kernkompetenz ist die prozessbegleitende Werkstoffentwicklung und Charakterisierung sowie die mechanische Werkstoffprüfung, die innerhalb des Projektes u. a. zur Aufklärung der vorherrschenden Fügemechanismen und zur Prüfung der Zuverlässigkeit der Fügeverbindungen genutzt wurde.

## ERGEBNISSE

Der Schwerpunkt des ersten Projektabschnitts bestand in der Durchführung einer Konzeptbetrachtung von Fügeverfahren zur Herstellung eines bi-metallischen Al-Cu-Verbundes zur Halbzeugfertigung. In diesen Konzeptvergleich wurden die Verfahren Laserstrahlschweißen, Rührreißschweißen und Laserinduktionswalzplattieren einbezogen.

Aus werkstofftechnischer Sicht können die Verfahren des Rührreißschweißens und Laserinduktionswalzplattierens als sehr gut geeignet für das Fügen von Al- und Cu-Blechen eingestuft werden, da sie einen dünnen kontinuierlichen Phasensaum, eine gute Anbindung und geringe Übergangswiderstände garantieren. Verfahrensbedingt fallen beim Rührreißschweißen die Anbindungsflächen deutlich geringer aus, als beim Laserinduktionswalzplattieren. Dies kann insbesondere bei zyklischer Belastung zu geringen Festigkeiten führen.

Aufgrund seiner sehr hohen Produktivität ist das Laserinduktionswalzplattieren für sehr große Stückzahlen, trotz der hohen Investitionskosten, das mit Abstand wirtschaftlichste Verfahren. Da das Laserinduktionswalzplattieren bisher nur in vollständiger



Überdeckung der zu fügenden Bänder erfolgte, wurde ein Anlagekonzept für die angestrebte teilweise Überlappung der Bänder erarbeitet (Abb. 1, 2). Das Ziel bestand darin, den in Abbildung 3 dargestellten Al-Cu-Zellverbinder mit asymmetrischer Lage der Verbindungszone herzustellen.

Die Realisierung dieser für das Laserinduktionswalzplattieren komplexen und neuartigen Lösung beinhaltete die Konstruktion, die Fertigung und den Einsatz von speziellen Kaliberwalzen, die Integration eines Diodenlasers mit speziellen Linienoptiken sowie umfangreiche Entwicklungsarbeiten zum Erzielen der erforderlichen Geschwindigkeit, Qualität und Stabilität des Fügeprozesses. Im Projekt konnte die Machbarkeit der Halbzeugfertigung bimettallischer Al-Cu-Zellverbinder demonstriert werden.

Im Vergleich zum Stand der Technik, dem Verschrauben der Zellverbinder, können durch Verschweißen der mittels Laserinduktionswalzplattieren gefertigten Zellverbinder folgende Vorteile realisiert werden:

- höherer Automatisierungsgrad mit deutlich geringeren Produktionskosten,
- deutlich reduzierte Übergangswiderstände und damit geringere elektrische Verluste,
- eine verbesserte Langzeitstabilität und mechanische Belastbarkeit sowie
- ein geringeres Gewicht und mehr Gestaltungsfreiheit zur Reduzierung des Bauraumes.

Des Weiteren wurden umfangreiche vergleichende Strukturanalysen an den mit unterschiedlichen Fügeverfahren angefertigten Al-Cu-Verbindungen durchgeführt. Dabei wurden neben dem Rührreißschweißen und Laserinduktionswalzplattieren auch die von den Projektpartnern entwickelten Verfahren Laserstrahlschweißen, Ultraschallschweißen und Elektromagnetisches Pulsfügen in die Untersuchungen mit einbezogen. Charakteristisch für alle Fügeverfahren ist die Bildung der beiden intermetallischen Phasen  $\text{Al}_4\text{Cu}_9$  und  $\text{Al}_2\text{Cu}$  in der Verbindungs- bzw. Durchmischungszone (Abb. 4).

Beim Laserstrahlschweißen lässt sich die Dicke der sich bildenden intermetallischen Vermischungszone nur auf etwa 10  $\mu\text{m}$  verringern, was eine verhältnismäßig starke Versprödung und damit Riss- und Bruchgefahr zur Folge hat. Tendenziell ist Laserstrahlschweißen bei dieser Werkstoffkombination besser für dünne Folien (Dicke < 1 mm) als für steifere Bleche geeignet. Dagegen lässt sich mit den anderen untersuchten Verfahren die Phasensaumdicke auf ein für die elektrischen Eigenschaften und die mechanische Belastbarkeit unkritisches Maß von etwa 1  $\mu\text{m}$  begrenzen. Diese Phasensäume erfahren auch bei einsatzrelevanten Maximaltemperaturen von 100 °C bei mehr als 500 h keine Alterungserscheinungen.

Die im Zeitraum von 2013 bis 2015 durchgeführten Forschungsarbeiten wurden vom BMWi im Rahmen der Förderinitiative Elektro Power innerhalb des Projektes BatCon gefördert (FKZ 0101X12055C).

- 1 *Verfahrensprinzip Laserinduktionswalzplattieren (mit Laserstrahl (Mitte) und den in die Walzen einlaufenden Al- und Cu-Bändern)*
- 2 *Detail Walzgerüst*
- 3 *Mittels Laser aufgeschweißte Al-Cu-Zellverbinder*
- 4 *TEM-Aufnahme: Phasensaum*

## KONTAKT

Dr. Jörg Kaspar

+49 351 83391-3216

joerg.kaspar@iws.fraunhofer.de

