

© Schunk Sonosystems

# Ultraschallschweißen in der Automobilproduktion

Die Anforderungen an Leistungsfähigkeit und Robustheit von Kabelbäumen steigen bei vollelektrisch oder autonom fahrenden Fahrzeugen drastisch. Schunk Sonosystems beschreibt die Vorteile des Ultraschallschweißens als Verbindungstechnologie bezüglich der Prozesssicherheit und der Lebensdauer der Module.

## NEUE ANFORDERUNGEN AN KABELBÄUME

Etwa 5 km Länge, 50 kg Gewicht, 1000 Einzelleitungen und 1500 Kontakte – das sind die Eckdaten eines Kabelbaums in einem heutigen Mittelklasse-Pkw. Die Anforderungen an den Kabelbaum sind dabei vielseitig: zuverlässige Übermittlung von Daten zwischen Steuergeräten, Sensoren oder Kameras, aber auch der widerstandsfähige Transport von elektrischen Strömen und die gleichzeitige Isolation der Einzeladern gegen das Fahrzeugchassis oder andere elektrische Potenziale im Fahrzeug.

In Zukunft werden die Anforderungen bei vollelektrisch und/oder autonom fahrenden Fahrzeugen drastisch steigen. Die Datenvolumina und deren Übertragungs-

geschwindigkeit werden zunehmen, die heutige 12-V-Versorgungsspannung wird durch ein Hochstrom- und Hochspannungs-Bordnetz ersetzt. Als Energiespeicher werden für die nächste Generation der E-Fahrzeuge Li-Ionen-Batterien eingesetzt. Hierzu werden einzelne Li-Ionen-Zellen zu komplexen Batterie-Stacks verschaltet, um entsprechend hohe elektrische Ströme und Spannungen für die Elektromotoren zur Verfügung stellen zu können. Darüber hinaus muss jede einzelne Batteriezelle auf ihren elektrischen Zustand überwacht werden, um die Leistungsfähigkeit des gesamten Batterieblocks zu gewährleisten. Und zu guter Letzt muss der Energiefluss zur Batterie (Ladevorgang) beziehungsweise von der Batterie zum E-Motor kontrolliert und geregelt werden.

## AUTOREN



**Dipl.-Ing. Manuel Fey**  
ist Head of Sales Wire Applications bei Schunk Sonosystems in Wettenberg.



**Dipl.-Ing. (FH) Jan Fritzes**  
ist Head of Sales Power Electronics and Special Machines bei Schunk Sonosystems in Wettenberg.



**Ivo Galic**  
ist Head of Sales Battery Applications bei Schunk Sonosystems in Wettenberg.



**Dennis Kämmerer, M. Sc.**  
ist Development Engineer bei Schunk Sonosystems in Wettenberg.

## SCHLÜSSELTECHNOLOGIE ULTRASCHALLSCHWEISSEN

Neben einer komplexen elektrischen Steuer- und Regelelektronik sind hierzu auch Leistungselektronik-Module (IGBT-Module) von ausschlaggebender Bedeutung. Unabhängig ob Kabelbäume, Li-Ionen-Batterien oder Leistungselektronik-Module gefertigt werden, in allen Bereichen ist das Ultraschallmetallschweißen die Schlüsseltechnologie zur Fertigung dieser Komponenten und somit eine zentrale Technologie auf dem Weg zur E-Mobilität.

Das Ultraschallmetallschweißen gehört zur Gruppe der Pressschweißverfahren, bei dem unter Druck und gleichzeitiger hochfrequenter Relativbewegung (Reibung) zwischen den Fügepartnern eine Schweißung hergestellt wird. Es entsteht eine metallische Verbindung zwischen den Fügepartnern, ohne dass ein Zusatzwerkstoff erforderlich ist. Das Fügen erfolgt dabei in der festen Phase, das heißt, die Fügepartner werden nicht aufgeschmolzen. Aus diesem Grund gehört das Ultraschallmetallschweißen zur Untergruppe der Kaltpressschweißverfahren. Das Ergebnis ist eine Schweißverbindung, zu deren Herstellung geringste Wärmeeinträge erforderlich sind und deren Fügestelle trotzdem hervorragende elektrische Eigenschaften besitzt. Aufgrund des geringen Energieeintrags in die Fügestelle lassen sich sehr einfach Mischverbindungen aus Aluminium und Kupfer herstellen, ohne dass es zur Bildung spröder intermetallischer Phasen in der Fügestelle kommt. Exotische Schweißverbindungen wie Glas/Aluminium lassen sich ebenfalls recht problemlos erstellen.

Empfindlich reagiert der Ultraschallmetallschweißprozess auf Öle, Fette oder

andere niedrigschmelzende Phasen (zum Beispiel Zinn oder Blei), die die Reibung zwischen den Fügepartnern reduzieren und somit die reproduzierbare (Reib-)Schweißung verhindern. Aufgrund der umfangreichen Überwachungsfunktionen und einer ausgeklügelten Sensorik werden Prozessabweichungen beim Ultraschallschweißen, die etwa durch Öle oder Fette hervorgerufen werden, erkannt und bis hin zum Bauteiltracking vollständig dokumentiert. Aufgrund der umfangreichen Überwachungsfunktionen hat sich das Ultraschallmetallschweißen seit fast drei Jahrzehnten in der Kabelbaum- und Batteriefertigung etabliert und tritt einen weiteren Siegeszug bei der Fertigung von Leistungselektronik-Modulen an.

### PROZESSICHERE VERARBEITUNG KLEINER KABELQUERSCHNITTE

Bei der Fertigung von Kabelbäumen wird das Ultraschallschweißen sowohl für das Kabel-an-Kabel-Schweißen (Litze-Knoten-Schweißen oder auch Splices), als auch für das Schweißen von Kabeln an Kontaktteile (Litze-Terminal-Schweißen) eingesetzt. In der Kabelbaumfertigung werden heute Leitungsquerschnitte zwischen 0,13 bis über 200 mm<sup>2</sup> mittels Ultraschallschweißen verarbeitet, **BILD 1**. Dabei liegen circa 90 % aller Schweißungen in einem Querschnittsbereich zwischen 1 und etwa 20 mm<sup>2</sup>. Kupferkabel sind heute noch Standard, bei größeren Leitungsquerschnitten oberhalb circa 10 mm<sup>2</sup> setzt sich aufgrund des geringeren Gewichts zunehmend Aluminium als Werkstoff durch.

Die kleinsten Kupfer-Kabelquerschnitte lagen bis vor wenigen Jahren bei 0,35 mm<sup>2</sup>. Diese Kabel wurden für Signalleitungen, also Leitungen ohne

nennenswerte Strombelastung, eingesetzt. Zur weiteren Gewichtsreduktion wurden in den letzten Jahren Leitungen mit einem Querschnitt von 0,13 mm<sup>2</sup> eingeführt. Zur Erhöhung der Zugfestigkeit (Reißfestigkeit) werden hierfür Kupferlegierungen aus CuMg eingesetzt. Auch weitere moderne Legierungen wie CuSn lassen sich mit den neuesten Anlagen prozesssicher verarbeiten. Selbst noch kleinere Leitungsquerschnitte wie zum Beispiel Leitungen mit einem Querschnitt von 0,08 mm<sup>2</sup> sind bereits in der Erprobung. Am anderen Ende der Querschnittsskala etablieren sich zunehmend Kabelquerschnitte oberhalb 30 mm<sup>2</sup>.

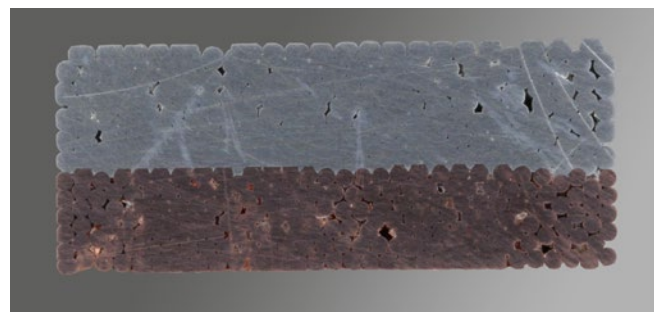
Mit steigenden Kabelquerschnitten müssen die Ultraschallschweißmaschinen auf entsprechend höhere Anpressdrücke und Schweißleistungen ausgelegt werden. Reicht für Kupfer-Kabelquerschnitte bis 30 mm<sup>2</sup> noch eine Schweißleistung von rund 3 kW aus, sind für Querschnitte um 100 mm<sup>2</sup> durchaus 6 kW und bei 150 bis 200 mm<sup>2</sup> um 10 kW Ultraschallleistung erforderlich. Da mit steigenden Querschnitten auch die Anpresskräfte deutlich erhöht werden müssen, sind die Maschinenbetten entsprechend robust auszugestalten. Ultraschallschweißmaschinen für Kabelquerschnitte von 200 mm<sup>2</sup> können dann je nach Anwendung durchaus auf Systemgewichte von 500 bis 900 kg kommen.

### ULTRASCHALL-KASKADEN- SCHWEISSEN ERHÖHT PROZESSICHERHEIT

Wie erwähnt, bieten die Aluminiumleitungen besonders bei größeren Querschnitten erhebliche Gewichtsreduktionspotenziale gegenüber Kupferleitungen. Besonders lange Leitungen wie



**BILD 1** Kleine und große Querschnitte im Vergleich: 3 × 0,13 mm<sup>2</sup> (links) und 3 × 50 mm<sup>2</sup> (rechts) © Schunk Sonosystems



**BILD 2** Querschliff einer ultraschallgeschweißten Kaskade © Schunk Sonosystems



**BILD 3** Mit Ultraschall geschweißte hauchdünne Kupferfolien auf einem vernickelten Kupfer-Tab aus dem Inneren einer Batterie  
(© Schunk Sonosystems)



**BILD 4** Eine Batteriezelle mit dem vernickelten Kupfer-Tab auf der linken Seite und dem Aluminium-Tab auf der rechten Seite  
(© Schunk Sonosystems)

beispielsweise Generator- oder Batterieleitungen werden systematisch durch Aluminiumleitungen ersetzt. Sowohl das Ultraschallschweißen von Aluminiumkabeln, als auch das von Aluminiumleitungen auf Kupferterminals wird bereits seit mehreren Jahren in der Großserienfertigung eingesetzt.

Allerdings sind im Großserieneinsatz immer wieder Mischverbindungen von Aluminium- an Kupferleitungen erforderlich. Um an dieser Verbindungsstelle eine prozesssichere und reproduzierbare Verschweißung zu ermöglichen, hat Schunk Sonosystems das Ultraschall-Kaskaden-Schweißen entwickelt. Durch eine kaskadierte Fertigung werden hervorragende Schweißergebnisse erzielt, wie ein Querschliff durch eine Kaskadenschweißung zeigt, **BILD 2**.

Bei elektrisch und autonom fahrenden Fahrzeugen werden zunehmend mehr verdrehte Leitungen verbaut. Das ist hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) von Signalleitungen

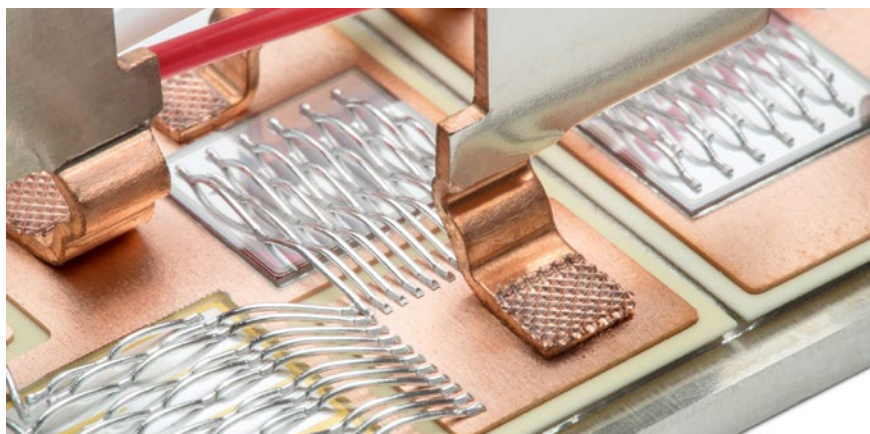
enorm wichtig. Um die Anforderungen an die elektrische Störfestigkeit hier zu erreichen, darf die Enddrilllänge auch im Schweißbereich nur minimal sein. Hierzu wurde eine Anlage gezielt modifiziert und für die Anwendung von verdrehten Leitungssätzen optimiert. Nicht nur hier, sondern auch bei Hochvoltanwendungen steigen die Variationen und Einsatzfelder. Von kleineren Kombinationen im Querschnittsbereich bis etwa 15 mm<sup>2</sup> bis hin zu Applikationen bis zu 200 mm<sup>2</sup> ist alles vertreten. Bei diesen Anwendungen zählen wieder die Öffnung der Isolation, der Schirmung und ein sicheres Handling zu den Schlüsselaufgaben.

Seit vielen Jahren ist das Ultraschall-Metallschweißen für die Fertigung von Batterien im Einsatz. In den 1990er-Jahren wurden Nickel-Metallhydrid-Batterien für Elektrogeräte mittels Ultraschall-Schweißen hergestellt. Die nachfolgende Verdrängung durch die Li-Ionen-Batterie änderte jedoch nichts

darin, dass das Ultraschallschweißen der bevorzugte Fügeprozess bei der Herstellung des neuen Batterietyps blieb. Im Wesentlichen unterscheidet man drei Batterietypen: Rundzellen, prismatische Zellen und Pouchzellen. Besonders die Pouchzellen ermöglichen eine relativ freie geometrische Gestaltung der Zelle bei gleichzeitig höchster Kapazität. Für diese in der E-Mobilität besonders häufig eingesetzten Pouchzellen müssen in der Fertigung bis zu 140 Aluminiumfolien an einen Aluminium-Tab (Aluminium-Stromleiter, der den Minuspol der Batterie nach außen führt), **BILD 3**, und auf der anderen Seite bis zu 140 Kupferfolien an einen vernickelten Kupfer-Tab (Pluspol) geschweißt werden, **BILD 4**.

Die Anforderungen an den Ultraschallschweißprozess sind vielfältig, werden aber in vollem Umfang erfüllt. Zum einen ist der Ultraschallschweißprozess automatisierbar und ermöglicht eine vollständige Dokumentation mit Bauteiltracking und wartet mit Taktzeiten von 3 s auf, wobei die reine Schweißzeit weniger als 0,5 s beträgt. Zum anderen wird durch das Ultraschallschweißen keine oder nur wenig Wärme in die Batterie eingebracht, um die Zellchemie nicht nachhaltig zu schädigen. Des Weiteren weist die Fügestelle geringste elektrische Übergangswiderstände auf. Bei schlecht geschweißten Stellen kann im späteren Betrieb ein Hotspot entstehen, der zur Zerstörung der Batterie führen kann.

Die Batteriezellen werden über Busbars miteinander verschaltet, um Hochspannungen von mehreren 100 V für den E-Antrieb der Fahrzeuge zur Verfügung zu stellen. Auch beim Verschalten der Zellen wird das Ultraschallschweißen häufig eingesetzt. Des Weiteren



**BILD 5** Beispiel eines ultraschallgeschweißten Terminals in einem Leistungselektronik-Modul (IGBT-Modul)  
(© Schunk Sonosystems)

wird der Zustand jeder einzelnen Batteriezelle über sogenannte Zellspannungsabgriffe überwacht. Derzeit konkurrieren bei den Zellspannungsabgriffen zwei Technologien miteinander: Zellspannungsabgriffe mit Flachleitern (Flat Flexible Cable, FFC) oder mit klassischem Rundleiter. In beiden Fällen findet aber die sichere elektrische Kontaktierung mit dem Ultraschallschweißen statt. Das gilt auch für Leistungselektronik-Module, die alle namhaften OEMs bei Elektro- oder Hybridfahrzeugen in Form von Batterieladegeräten, aber auch Invertern, Wandlern oder Wechselrichtern im Fahrzeug zum Regeln des E-Antriebs und Laden der Batterie einsetzen.

#### ULTRASCHALLSCHWEISSEN ERHÖHT MODUL-LEBENSDAUER

Die Zuverlässigkeit der ultraschallgeschweißten Verbindungen ist ein unerlässlicher Faktor für den sicheren Einsatz dieser sogenannten Power-Module

oder IGBT-Module. Bei der IGBT-Modulfertigung werden Fußpunkte von Kupferterminals oder -Busbars auf keramische Substrate mit metallischer Leiterbahn, zum Beispiel sogenannte Direct Bonded Copper (DBC) geschweißt. In **BILD 5** ist der ultraschallgeschweißte Fußpunkt eines Terminals auf ein DBC-Substrat ersichtlich. Konventionell hergestellte IGBT-Module werden an den Fußpunkten auf das Substrat gelötet. Das Lot wird geschmolzen und bildet eine Schicht zwischen Terminal-Fußpunkt und Kupferschicht des DBCs, wohingegen mithilfe des Ultraschallschweißens der Fußpunkt des Terminals direkt metallisch mit der Kupferschicht des DBC-Substrats verbunden wird. Das bietet technologische Vorteile bezüglich der Langzeitstabilität der kontaktierten Terminals. In branchentypischen Thermo-Cycles und Vibrationstests ist die mechanische Stabilität der ultraschallgeschweißten Fußpunkte bis zum Faktor zwei höher als bei gelöteten IGBT-Modulen. Langzeitstudien haben

gezeigt, dass sich durch die Verwendung von Ultraschallschweißen als Verbindungstechnologie die Lebensdauer der Module je nach Anwendungsfall um ein Vielfaches erhöht.



DIESER BEITRAG IST IM E-MAGAZIN  
VERFÜGBAR UNTER:  
[www.emag.springerprofessional.de/atz](http://www.emag.springerprofessional.de/atz)

# sps ipc drives

Smarte und Digitale Automation  
Nürnberg, 27. – 29.11.2018

## Answers for automation

Es gibt Aufgaben, die uns vor neue Herausforderungen stellen.  
Treffen Sie Experten für eine zukunftsweisende Automation.  
Finden Sie im direkten Gespräch konkrete Lösungen für Ihr Unternehmen.

Ihre kostenlose Eintrittskarte: **Code 1812301064ADE1**  
[sps-messe.de/tickets](http://sps-messe.de/tickets)



**mesago**  
Messe Frankfurt Group