

Smart Ultrasonic Welding in der Aufbau- und Verbindungstechnik

Smart Ultrasonic Welding erlaubt das Anschweißen größerer Querschnitte und filigraner Verbinder mit verlässlicher, in der Halbleiterkontaktierung bewährter Prozessführung.

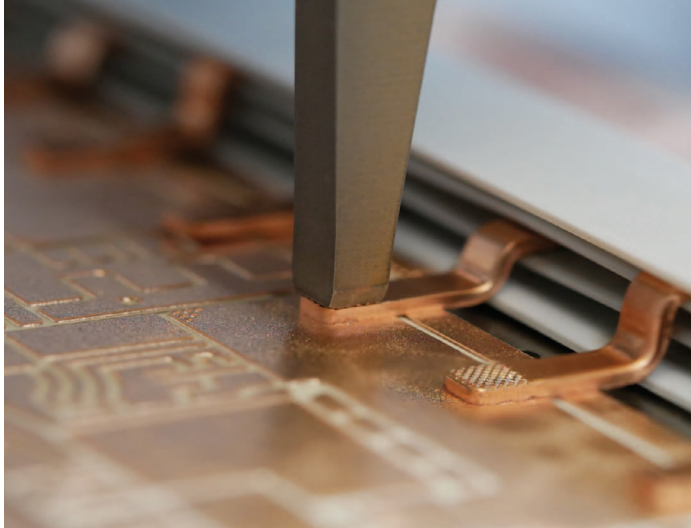


Bild 1: Ultraschallschweißen

In der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) ist Ultraschallschweißen eine seit Jahrzehnten etablierte Technik zur Verbindung metallischer Fügepartner: Einerseits in Form des Drahtbondens, andererseits als Ultraschallschweißen für das Anbinden von Terminals auf DCB-Substraten oder von Litzen und Kabeln in externen Schaltkreisen. Typischerweise werden beim Draht- und Bändchenbonden Schweißleistungen von bis zu 100 W vorgehalten; typische Ultraschall-Schweißanlagen haben Leistungen von 500 W bis in den Kilowatt-Bereich. Die Kombination dieses Leistungsspektrums mit der Flexibilität und Prozesskontrolle von Drahtbondern eröffnet neue Alternativen. Deren individuelle Stärken und Schwächen werden hier am Beispiel eines Batteriepacks gezeigt.

Ultraschallschweißen

Beim Ultraschallschweißen (Bild 1) werden zwei oder mehr Kontaktpartner lokal verschweißt; es ist ein dominierendes Verfahren in der AVT. Typische Anlagen dazu nutzen piezoelektrisch erzeugte, niederfrequente Ultraschallschwingung (typischerweise 15 bis 40 kHz) und unterscheiden sich hinsichtlich der Schwingungsform der Sonotrode und der Kräfteinprägung (s. Tabelle 1). Die verschiedenen Arten haben vor- und

nachteilige Eigenschaften bei der Anwendung:

- Längsschwingungen (wie in A, B, D, E) neigen zum sogenannten Hammering, welches ungewollte Schwingungen in vertikaler Richtung beschreibt, denen durch Prozess- oder Hardwareänderungen begegnet werden kann.
- Torsionsschwingungen (wie in C abgebildet) haben eine radiusabhängige Schwingungsamplitude, was zu unzureichendem Verbindungsaufbau im Zentrum führen kann.

Der Ultraschalltransducer und die Sonotrode besitzen einen vertikalen Freiheitsgrad, um das Produkt in der Schweißanlage platzieren zu können. Die ermöglichten Freiräume und die Platziergenauigkeit sind dabei relevant für die Anwendungen. Während des Prozesses wird die Kraft oder das Drehmoment pneumatisch, selten hydraulisch oder elektromechanisch eingebracht. Mit solchen Anlagen können Verbindungen mit Kontaktflächen bis ca. 100 mm² und Materialstärken bis ca. 5 mm hergestellt werden.

Ultraschall-Dickdrahtbonden

Im Gegensatz zum Ultraschallschweißen wird beim Drahtbonden (Wire Bonding, Bild 2) im Wesentlichen nach Drahtstärke und -material unterschieden. Diese Standardtechnologie kommt zum Kontaktie-

ren von Mikro- und Leistungselektronik in modernen elektronischen Produkten aller Anwendungsbereiche zum Einsatz. In einem vollautomatischen Drahtbonder wird ein Flach- oder Runddraht als Verbindungselement kontinuierlich von einer Rolle zugeführt, angeschweißt und abgetrennt.

Das Verarbeiten von Drahtstärken von 75 bis 600 µm ist als Dickdrahtbonden bekannt, bei dünneren Drähten spricht man vom Dünndrahtbonden. Am Markt erhältliche Bondern nutzen Frequenzen von 40 bis 100 kHz, im Dünndrahtbereich bis 150 kHz. Eine Drahtverbindung besteht dabei aus mindestens zwei Schweißstellen (Bonds) und mindestens einem Bogen (Loop) sowie dem Drahtende mit Schnittkante (Tail). Das Bondwerkzeug (Wedge oder Bondkeil) ist dabei präzise in x-, y-, z-Richtung und rotatorisch positionierbar, sodass Verbindungen innerhalb eines oder mehrerer Produkte in verschiedenen Höhen, Positionen und Orientierungen produziert werden können.

Mit linearen Kinematiken erlaubt dies kompakte Produktdesigns und Geschwindigkeiten von mehreren Bonds pro Sekunde. Alle Bewegungen folgen definierten Trajektorien, deren Phasen einzeln fein parametrierbar sind. Mittels eines kontrollierten Aufsetzens, einer geregelten Normalkraft und einer strom- oder spannungsgesteuerten Ultra-

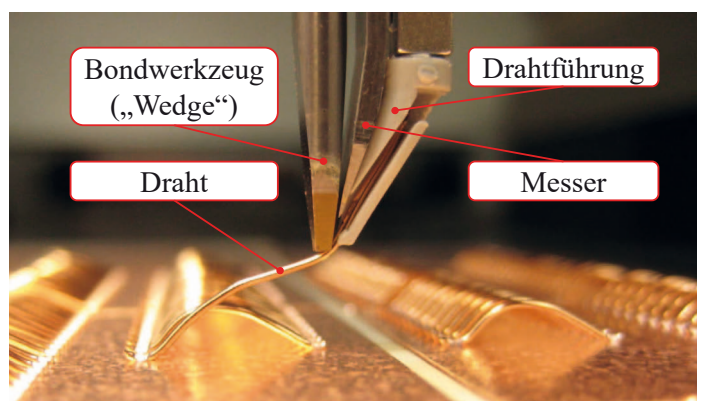
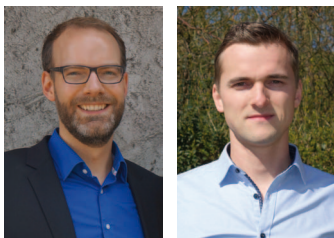


Bild 2: 500-µm-Kupferdrahtbonden



Autoren:

*Dr. Matthias Hunstig (li),
Stellvertretende Leitung
Vorentwicklung und
Sebastian Holtkämper (re),
Produktmanagement*

*Hesse GmbH
www.hesse-mechatronics.com*

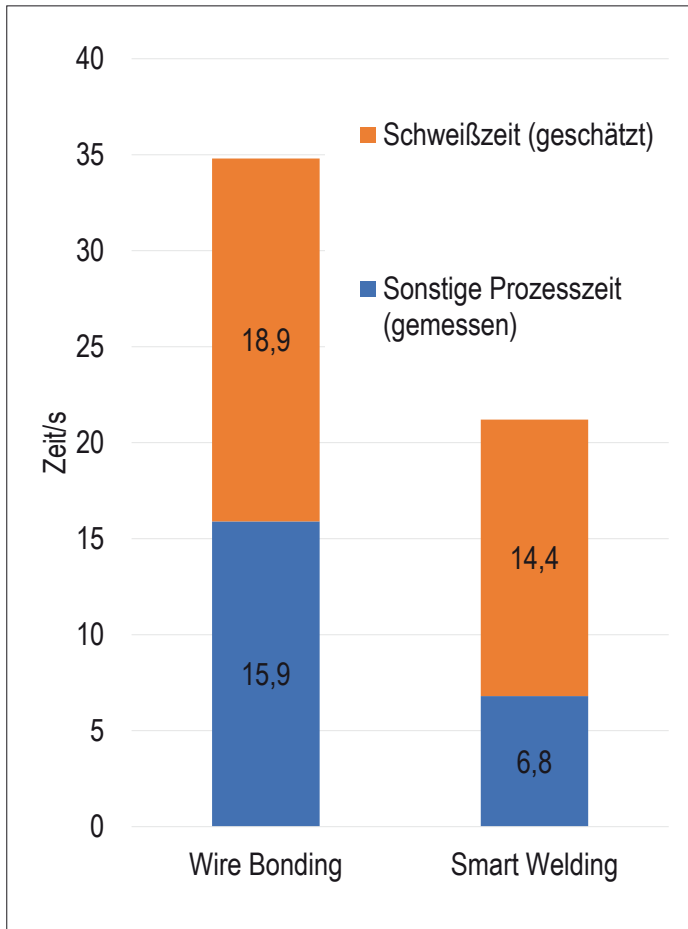


Bild 3: Zykluszeit eines Batteriepacks

schallschwingung werden so Verbindungen mit unter 1 W (in der Mikroelektronik) ebenso wie mit bis zu 100 W Schweißleistung (z.B. 400 x 2000 µm Al-Flachdraht) im Hochvolumen geschaffen, die höchsten Qualitätsanforderungen aus Automobil- oder Luft- und Raumfahrtindustrie entsprechen. Werden während des Bondvorgangs Prozessgrenzen verlassen oder gibt es Auffälligkeiten – z.B. zu geringe Reibung, Resonanzen oder eine abweichende Drahtverformung –, wird dies unmittelbar erkannt. Als Konsequenz kann dann automatisiert Nacharbeit erfolgen.

Fallbeispiel: Kontaktierung von zylindrischen Batteriezellen

Batteriepacks, bestehend aus zylindrischen Batteriezellen, sind ein typisches Beispiel, bei dem die genannten Technologien substitutiv ausgewählt werden könnten. Das Ultraschallfügen hat dabei einige Vorteile gegenüber anderen Technologien: Nullspalte zwischen den Fügepartnern werden durch die Normalkraft sichergestellt, Schwan-

kungen in der thermischen oder elektrischen Leitfähigkeit oder in den optischen Eigenschaften sind nicht relevant. Dafür setzt das Ultraschallschweißen und insbesondere das Drahtbonden saubere Oberflächen und eine gute Fixierung der Zellen voraus.

Für den folgenden Vergleich wurde ein Smart Welder der geringsten Leistungsklasse (Hesse Mechatronics SW955) gewählt, um ein vorselektiertes filigranes Stanzgitter aus Aluminium (EN AW-Al 99,5 H12) auf die Zellen aus nickelbeschichtetem Stahlblech zu schweißen. Die Drahtbond-Referenz stellt eine Anbindung mit 500 µm Al-Draht (Heraeus Al-H11 CR) dar, wozu ein vollautomatischer Dickdrahtbinder (Hesse Mechatronics BJ955) genutzt wurde. Das Batteriepack ist eine 6p4s-Konfiguration mit Zellen des Formats 21700, welche gleichorientiert als 6x4-Matrix unter Presskontakt angeordnet sind (s. Bild 4, links Smart Welding, rechts Drahtbonden). Dieser Demonstrator ermöglicht durch einfaches Rüsten ein Drahtbond- und ein Stanzgitter-

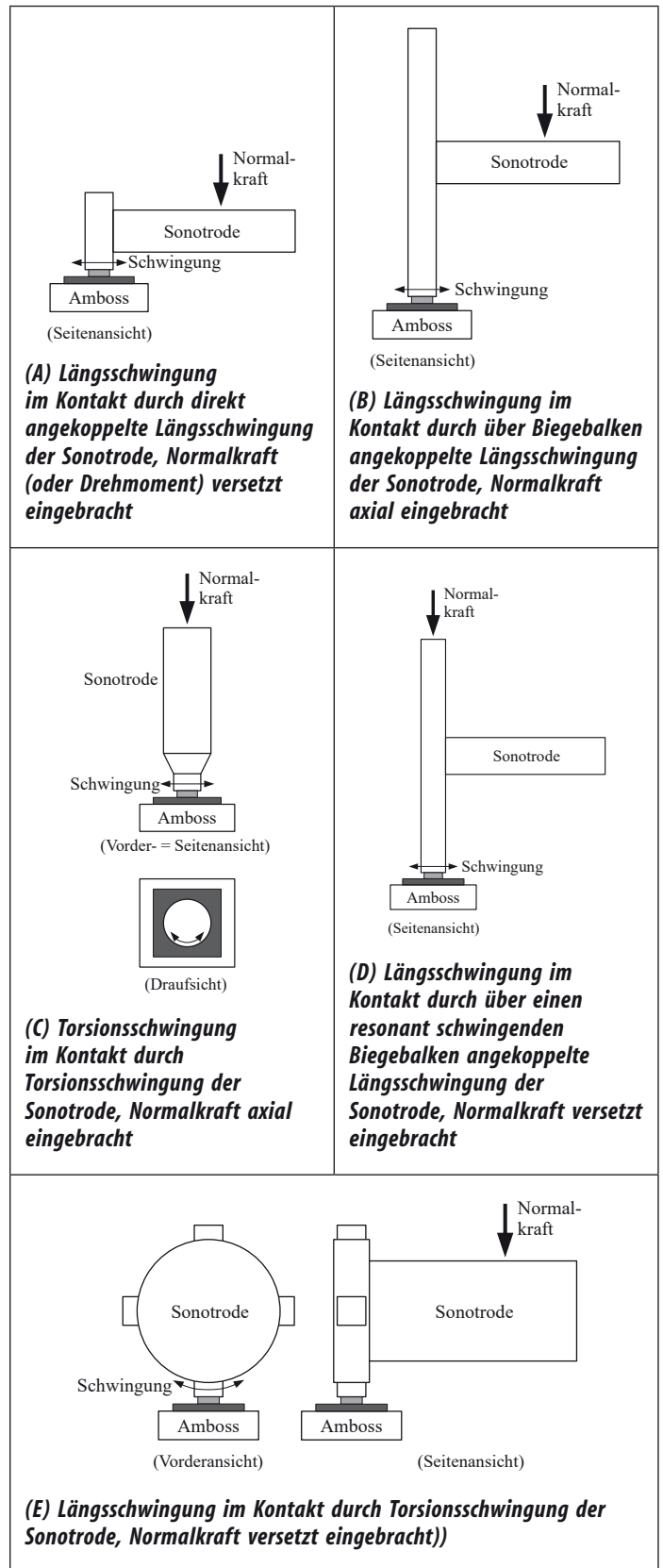


Tabelle 1: Arten des Ultraschallschweißens

setup. Im Fall des Stanzgitters werden pro Zelle zwei Schweißpunkte benötigt (jeweils für Schulter und Kappe der Zelle). Im Gegensatz zu diesen 48 Schweißstellen wer-

den in der Drahtbondkonfiguration 78 Bonds benötigt. Dabei kommen auch Drahtbögen mit einem dritten, sogenannten Stichbond zum Einsatz, die in diesem Fall die paral-

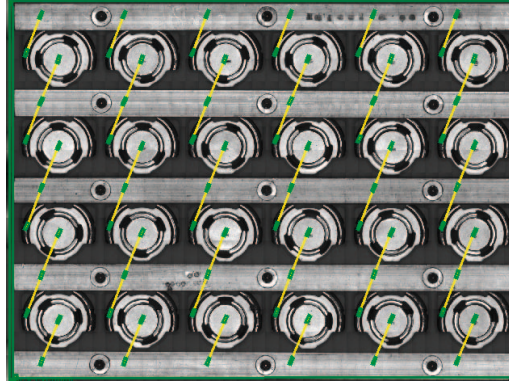
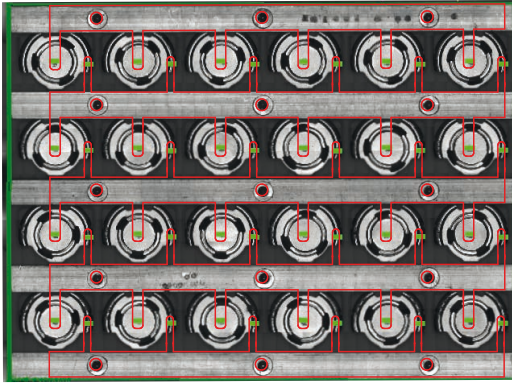


Bild 4: Layout der Schweißstellen (grün; links Smart Welding, rechts Drahtbonds)



Bild 5: Batteriepack mit Smart Welding (links) und Drahtbonds (rechts)

lele Verschaltung über Stromschienen ermöglichen. Änderungen der Zellanordnung können leicht durch eine Bondpositionsanpassung realisiert werden. Bond- und Schweißpositionen werden per Bilderkennung angefahren; der eingesetzte Smart Welder nutzt dabei die gleichen Algorithmen und Funktionen der digitalen Bildverarbeitung wie der Drahtbinder. Toleranzen werden somit kompensiert. Sind diese besonders groß, kann jede einzelne Zellposition per Bilderkennung definiert werden.

Im Falle des betrachteten Demonstratorpacks ist jedoch eine zeitsparende Eckenerkennung des kompletten Packs ausreichend.

Beim Vergleich der Prozesszeiten muss berücksichtigt werden, dass Smart Welding eine Vorpositionierung des elektrischen Verbinders voraussetzt, wohingegen das Beibringen des Verbinders beim Drahtbonds Teil des Prozesses ist. Dies schlägt sich in der Prozesszeit im Wesentlichen in der Ausformung der Loops nieder. Die Kinema-

tiken nutzen im betrachteten Beispiel produktionsnahe Parameter höchster Dynamik auf gleichem Niveau. Die reinen Schweiß- bzw. Bondzeiten können sich natürlich je nach Materialstärke und -qualität unterscheiden. Für den vorliegenden Vergleich wurde eine Zeit von 0,3 s für die Schweiß- und Bondprozesse auf Zellkappe und -schulter angenommen sowie 0,15 s für die Drahtbonds auf der Stromschiene.

Wie in Bild 3 zu erkennen ist, resultiert dies in einer akkumu-

lierten Schweißzeit von 14,4 s für das Smart Welden bzw. von 18,9 s für das Drahtbonds. Für eine Hochvolumenproduktion mit optimierten Parametern und besseren Materialqualitäten ist mit geringeren Zeiten zu rechnen. Im Vergleich zum Drahtbonds durchläuft ein Batteriepack den Smart-Welding-Prozess innerhalb von etwa 61 % der Zeit. Die Verbindungsfläche beträgt bei den 500-µm-Al-Drahtbonds ungefähr 0,5 mm², wohingegen in dieser Smart-Welding-Konfiguration 1,3 mm² große Anbindungen produziert werden (Bild 5).

Das Smart Welding nutzt dabei ebenfalls das Prozessüberwachungssystem PiQC (Process integrated Quality Control), ein etabliertes Verfahren im Drahtbonds, um die Einflussgrößen Frequenz, Reibung, Drahtverformung, Impedanz und die mechanische Schwingung des Bondkeils für jeden Bond in Echtzeit zu überwachen. Um Abweichungen zuverlässig detektieren zu können, wird ein zusätzlicher integrierter Sensor genutzt. Das Ergebnis lässt sich bei der Prozessentwicklung für jeden Bond bzw. jede Schweißstelle individuell gewichten und wird im laufenden Prozess zu normierten Qualitätswerten zusammengefasst. Im Smart-Welding-Prozess wurde bei diesem Battery Pack ein Ausreißer detektiert (s. Bild 6). Zu Demonstrationszwecken wurde die Berechnung der Qualitätswerte für dieses Beispiel extrem sensibel eingestellt, sodass auch die guten Verbindungen Qualitätswerte unter 100 % zeigen.

Zusammenfassung

Smart (Ultrasonic) Welding schließt die Lücke, die bisher zwischen dem klassischen Ultraschallschweißen und dem Drahtbonds herrschte und erweitert die gereiften Funktionalitäten und die Standardisierung des Drahtbonds in höhere Leistungsbereiche für vorgefertigte Verbindungselemente. Da sogar je nach Leistungsklasse beide Technologien auf dem gleichen Equipment möglich sind, wird Anwendern der Schritt beim Technologiewechsel in beide Richtungen erleichtert. Sie profitieren somit nicht nur von der Flexibilität, sondern auch von der Präzision und der Geschwindigkeit des Smart Weldings. ◀

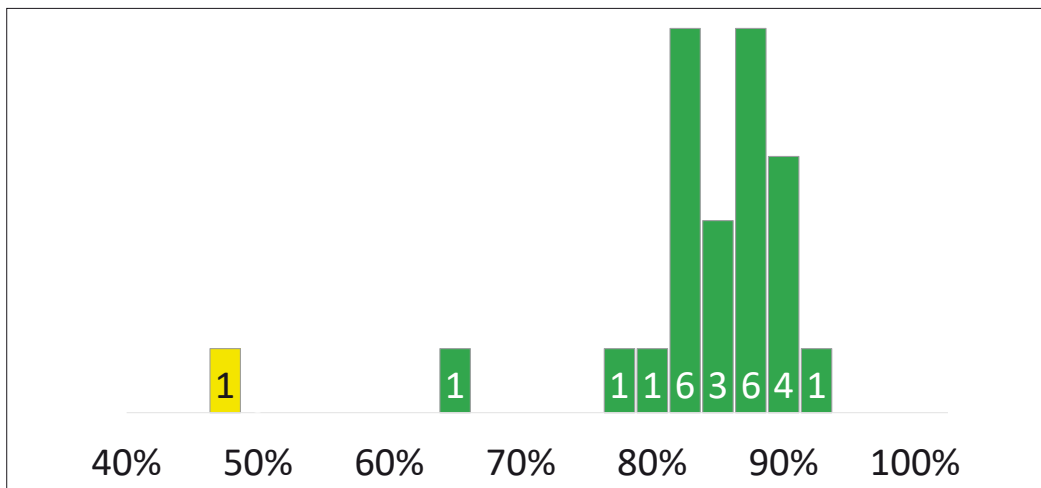


Bild 6: Histogramm der Qualitätswerte aller Schweißpunkte auf den Zellkappen