

Ultraschallschweißen von Metallen

Neue Sonotrodenkonzepte und Ultraschallkonverter für höchste Leistungen

Drahtbonden und Metallschweißen mit Ultraschall

Das Schweißen von Metallen mit Ultraschall ist ein seit Jahrzehnten bekannter Prozess. In der Halbleiterfertigung wurde der Prozess zum Kontaktieren feinsten Aluminium-Mikrodrahte ($\varnothing < 50 \mu\text{m}$) bereits Anfang der 1970er Jahre kommerziell genutzt, und das Ultraschall-Drahtbonden ist aus der modernen Computerfertigung heutzutage nicht mehr wegzudenken.

Während das (Mikro-) Drahtbonden mit Leistungen bis 10 W auskommt, hat sich das Metallschweißen von Kupferkabeln oder -blechen über die Zeit in wesentlich höheren Leistungsbereichen etabliert: Kabelbäume von Kfz oder Solarthermieplatten werden mit Leistungs-Ultraschall mit mehreren Kilowatt (kW) und mit Kräften im Kilonewton-Bereich (kN) verschweißt.

Aktuell erfährt das Metallschweißen mit Ultraschall u.a. deshalb einen Boom, weil in Fahrzeugen mit alternativen Antrieben elektrische Hochstromleiter in unterschiedlichsten Ausprägungen benötigt werden.

Die Schwingungsrichtung

Während für das Ultraschallschweißen von Kunststoffen orthogonal zur Schweißnaht gerichtete Vibrationen benötigt werden, ist zum Schweißen von Metallen eine Tangentialbewegung erforderlich (Bild 1 und Bild 2). Der Grund hierfür ist, dass sich Metalle vorwiegend durch einen reibungsbasierten Kaltschweißprozess verbinden (im Unterschied zu Polymeren, die bei hoher Intensität in der Schweißnaht aufschmelzen).

Für Punktschweißungen kann man die Tangentialbewegung erzeugen, indem man einen Längsschwinger seitlich anstatt stirnseitig auf die Verbindungszone drückt. Üblich ist daneben die Verwendung von Biege- oder Torsionssonotroden, mit denen stirnseitig in tiefliegenden Bereichen geschweißt werden kann.



Bild 1: Leistungsupltraschall-Längsschwinger (Konverter, Booster und Sonotrode). Für das Kunststoffschweißen wird der Prozess stirnseitig angekoppelt, zum Metallschweißen müsste das System seitlich, dicht an der Frontfläche, auf die Schweißzone gedrückt werden.

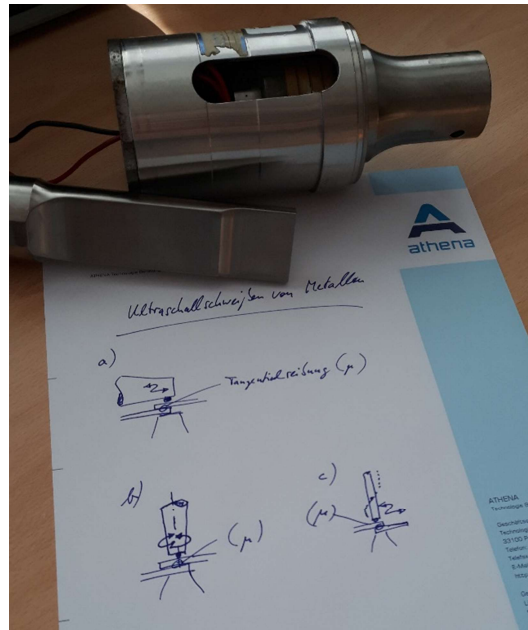


Bild 2: Schwingungskonzepte für das Ultraschallschweißen von Metallen: a) Längsschwinger mit seitlicher Schallauskopplung, b) Torsion, c) Biegung

Die ATHENA-Sonotrode zum Nahtschweißen

Sollen kurze Nähte von mehreren cm Länge (oder mehreren cm^2 Fläche) verschweißt werden, so verwendet man beim Kunststoffschweißen üblicherweise geschlitzte Blocksonotroden, um die Schwingungen gleichmäßig auf eine Kante oder eine Fläche zu verteilen. Zum Ultraschallschweißen von langen Nähten werden gelegentlich sogenannte Rollsonotroden eingesetzt, die entlang der Schweißnaht bewegt werden können. Ihr Aufbau ist allerdings komplex, da sie drehfähig aufgehängt werden müssen.

Beim Metallschweißen gab es für Nähte mittlerer Länge bis vor einigen Jahren eine Lücke im Stand der Technik, da mit den bekannten Sonotroden aufgrund ihrer Schwingungsknoten eine Tangentialschwingung nicht gleichmäßig entlang einer Linie oder Fläche verteilt werden konnte.

Die ATHENA Technologie Beratung GmbH hat hierzu ein neuartiges Sonotrodenkonzept entwickelt, bei dem die geschlitzte Sonotrode im Wesentlichen eine Scherschwingung ausführt, so dass die Unterkante mit überall gleicher Amplitude parallel zum Untergrund schwingt. Dieses Sonotrodenkonzept ist patentiert und wird z.B. zum Ultraschallschneiden seit langem eingesetzt.

Zum Metallschweißen kann die ATHENA-Sonotrode vorteilhaft eingesetzt werden, um mehrere Punktschweißkontakte simultan zu verschweißen (Bild 3). Auch größere Schweißzonen als bisher sind denkbar.



Bild 3: Simultanes Ultraschall-Punktschweißen dünner Metallblechstreifen mit einer ATHENA-Sonotrode (Konzeptstudie). Die Schwingungsrichtung ist horizontal.

Leistungs-Ultraschallkonverter und -sonotroden

Je nach Größe der Kontaktfläche und je nach zu schweißendem Werkstoff werden zum Metallschweißen Hochleistungs-Ultraschallkonverter und Spezialsonotroden benötigt, die in der Lage sind Ultraschalleistungen im kW-Bereich bereitzustellen. Auf diesem Gebiet ist seit einigen Jahren eine erhebliche Entwicklungsaktivität zu beobachten, und es ist derzeit noch nicht absehbar, wo die praktischen Grenzen der wandelbaren Leistungen liegen werden.

Eine Herausforderung, die hier zunehmend in den Fokus rückt ist die Frage der inneren Erwärmung des Konverters. Die Simulation des thermischen Verhaltens (Wärmequellen und Wärmeleitung) kann hier große Optimierungspotenziale aufzeigen.

Ein leistungsfähiger Konverter ist aber nur dann sinnvoll einsetzbar, wenn es gelingt sein Leistungspotential auch in die Schweißzone zu transportieren. Hier spielt das Konzept der Sonotrode eine entscheidende Rolle, damit das System nicht bei hohen Kräften blockiert.

Die Auslegung muss angepasst an die nichtlinearen Reibprozesse erfolgen, die in der Kontaktzone stattfinden. Material und Form müssen zudem so gewählt werden, dass der oft erhebliche Verschleiß beherrschbar bleibt.

Unser Angebot

Wir berechnen und entwerfen Konverter für hohe Leistungen für das Ultraschallschweißen, bauen diese als Prototypen in Kleinststückzahlen auf und vermessen ihr Schwingungsverhalten mittels spezieller Lasermesstechnik.

Durch kombinierte Simulationen des elektromechanischen Schwingungsverhaltens mit thermischen Simulationen können wir für Sie das Erwärmungsverhalten genau analysieren.

Der Entwurf innovativer Sonotroden für hohe Leistungen (Längs-, Biege- und Torsionssonotroden) und deren Abstimmung auf die hohen Prozesskräfte, die beim Ultraschallschweißen von Metallen auftreten, ist bei uns ebenfalls in guten Händen.

Weiterhin können wir mit Hilfe spezieller Lasermesstechnik Schwingungsanalysen während des Schweißens durchführen. In Kombination z.B. mit Messungen elektrischer Signalverläufe ergibt sich damit die Möglichkeit zu einer effizienten Prozessanalyse.

Wir unterstützen Sie gern bei der Integration in Ihr Maschinenkonzept.

Kontakt

Autor: Dr.-Ing. Walter Littmann, Leiter der Technischen Entwicklung der ATHENA Technologie Beratung GmbH



ATHENA
Technologie Beratung GmbH
Technologiepark 13
33100 Paderborn

Tel.: +49-52 51-3 90 65 62
Fax: +49-52 51-3 90 65 63

E-Mail: info@myATHENA.de
<http://www.myATHENA.de>