

Der Nettowert des Ultraschall-Metallschweissprozesses

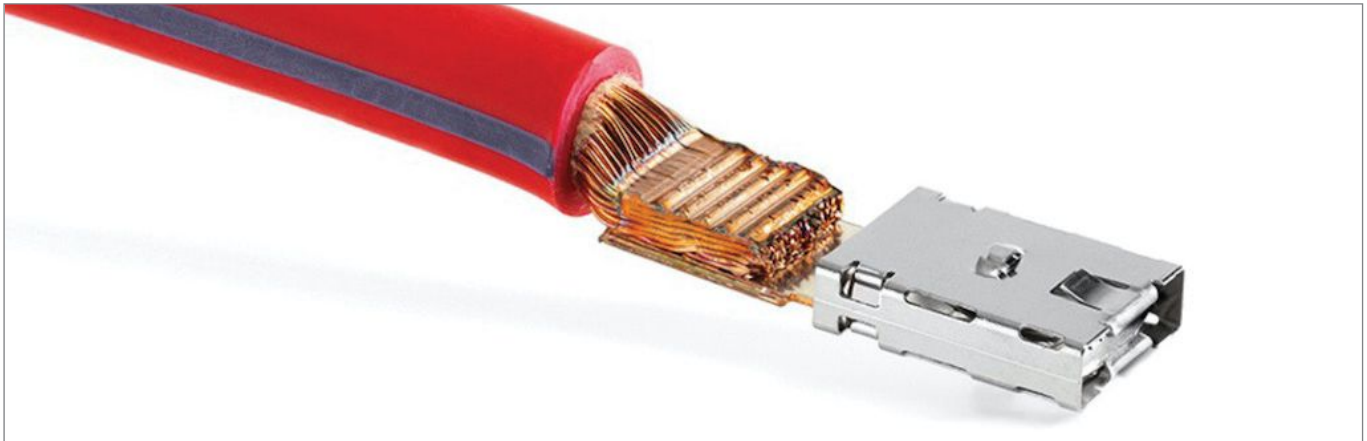
KUNSTSTOFFSCHWEISSEN

METALLSCHWEISSEN

SCHNEIDEN

REINIGEN

SIEBEN



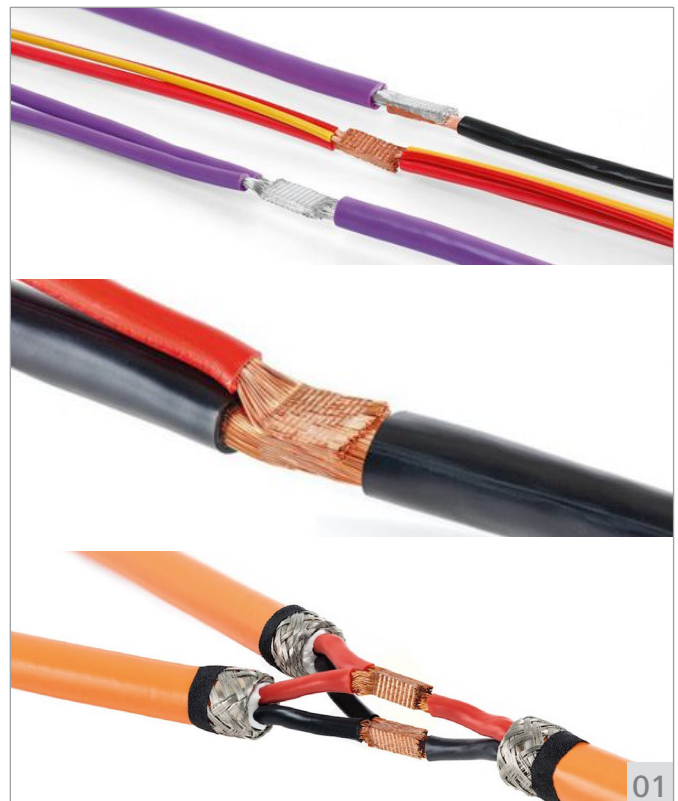
Bronschhofen (CH), 08/2023

Bei der Entscheidung für eine Metallverbindungstechnik gibt es viele Faktoren zu berücksichtigen, darunter die materiellen und immateriellen Eigenschaften. Je nach Applikation variieren die Investitionen aufgrund der Ausführung der Fügeverbindung, der zu schweisenden Materialien, der geometrischen Formen, Abmessungen und Grössen, der Umwelteinflüsse sowie der mechanischen und elektrischen Integrität, die das jeweilige Produkt erfordert. Es ist nicht möglich, in einem einzigen Artikel auf alle Fügeapplikationen einzugehen. Daher konzentrieren wir uns auf Kabelbäume und Produkte für die Automobilindustrie, um die Unterschiede beim Crimping, Löten, Ultraschall-, Laser- und Widerstandsschweissen zu verdeutlichen.

In manchen Fällen ist das Ultraschallschweissen die einzige Lösung oder gar nicht möglich. Unabhängig davon, wie viele Variablen bei der Auswahl des Fügeverfahrens berücksichtigt werden, scheint das Ultraschallschweissen langfristig eine bessere Kapitalrendite zu bieten als alle anderen brauchbaren Verfahren.

Die Erstinvestition in Ultraschallschweissgeräte ist im Vergleich zu anderen Schweissprozessen wie Widerstandsschweissen, Crimping und mechanischem Fügen höher, aber niedriger als bei Laserschweissgeräten. Warum also wird vorwiegend diese Technologie für die Herstellung von Kabelbäumen genutzt und warum ist sie für EV- und HEV-Batterien sowie die Stromverteilung unverzichtbar geworden? Das Ultraschallschweissen von Buntmetallen ist seit Jahrzehnten eine bewährte Technologie. Seit den frühen 1980er Jahren dominiert das Ultraschall-Metallschweissen jedoch die Automobilindustrie, wobei die Hersteller von Kabelbäumen der grösste Einzelanwender dieser Technologie sind (Abbildung 1). Aufgrund seiner Effizienz und unschlagbaren Qualität hat das Ultraschallschweissen das mechanische Crimping und Widerstandsschweissen bei allen Automarken fast sofort nach seiner Einführung ersetzt. Die Anwendung des Ultraschallschweissens bei Kabelbäumen in der Automobilindustrie hat in den letzten zehn Jahren aufgrund der Zunahme von Elektrofahrzeugen (EVs) ein noch schnelleres Wachstum erfahren.

Die innovative und branchenverändernde Technik von Telsonic des torsionalen Schweissens hat in grossem Masse zu diesem rasanten Wachstum beigetragen, da sie als einzige in der Lage ist, Herausforderungen wie die Grösse der Schweissnaht, das Schweissen in kleineren Bereichen, geometrische Formen, das Erreichen des Nahtbereichs, die Ausrichtung der Schweissung und die Auswirkungen von Schwingungen auf periphere Komponenten zu meistern.



01 Konventionelle Ultraschallschweiss-Applikationen für Kfz-Kabelbäume

Ein durchschnittlicher Kabelbaum enthält 180 Knoten und diese Zahl steigt mit jedem Modelljahr eines Fahrzeugs. Erstausrüster statten ihre Fahrzeuge mit immer mehr elektronischen Funktionen aus, die eine grössere Anzahl an Knoten erfordern. Die Knoten und Litzenanschlüsse bilden zusammen einen langen und komplexen, schweren Kabelbaum, der das gesamte elektrische System im Fahrzeug steuert. Das Litzenschweissen war schon immer ein Schwerpunkt bei der Herstellung von Kabelbäumen, da die Verarbeitung von Litzen sehr arbeitsintensiv ist. Die Industrie nutzt immer noch das Crimping oder Widerstandsschweissen für Applikationen wie das Crimping kleiner Litzen oder das Herstellen von Zinnlitzenverbindungen. Im Allgemeinen ist das Ultraschallschweissen nicht für verzinnzte Teile oder harte Materialien wie Stahl geeignet. An dieser Stelle kommen das Widerstands- oder Laserschweissen ins Spiel. Ultraschallschweissen ist die beste Option für das Verschweissen von Aluminium mit einem anderen Buntmetall. Aufgrund seiner Kaltschweisbarkeit lässt sich Aluminium gut verschweissen, ohne zu schmelzen oder wesentlich durch die Hitze beeinträchtigt zu werden. Die Vorteile des Ultraschallschweisens gelten für wärmeleitende Materialien wie Aluminium, Kupfer und Magnesium, die sich mit Widerstandsschweisgeräten und Lasern nur schwer schweissen lassen. Das Ultraschallschweissen bietet sich auch an, um ein dünnes Material mit einem dicken Material zu verbinden. Ist eine minimale Beeinträchtigung der Materialeigenschaften durch Wärme erforderlich, ist das Ultraschallschweissen oft der beste Schweißprozess.

Das Litzenschweissen ist ein hervorragendes Beispiel, um einige der Fügeprozesse bei der heutigen Herstellung von Kabelbäumen zu beurteilen. Hersteller nutzten jahrelang das Crimping-Verfahren, bevor das Schweissen eine praktikable Option wurde. Einige Erstausrüster verwendeten zum Crimping der Litzen nur den Clip. Manche nutzten zusätzlich das Eintauchen in ein Lötbad, um die elektrische Integrität zu gewährleisten. Das hatte den Nachteil, dass zusätzliches Material (viele verschiedene Grössen von Clips), Platz für spezielle Pressen und Lötkenntnisse

erforderlich waren und die Einzeldrähte durch die mechanische Beanspruchung und die Wärme von Clip und Lötzinn beeinträchtigt wurden. Daher wurde das Schweissen von Litzen sehr beliebt, angefangen mit dem Widerstandsschweissen, auf das die Einführung des Ultraschallschweisens folgte. Das Ultraschall-Metallschweissen als Kaltschweisprozess ist dank seiner Fähigkeit, Oxidation vor dem Schweissen zu beseitigen, der Verarbeitbarkeit unterschiedlicher Metalle, des sehr geringen Energieverbrauchs und der Möglichkeit, eine Vielzahl von Knotengrössen mit einer Maschine und demselben Universalwerkzeug zu schweissen, zu einem weltweit akzeptierten Verfahren für das Litzenschweissen mittels Ultraschall geworden. Es dauerte einige Jahre, bis sich die Hersteller von Kabelbäumen mit dem Verfahren vertraut gemacht und die Technologie übernommen hatten. Einige sind vom Crimping auf das Ultraschallschweissen umgestiegen, andere haben das Widerstandsschweissen verwendet, bevor sie zum Ultraschallschweissen gewechselt sind. Ultraschallschweisgeräte boten Vorteile gegenüber anderen Fügeverfahren, die auch heute noch gültig sind.

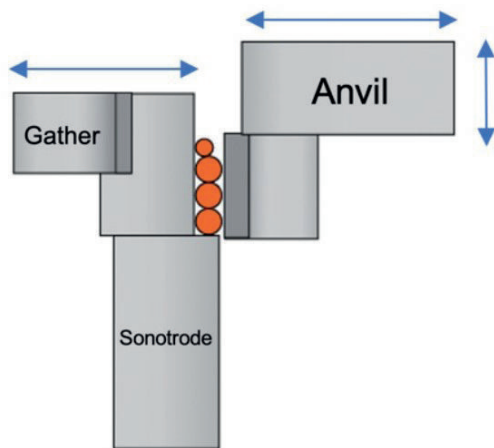
Bei der Entwicklung der Schweisstechnik in den letzten 30 Jahren waren Qualität und Zuverlässigkeit immer die entscheidenden Faktoren. Die Kapitalrendite war leicht zu rechtfertigen – ultraschallgeschweisete Verbindungen ermöglichen eine längere Lebensdauer der Fahrzeuge. Heutzutage treffen die meisten Merkmale in der untenstehenden Vergleichstabelle (Tabelle 1) auch auf andere Metallschweißapplikationen wie z. B. Litzen mit Kontaktteilen, Kontaktteile mit Kontaktteilen und Stromschienen zu.

Diese Vergleichstabelle zeigt die Vorteile der einzelnen Verfahren sowie die direkten und indirekten Betriebskosten. Es gibt viele Fälle, in denen ein Fügeverfahren eindeutig die bessere oder sogar die einzige Option ist. Berücksichtigen Sie die Merkmale in der folgenden Tabelle, wenn Sie sich zwischen mehreren Fügeoptionen entscheiden müssen.

Merkmale	Ultraschall	Widerstand	Crimping	Löten	Laser
Kaltschweisprozess	ja	nein	nein	nein	nein
Verbrauchsmaterialien benötigt	nein	nein	ja	ja	nein
Verbinden unterschiedlicher Materialien	ja	begrenzt	ja	begrenzt	begrenzt
Dauerhaftigkeit der Verbindung	ausgezeichnet	gut	mässig	gering	gut
Mechanische Festigkeit	hoch	hoch	mässig	niedrig	mässig
Elektrische Leitfähigkeit	ausgezeichnet	gut	mässig	niedrig	gut
Änderung der Materialeigenschaften	unverändert	verändert	unverändert	verändert	verändert
Stromverbrauch	niedrig	hoch	niedrig	mässig	mässig
Prozesszeit	kurz	kurz	kurz	lang	kurz
Wärmeentwicklung	niedrig	hoch	niedrig	hoch	hoch
Einfluss von Oberflächenbeschaffenheit	mässig	mässig	ja	ja	ja
Qualitätskontrolle, Konsistenz	hoch	niedrig	mässig	sehr niedrig	mässig
Arbeitssicherheit (Dämpfe, elektrischer Schlag)	gut	niedrig	gut	niedrig	gut
Standzeit	hoch	niedrig	hoch	mässig	hoch
Qualifizierter Bediener erforderlich	nein	nein	nein	ja	ja
Einfache Automatisierung	begrenzt	begrenzt	gut	nein	begrenzt
Instandhaltungsanforderungen	niedrig	hoch	niedrig	niedrig	hoch

Gleichzeitig müssen die Betriebs-/Instandhaltungskosten pro Verbindung validiert werden, wobei die Qualität oberste Priorität hat. Hier sind einige der Faktoren, die bei der Auswahl eines Fügeverfahrens zu berücksichtigen sind:

- Erstinvestition und -volumen
- Ausstossrate
- Verbrauchsmaterial
- Stromverbrauch –
Ultraschallschweißen erfordert 5 % des Stromverbrauchs beim Widerstandsschweißen
- Zusätzliche Infrastruktur wie Wasserkühlung, Belüftung und zusätzliche Stromanlagen
- Erforderliche Stellfläche für Geräte
- Umrüstungsdauer
- Rüstzeit für jede Applikation
- Lebensdauer der Werkzeuge und ihr Einfluss auf die Qualität (Abbildung 02)



02

02 Werkzeuge für das Ultraschall-Litzenschweißen (normalerweise über 200'000 Schweißungen)

Vorteile des Ultraschall-Metallschweißens

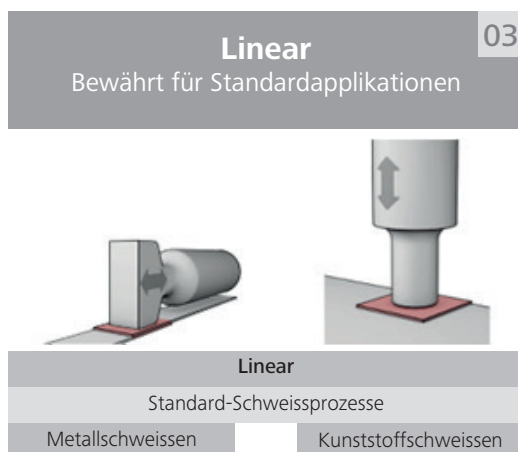
- Niedrigtemperaturverfahren beeinträchtigt die Materialeigenschaften nicht
- Rein metallurgische Verbindung für viele Nichteisenwerkstoffe
- Fähigkeit zum Schweißen ungleicher Materialien
- Keine Verbrauchsmaterialien wie Clips oder Lötzinn
- Umweltfreundlicher Prozess
- Gleichbleibende Schweißnahtqualität, mechanische und elektrische Eigenschaften
- Schnelle Zykluszeit
- HMI-freundlich
- Bediener-sicherheit ohne Dämpfe oder Chemikalien wie Blei

Der Prozess

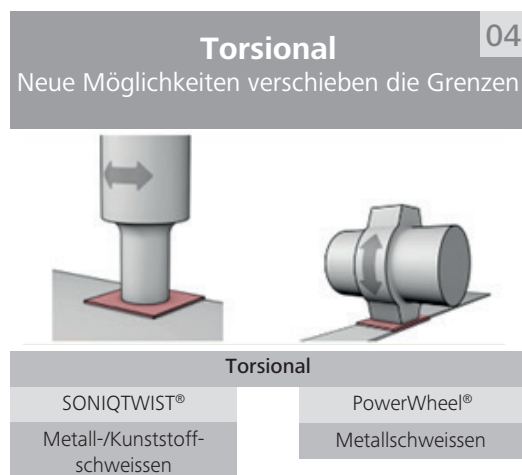
Es gibt zwei Arten von Ultraschallschweißprozessen für Metall und Kunststoff. Das lineare Schweißen ist die gängigere Technik, die von Herstellern als Standardverfahren zum Verbinden von Litzen verwendet wird (Abbildung 3).

Das von Telsonic entwickelte torsionale Schweißen kam vor über einem Jahrzehnt auf den Markt. Das Verfahren des torsionalen Schweißens kann für die meisten gängigen Applikationen des linearen Schweißens verwendet werden. Aufgrund seiner einzigartigen Fähigkeiten hat es jedoch bestimmte Vorteile in Bezug auf die geometrische Form der Applikation und den schonenden Prozess, was zu einem breiteren Spektrum an Applikationen auf dem Markt führt. Tatsächlich ist diese Technologie manchmal die einzige Lösung für Hersteller von Elektroauto-Batterien und für den Abschluss von Hochspannungskabeln (Abbildung 4). Andere Beispiele, bei denen sich das torsionale Ultraschallschweißen als die überlegene Methode erweist, sind Stromschienen, 3D-Kontaktteile und Bipolartransistoren mit isolierter Gate-Elektrode (IGBT).

Ultraschall-Schweisstechniken



Linear	
Standard-Schweißprozesse	
Metallschweißen	Kunststoffschiessen



Torsional	
SONIQTWIST®	PowerWheel®
Metall-/Kunststoffschweißen	Metallschiessen

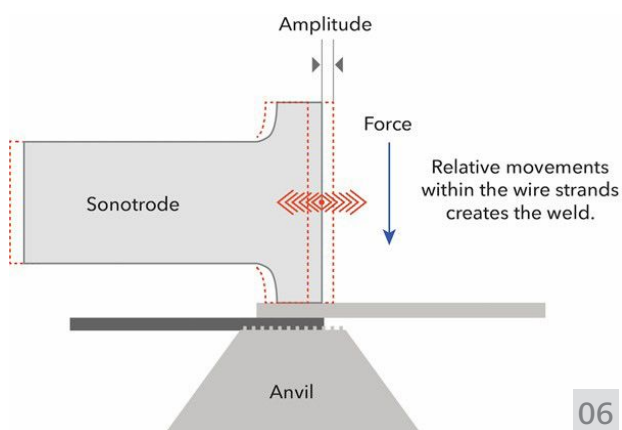
03 Aktuelle Beispiele von EV-Applikationen für das Ultraschallschweißen
04



05 Beispiele für Ultraschallschweiß-Anwendungen für die Automobilindustrie

Wie es funktioniert:

Die Litzen werden zwischen dem schwingenden/anschwingenden Werkzeug (Sonotrode) und dem Ambossblock gestapelt. Sie werden an einer vorgegebenen Stelle eingespannt, bevor die statische Kraft durch den Amboss aufgebracht wird. Während der Anschwingung erhitzen sich die Metalloberflächen und werden weich, und die Einzeldrähte werden verbunden, indem sie auf molekularer Ebene miteinander verschmelzen (Abbildung 6). Das Ergebnis ist eine durchgehende Schweißung mit einem feinkörnigen Gefüge, das der Struktur von kaltverformten Metallen ähnelt. Der gesamte Prozess ist sehr schnell und Schweißungen werden in der Regel im Bruchteil einer Sekunde fertiggestellt. Die meisten heute gebräuchlichen Schweißgeräte werden mit einer Frequenz von 20KHz mechanischer Schwingung betrieben. Durch die Schwingung unter der Kraft werden Verunreinigungen abgetragen und das Kalttreibschweißen in Gang gesetzt, bis die Verbindung hergestellt ist. Der Temperaturanstieg des geschweißten Materials beträgt aufgrund der Reibungskraft an der Schweißstelle weniger als 30%. Daher kommt es zu keiner Aushärtung des Litzenmaterials, die die Einzeldrähte im Schweißübergangsbereich spröde macht. Das ist einer der vielen Vorteile gegenüber dem Widerstandsschweißen, bei dem das Material zum Herstellen der Schweißlinse geschmolzen wird.



06 Die Schwingung und Bewegung beim linearen Ultraschall-Metallschweißen

Grundlegende Schweißparameter und -variablen

Auch das Litzenschweißen mit Ultraschall hat sich in der Praxis als hochwertig und sicher erwiesen. Da die Schweißparameter für jede Applikation angepasst und überwacht werden können, ist dies nun auch in Umgebungen der Industrie 4.0 möglich.

Schweißparameter:

Neben dem Zustand der Schweißwerkzeuge und den Abmessungen, die immer vorgegeben sind, müssen vier Schweißparameter eingestellt werden. Diese Parameter werden normalerweise durch eine Vorgabe der Maschinensteuerung festgelegt, um die Qualifizierung der Schweißqualität zu beginnen.

- Schweißnahtbreite: Wird von der Maschine eingestellt
- Schweißenergie: Die festgelegte Anzahl von Wattsekunden, die zur Fertigstellung der Schweißung abgegeben werden müssen
- Amplitude: Die Anschwingung, die bis zu 100% der Kapazität der Sonotrode eingestellt werden kann
- Einstellung der Druckkraft: Zum Festlegen der Schweißkraft

Qualitätsvariablen:

Um den Prozess beim Schweißen mit festgelegter Energie auf die beste Qualität auszulegen, werden die folgenden Variablen gemessen und mit den oberen und unteren zulässigen Grenzen verglichen, die von der Maschine oder dem Benutzer festgelegt wurden.

- Schweißdauer (Dauer des Schweißvorgangs)
- Verdichtungshöhe vor Beginn des Ultraschallschweißens
- Endgültige Schweißnahthöhe
- Stromverbrauch

