

Metallschweissen mit Ultraschall

Ein Einblick in diese flexible und leistungsstarke Technologie

KUNSTSTOFFSCHWEISSEN

METALLSCHWEISSEN

SCHNEIDEN

REINIGEN

SIEBEN



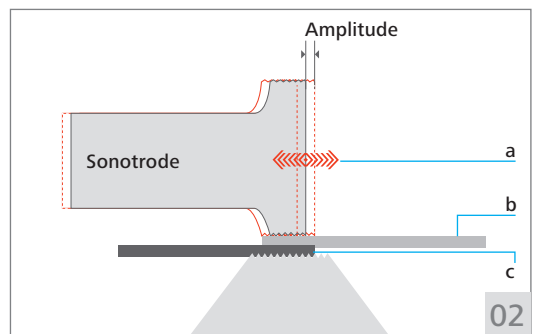
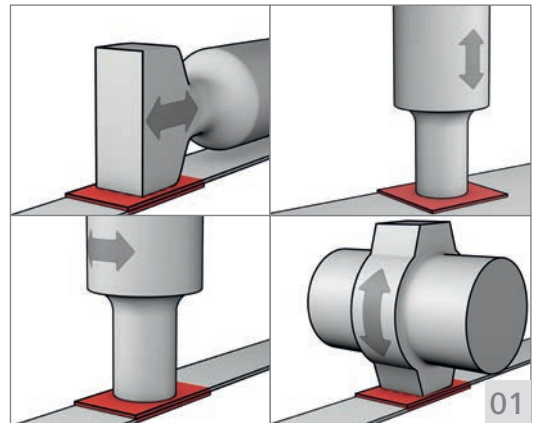
North Billerica (USA), 11/2022

Es ist eine natürliche Entwicklung, dass die Ultraschalltechnologie als Technologie, die seit Jahrzehnten in vielen Industriezweigen zum Schweißen und Verbinden eingesetzt wird, auch bei vielen der Stecker- und Kabelbaumkomponenten für Hybrid- und vollelektrische Fahrzeuge schnell zum bevorzugten Verfahren für Metallschweissanwendungen wird. Da der Einsatz von Ultraschall beim Metallschweissen immer mehr in den Vordergrund rückt, erläutert Greg Ruscak, Anwendungsmanager bei Telsonic in Boston, in diesem informativen Artikel die Prinzipien, Methoden, Vorteile und vor allem die Faktoren, die die Schweißqualität beeinflussen.

Technologie-Übersicht auf einen Blick

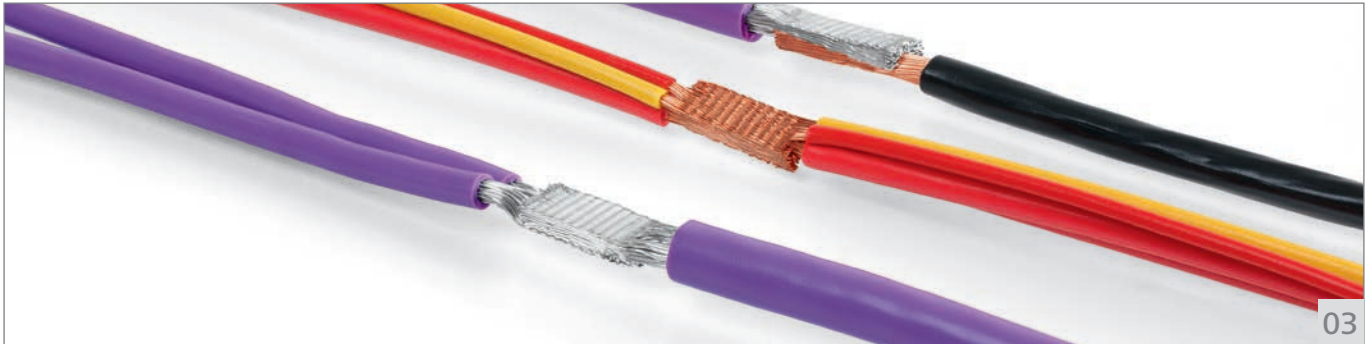
Telsonic hat vier verschiedene Ultraschallschweißverfahren entwickelt, zwei lineare und zwei torsionale Schweißverfahren, die für eine breite Palette von Kunststoff- und Metallschweissanwendungen eingesetzt werden können. Die linearen Verfahren werden entweder horizontal oder vertikal durchgeführt. Die torsionalen Verfahren sind einzigartig für Telsonic und bekannt unter den Namen SONIQTWIST® und PowerWheel®.

Es ist wichtig, die Prinzipien der verschiedenen Prozesse zu verstehen und auch die Vorteile zu erkennen, die jeder Prozess mit sich bringt. Das untenstehende Diagramm veranschaulicht die Grundprinzipien des linearen Schweißverfahrens. Während sich die Sonotrode hin und her bewegt, was als Amplitude bezeichnet wird, bewegt sich das zu schweisende Teil auch über das untere Teil, das fest im Amboss eingespannt ist. Der Begriff Amplitude beschreibt das Ausmass der Längsausdehnung und -zusammenziehung der Sonotrode. Die Amplitude korreliert mit der Schruppwirkung an der Grenzfläche der Schweißnaht. Diese Schruppbewegung in Verbindung mit Druck ist für die Schweißung verantwortlich. Der lineare Schweißprozess kann in horizontaler Lage – wie abgebildet – oder in vertikaler Lage durchgeführt werden. Das lineare Ultraschallschweißverfahren erfüllt viele der Anforderungen beim Metallschweissen



01 Von oben links nach unten rechts – Linear horizontal, Linear vertikal, SONIQTWIST® und PowerWheel®

02 a. Relativbewegungen innerhalb der Litze und in Richtung des Kontaktteils bewirken den Schweißprozess
b. Der zu schweisende Teil bewegt sich mit der Sonotrode (im Schweißbereich)
c. Der untere Teil ist fest mit dem Amboss verbunden und darf sich nicht bewegen



03

und ist in der Lage, ungleiche Metalle zu verbinden. Die resultierenden Schweissnähte haben eine sehr gute elektrische Leitfähigkeit und sind stabil, ohne strukturelle Veränderungen des Grundmaterials.

Das SONIQTWIST® Torsionsschweissverfahren von Telsonic eröffnet zusätzliche Möglichkeiten und Anwendungen. Dieser einzigartige Prozess führt zu minimalen linearen Schwingungen im Teil – eine wichtige Eigenschaft bei Anwendungen, in denen Sensoren oder andere elektronische Bauteile vorhanden sein können. Zu den weiteren Vorteilen dieser Methode gehört, dass sie auch bei Anwendungen mit eingeschränktem Zugang erfolgreich eingesetzt werden kann und dass sie schnelle Prozesszyklen ermöglicht. SONIQTWIST® kann für das Schweißen sowohl von Kunststoffen als auch von Metallen verwendet werden. Bei Anwendungen mit Folien oder Filmen wird durch die Verwendung von SONIQTWIST® die Möglichkeit eines „Membran“- oder Welleneffekts auf der Oberfläche ausgeschlossen. (Siehe Abbildung 01a auf Seite 1)

Bei Metallschweissanwendungen mit grossen Kabeldurchmessern, grossen Kontaktteilen oder Rohrkabelschuhen und beim Schweißen von Kontaktteil zu Kontaktteil bietet die PowerWheel® Technologie von Telsonic die optimale Lösung. PowerWheel® bietet eine hervorragende Zugänglichkeit zur Schweisszone und ist in der Lage, bis zu 200mm² Kupfermaterial zu schweißen und dabei bis zu 30 % schmalere Schweissnähte zu erzielen. Dieses Verfahren verbessert auch die Verdichtung des Drahtes erheblich und liefert eine hervorragende Schweissnahtfestigkeit. (Siehe Abbildung 01b auf Seite 1)

Faktoren, die die Schweissnahtqualität beeinflussen

Auswahl der Materialien

Es gibt eine Vielzahl von Faktoren, die sich auf die Qualität der Schweissnähte auswirken. Dazu gehören die zu verbindenden Materialien, die Oberflächenbeschaffenheit, die verwendeten Schweissparameter und -geräte, das Design des Werkstücks und natürlich auch der Einfluss durch den Menschen. Die Metallarten, die sich am besten für das Ultraschallschweißen eignen, sind Aluminium und Kupfer. Im Allgemeinen gilt: Je reiner das Material, desto besser ist es für das Ultraschallschweißen geeignet. Jedoch können nach einer Bewertung bleifreies Messing (z. B. Ms63, CuZn37), Neusilber und Bronze (bis zu 8.5% Sn) in Abhängigkeit von der jeweiligen Legierung in Betracht gezogen werden. Darüber hinaus sind auch Gold-, Silber- und Nickelbeschichtungen auf einem Kupfersubstrat bei bestimmten Parametern für das Ultraschallschweissverfahren geeignet.

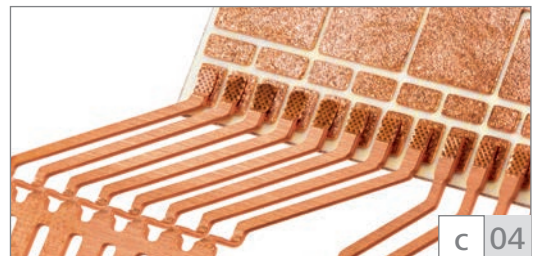
Bei Nickel (Ni) sollte die Schichtdicke zwischen 3 und 12 µm liegen, wobei das chemische stromlose Verfahren zu bevorzugen ist und weniger als 1 % Phosphor vorhanden sein sollte. Silber (Ag)-Beschichtungen sollten idealerweise eine Dicke zwischen 3 und 5 µm auf einer Nickel (Ni)-Basis haben, und die Oberfläche sollte glatt und fein oder wenn möglich poliert sein. Gold (Au) sorgt für eine gute Schweissbarkeit. Der Beschichtungsprozess sollte als letzter Schritt nach dem Stanzen oder Biegen durchgeführt werden. Beim Ultraschallschweißen von Aluminium ist es wichtig, dass es einen Reinheitsgrad von mindestens 99.5 % aufweist und nicht eloxiert, hart-eloxiert oder in irgendeiner Weise beschichtet ist.



a 04



b 04



c 04

03 Drahtspleisse von Kupfer-Aluminium-Kombinationen

04 Beispiele für SONIQTWIST® Anwendungen sind (a): An den Stromanschluss geschweisster Bolzen, (b): Hermetisch abgedichtete Metall Dosen und (c): Elektrische Verbindung an IGBT

Oberflächenbeschaffenheit

Weitere Faktoren, die mit dem Material zusammenhängen und die Qualität des Schweissprozesses beeinträchtigen können, sind das Vorhandensein von Extraktionsölen und Zusatzstoffen, die sich negativ auf die Qualität der Schweissnaht auswirken. Fertigungsprozesse, die vor dem Schweißen durchgeführt wurden, wie z. B. Stanzen, Walzen oder Laserschneiden, können zu einer Verhärtung des Materials führen und sich wiederum negativ auf den Ultraschallschweißprozess auswirken. Ausserdem sind raue oder unebene Oberflächen, Oberflächen, die oxidiert oder mit Blei oder Zinn beschichtet sind, sowie Oberflächen, die Füllstoffe enthalten, nicht für das Ultraschallschweißen geeignet.

Es ist auch wichtig, dass die Spezifikationen des verwendeten Materials einheitlich sind und dass Sie sich darüber im Klaren sind, dass Material von verschiedenen Lieferanten so unterschiedlich sein kann, dass dies den Schweissprozess beeinträchtigt.

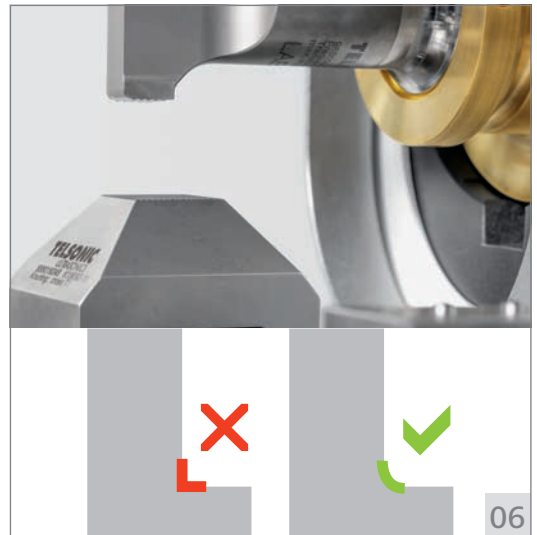
Werkstück-Auslegung & -Einrichtung

Wie bei jedem Herstellungsprozess gibt es eine Reihe von Bereichen, die überprüft werden müssen, sowohl in Bezug auf die Auslegung der Komponenten als auch auf die Prozesseinrichtung, um effiziente und konsistente Ergebnisse beim Ultraschallschweißen zu gewährleisten.

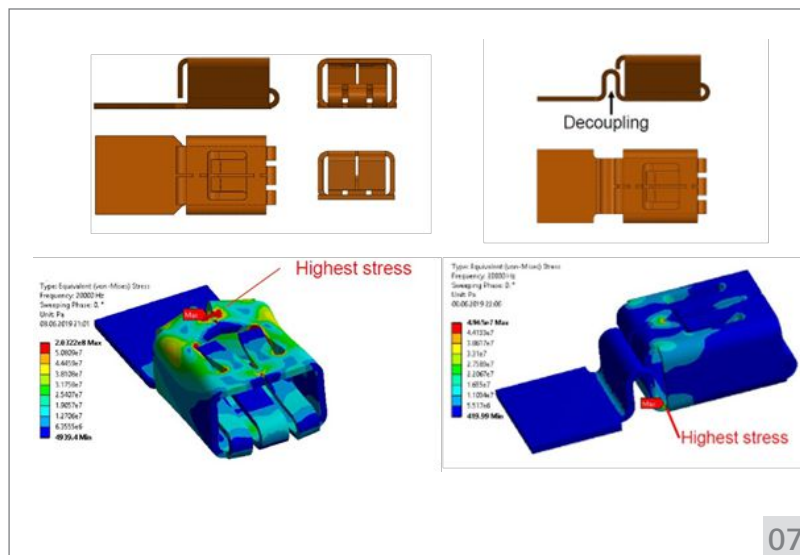
Bei der grundlegenden Einrichtung ist es wichtig, dass der Amboss direkt unter dem Schweissbereich platziert wird. Es ist auch wichtig, dass sowohl der Amboss als auch die Sonotrode gerändelt sind. Beim Schweißen von Kontaktteilen spielt die Kraft, die das Kontaktteil zurückhält, eine wichtige Rolle für die Qualität der Schweissnaht.



05



06



07

- 05 Die Beschaffenheit der Oberfläche des Materials wirkt sich auf die Qualität des Schweissvorgangs aus
- 06 Designrichtlinien Kontakt
- 07 Das ursprüngliche Design – LINKS führte zu hohen Belastungen und Ausfällen. – RECHTS Das Entkoppelungsdesign von Telsonic beseitigte das Problem

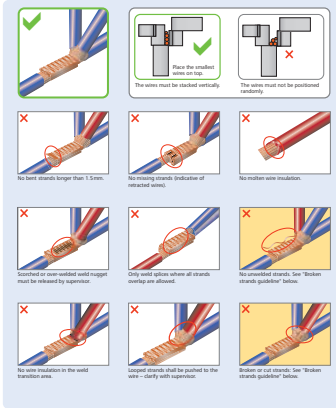
Kontaktteile sollten nur kleine oder vorzugsweise gar keine überstehenden Flächen aufweisen. Ein weiteres Merkmal, das beachtet werden muss, ist, dass der Kontakt keine scharfen Ecken oder Kanten haben sollte.

Wie wichtig es ist, dass die Komponente korrekt ausgelegt wurde, wird anhand des folgenden Beispiels illustriert. Dies zeigt die reale FEM-Simulation eines Kontakts mit einer harten Kupplung, bei der die falsche Konstruktion des Kontaktteils zu Ausfällen führte. Ein Kupferdraht wurde in Längsrichtung auf die Kontaktfläche geschweisst, und die Ultraschallschwingungen wurden auf den Steckerkontakt übertragen, der dadurch stark belastet wurde.

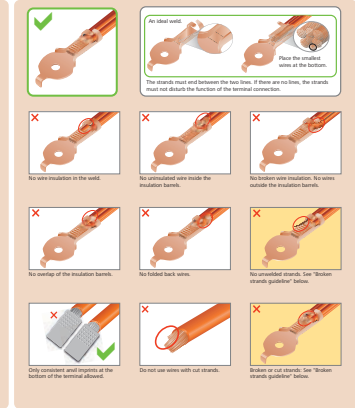
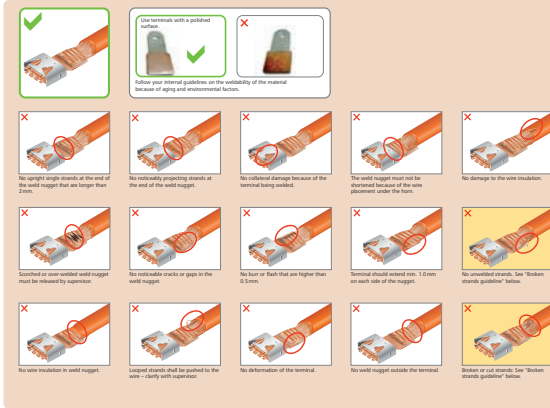
Durch die Einbeziehung von Telsonic in den Designprozess wurde das Bauteildesign optimiert, indem der Steckerkontakt von der Schweissfläche entkoppelt wurde. Das bedeutete, dass nur noch wenige Schwingungen auf den Kontakt übertragen wurden, wodurch die zuvor festgestellten Schäden beseitigt wurden.

Ultrasonic Metal Welding – Quality Guidelines

Ultrasonic Wire Splicing

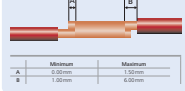


Ultrasonic Wire Termination



WELD QUALITY GUIDELINE

Critical dimension of a welded splice nugget



BROKEN STRANDS GUIDELINE

Maximum allowed broken or missing strands for splicing or termination in production

Strands of cable	Broken or missing strands
1-7	0
8-19	1
20-29	2
30 or more	max 5% of total strands in splice

TENSILE TEST METHODS & VALUES

SPLICING

Copper wire

WIRE SIZE (AWG)

20 22 24 26 28 30

2.0 1.5 1.0 0.7 0.5 0.3

0.25 0.20 0.15 0.12 0.10 0.08

0.15 0.12 0.10 0.08 0.06 0.05

0.04 0.03 0.02 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

Splicing tensile test setup

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Termination tensile test setup

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

Pull test

TERMINATION

Copper wire

WIRE SIZE (AWG)

20 22 24 26 28 30

2.0 1.5 1.0 0.7 0.5 0.3

0.25 0.20 0.15 0.12 0.10 0.08

0.15 0.12 0.10 0.08 0.06 0.05

0.04 0.03 0.02 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01

(Bewegung) während des Schweisszyklus zu initiieren und aufrechtzuerhalten, ist definiert als: $P \approx C \times F_o \times A \times f$, mit C =Vordefinierte Konstante, P =Leistung (Watt), F_o =Kraft (Newton), A =Amplitude (Mikrometer), f =Frequenz (Hz).

***Hinweis:** Die Kraft wird durch Multiplikation ermittelt:

$Kraft = \text{Angewandte Abwärtskraft} \times \text{Reibungskoeffizient} = \text{Druck} \times \text{Zylinderfläche} \times \text{Reibungskoeffizient}$

Die Energie wird wie folgt berechnet: $E = P \times T$, mit E =Energie (Joule), P =Leistung (Watt), T =Zeit (Sekunden).

Daher würde der komplette „Weld to Energy“-Prozess wie folgt definiert werden: $E \approx 4 \times F_o \times A \times f \times T$

Ein gut ausgelegtes Ultraschall-Metallschweissystem kompensiert die normalen Schwankungen in der Oberflächenbeschaffenheit der Metalle, indem es den angegebenen Energiewert liefert. Dies wird dadurch erreicht, dass sich die Zeit (T) an den Zustand der Materialien anpasst und die gewünschte Energie liefert.

Faustformel für das Anwendungsdesign beim Schweißen von Kupfer und Aluminium

	Kupfer	Aluminium
Leistung*: Schweissnahtfläche [mm ²] × Leistung [W/mm ²]	33 W/mm ²	24 W/mm ²
Kraft**: Schweissnahtfläche [mm ²] × Kraft [N/mm ²]	20 N/mm ²	15 N/mm ²
Amplitude***: @ 90 % Generator-Ausgangsleistung	30 µm	24 µm
Zugkraft (Schweißen zwischen Draht und Kontaktteil)	Abhängig vom Material. USCar 38-1 dient als Richtlinie	

Um Toleranzen und Anwendungsschwankungen auszugleichen, sollten Sie bei den Berechnungen die folgenden Sicherheitsmargen berücksichtigen:

* Auslegen auf max. 80 % der Generator-Schweisleistung

** Auslegen auf max 90 % der nominalen Schweisskraft

*** Auslegen auf min 80 % bis max 90 % der Generator-Ausgangsamplitude

09 Die Infografik oben zeigt die verschiedenen Schweißsmodi, Parameter und Ergebnisse beim Ultraschallschweißen von Metallen

Definition und Kontrolle des Schweissprozesses

Die folgende Infografik zeigt die verschiedenen Schweißsmodi, Parameter und Ergebnisse beim Ultraschallschweißen von Metallen.

Schweißsmodi wählen Sie 1 von 3		Schweißparameter es werden 3 benötigt, abhängig vom Modus		Schweißresultate Sie sollten immer 6 Resultate erhalten	
	Zeit		Schweißzeit [s]		Schweißzeit [s]
	Energie		Energie [J, Ws]		Energie [Ws]
	Weg abs/diff		Weg [mm]		Weg absolut [mm]
					Weg differenziell [mm]
			Amplitude [%]		Leistung max. [W]
			Druck [bar]		Kraft max. [N]

Der ZEIT-Schweisssmodus wird häufig für neue Anwendungen verwendet, um die benötigte Energie zu ermitteln. Dieser Modus hat den Vorteil, dass dank einer kurzen Schweisszeit ein Überschweissen verhindert wird. Der Anwender kann dann in den Energie-Schweisssmodus wechseln, sobald das richtige Energieniveau erreicht ist. Dabei sollte beachtet werden, dass eine Erhöhung der Schweisszeit auch die abgegebene Energie erhöht, wenn Amplitude und Druck gleich bleiben.

Der ENERGIE-Schweisssmodus ist der empfohlene Schweisssmodus für konsistentere Zugtestergebnisse und wird verwendet, wenn die erforderliche Energie definiert ist. Der Vorteil liegt in diesem Fall darin, dass immer die gleiche Energiemenge zum Schweißen verwendet wird, was kleinere Material- oder Werkzeugschwankungen ausgleicht. Eine Erhöhung der Energie erhöht auch die Schweisszeit, wenn Amplitude und Druck gleich bleiben. Ausserdem gilt: Eine Erhöhung der Amplitude verkürzt die Schweisszeit, wenn Energie und Druck gleich bleiben, und eine Erhöhung des Drucks verkürzt ebenfalls die Schweisszeit, wenn Energie und Amplitude gleich bleiben.

Menschliche Einflüsse

Der letzte Faktor, der den Erfolg oder Misserfolg des Ultraschallschweisssverfahrens beeinflussen kann, ist die menschliche Interaktion. Es ist wichtig, dass die Bediener entsprechend geschult sind, um die Notwendigkeit der Materialvorbereitung und -handhabung sowohl vor als auch nach dem Schweisssprozess zu verstehen. Die Wiederholbarkeit aller manuellen Prozesse oder Aufgaben hat ebenfalls einen Einfluss auf das Ergebnis des Schweisssprozesses.



10 Greg Ruscak,
Anwendungsmanager,
TELSONIC Solutions,
LLC