

超声波金属焊接

了解这项灵活又强大的技术

塑料焊接

金属焊接

切割

清洗

筛分



North Billerica (USA), 2022/11

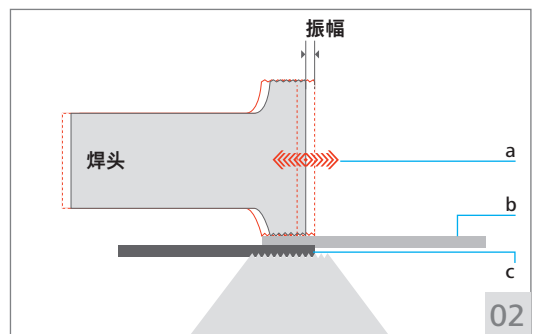
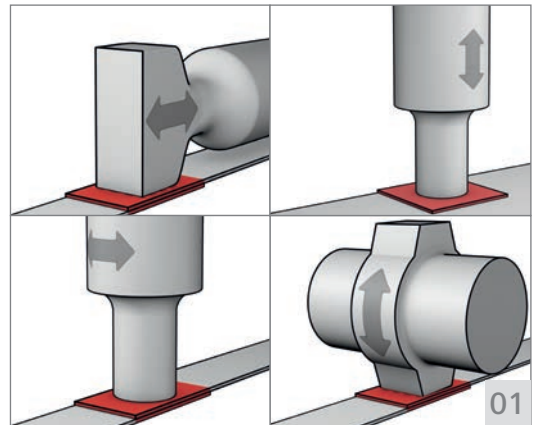
作为一项数十年来在各行各业广泛应用于焊接和接合应用的技术，超声波技术显然正在迅速成为制造混动车与纯电动车所需多种连接器和线束组件的金属焊接应用的优选工艺。随着超声波用于金属焊接应用的整体关注度不断提升，Telsonic 旗下的 Telsonic 波士顿公司应用经理 Greg Ruscak 在这篇文章详实的内容里概述了原理、方法、优势以及最关键的内容——影响焊接质量的因素。

技术概述一览

Telsonic 开发出四种不同的超声波焊接工艺，即两种线性以及两种扭转焊接，均可广泛应用于塑料和金属焊接应用。线性工艺是水平或垂直方向上的工艺，而扭转工艺是 Telsonic 独有，被称为 SONIQTWIST® 和 PowerWheel®。

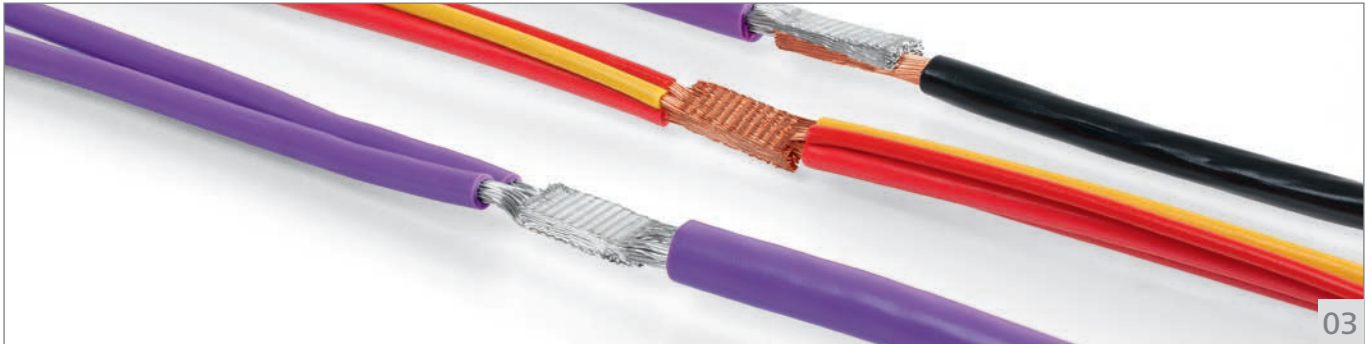
关键在于理解每种不同工艺的原理，同时明确每种工艺带来的好处。下图说明线性焊接工艺的基本原理。随着焊头来回移动（术语称为振幅），被焊接的部件也移动到下部件上方，下部件被牢牢夹持在底砧中。

术语“振幅”描述的是焊头纵向膨胀和收缩的程度。振幅与焊缝交接面的粗加工效果相关联。这种粗加工运动与压力结合，完成焊接工艺。线性焊接工艺可以水平姿态（如图）或垂直方向实施。线性超声波焊接工艺满足金属焊接应用的许多要求，并且能够接合不同金属。焊接成品导电性极佳，并且焊接坚固，母体材料无结构变化。



01 从左到右 - 线性水平、线性垂直、SONIQTWIST® 和 PowerWheel®

02 a. 导线内部与朝端子方向的相对运动导致焊接工艺
b. 需要焊接的部件与焊头一同移动（在焊接区域）
c. 下部件牢牢固定在底砧，不得移动



03

Telsonic 旗下 SONIQTWIST® 扭转焊接工艺开辟更多可能与应用。这种独特工艺尽可能减少了部件的线性振动，这种特性在可能存在传感器或其他电子组件的应用中尤为重要。该技术的其他优势包括能够成功用于难以接近的应用中，以及快速的工艺循环时间。SONIQTWIST® 也可用于塑料与金属焊接，在使用箔片或薄膜的应用中，运用 SONIQTWIST® 消除表面上的“薄膜”或波纹效应。
(查看页 1 的图 01a)

在电缆直径大、大尺寸端子和管状电缆接线片以及端子对端子焊接的金属焊接应用中，Telsonic 的 PowerWheel® 技术是理想的解决方案。PowerWheel® 在接近焊接区方面表现出色，能焊接最大 200mm² 的铜材料，同时焊缝收窄高达 30%。该工艺也明显改善线束压实，呈现出出色的焊接强度。
(查看页 1 的图 01b)

影响焊接质量的因素

材料选择

影响焊接质量的因素众多，包括要接合的材料、表面条件、焊接参数和所用设备、工件设计，当然还有各种人为因素。最适合超声波焊接工艺的金属类型为铝和铜。一般来说，材料越纯，越适合超声波焊接。不过，可视具体合金而定考虑以下评估：不含铅黄铜（例如 Ms63、CuZn37）、镍银和青铜（最高 8.5% 锡）。此外，铜基板上的金、银和镍涂层也适合基于特定参数的超声波焊接工艺。

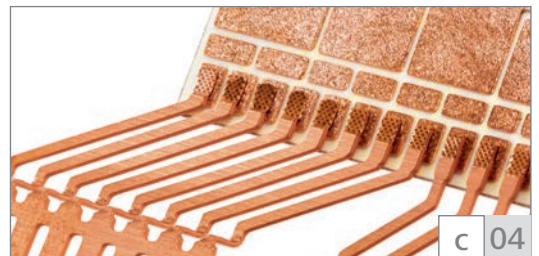
对于镍 (Ni)，涂层厚度应介于 3 至 12μm，首选化学无电镀工艺且存在低于 1% 的磷。理想情况下，镍 (Ni) 基底上的银 (Ag) 涂层厚度应介于 3 至 5μm，表面应尽可能光滑细腻或抛光。金 (Au) 具有良好的可焊性，涂层工艺应作为最后一步实施，在冲压或折弯操作之后。超声波焊接铝时，关键在于纯度至少为 99.5%，并且不得出现阳极氧化、硬质阳极氧化或任何方式的涂层处理。



a 04



b 04



c 04

03 铜/铝组合的导线编接

04 SONIQTWIST® 应用示例包括 (a): 螺栓焊接至当前连接器, (b): 全密封金属罐, 以及 (c): IGBT 的电气连接

表面条件

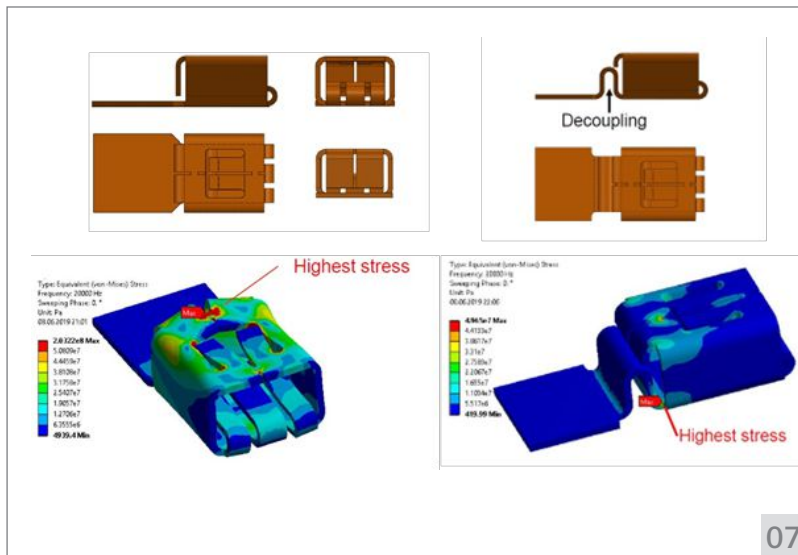
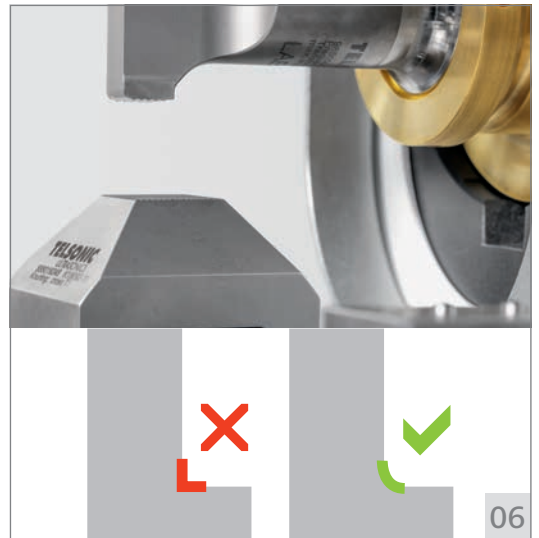
与材料相关、可能影响焊接工艺质量的其他因素包括存在不利于焊接质量的提取油和添加剂。在焊接之前实施的制造工艺，例如冲压、轧制、激光切割可能导致材料硬化，并再次对超声波焊接工艺产生不利影响。此外，粗糙或不平整的表面、氧化表面或铅层或锡层表面以及含有填料的表面不适合超声波焊接。

所用材料的规格保持一致性也很关键，注意源自不同供应商的材料实际上存在差异，足以影响焊接工艺。

工件设计和设置

对于任何制造工艺，需要检查与组件设计和工艺设置相关的许多部分，确保高效又一致的超声波焊接结果。

在基本设置层面中，关键在于确保底砧放在焊接区域正下方。在底砧和焊头上具备滚花也很关键。在焊接端子时，保持端子的力在焊接结果质量中发挥重要作用，端子应仅露出小部分突出表面或完全没有突出表面。另一个需要考虑的特征是触点上不应有尖角或边缘。



05 金属表面条件将影响焊接工艺质量

06 触点设计指南

07 最初设计 - 左图导致高压力和故障。- 右侧 Telsonic 解耦设计排除该问题

以下示例说明了确保正确设计组件的重要性。它展示了采用硬耦合的触点的实际 FEM 模拟，其中端子错误设计会导致故障。一根铜线纵向焊接至触点表面，超声波振动被传递至承受高压的插头触点。

Telsonic 融入设计工艺，通过让插头触点与焊接表面解耦来优化组件设计。这意味着只有少量振动传递至触点，消除前述损伤。

Ultrasonic Metal Welding – Quality Guidelines

Ultrasonic Wire Splicing

Place the conductors on top.
The wires must be stacked vertically.

The wires must not be positioned randomly.

No bare strands longer than 1.5mm.

No missing strands (indicator of retracted wires).

No missing wire insulation.

Insulated or non-welded solder copper must be released by supervisor.

Only weld cables where all strands overlap are allowed.

No crossed strands. See "Broken strands guideline" below.

Insure insulation in the weld transition area.

Strapped strands shall be pulled to the wire – clarify with supervisor.

Broken or cut strands. See "Broken strands guideline" below.

Ultrasonic Wire Termination

Use terminals with a polished surface.
Reduce your terminal positions on the reliability of the material because of aging and environmental factors.

No straight length strands at the end of the weld nugget.

No missing protruding strands at the end of the weld nugget.

No residual savings because of the terminal being welded.

The weld nugget must not be flattened because of the wire alignment under the heat.

No damage to the wire insulation.

No wire insulation in the weld.

No protrusions wire inside the insulation barrel.

No broken wire insulation. No wires outside the insulation barrel.

Insulated or non-welded solder copper must be released by supervisor.

No residual tracks or gaps in the weld nugget.

No burr or flash that are higher than 0.5mm.

Terminal should extend min. 1.0mm on each side of the nugget.

No crossed strands. See "Broken strands guideline" below.

No wire insulation in weld nugget.

Loose strands shall be pulled to the wire – clarify with supervisor.

No deformation of the terminal.

No weld nugget outside the terminal.

Broken or cut strands. See "Broken strands guideline" below.

Use ideal wires.
Place the conductors on top of the terminal.

The strands must end between the bus bars. If there are no bus bars, the strands must not detail the function of the terminal connection.

No wire insulation in the weld.

No protrusions wire inside the insulation barrel.

No broken wire insulation. No wires outside the insulation barrel.

No wrapping of the insulation barrel.

No folded back wires.

No crossed strands. See "Broken strands guideline" below.

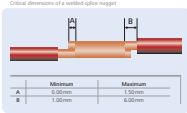
Only insulated and exposed at the bottom of the terminal allowed.

Strapped wire wires with cut strands.

Broken or cut strands. See "Broken strands guideline" below.



WELD QUALITY GUIDELINE



BROKEN STRANDS GUIDELINE

Minimum allowed broken or missing strands for splicing & termination in production:

Strands of cable	Broken or missing allowed
3-7	0
8-10	1
11-15	2
16-20	3
21-25	4
26-30	5
31-35	6
36-40	7
41-45	8
46-50	9
51-55	10
56-60	11
61-65	12
66-70	13
71-75	14
76-80	15
81-85	16
86-90	17
91-95	18
96-100	19

max 5% of total strands in splice

TENSILE TEST METHODS & VALUES

Splicing tensile test setup: Pull test

Termination tensile test setup: Pull test

Tensile test setup: Pull the middle wire and hold the opposing individual wires the terminal. For termination tensile test use a specific fixture to hold the terminal. For multi-wire termination tensile test, it is preferred to pull and pull both the larger and smaller wires from different angles. Termination pull test may also be carried out at 180 degree. The minimum tensile value shall exceed the label value per table.

Mechanical strength test capability study
Data source: $C_{p, U} = 1.0$ based on minimum of 50 samples
Process: $P_{p, U} = 1.47$ based on minimum of 125 samples
4 sig level: $C_{p, U} = 1.33$ based on minimum of 125 samples each
25 subgroups with minimum 5 samples each
Typical values are shown. Other values may be used depending on project requirements.

Wire Size	Copper wire		Aluminum wire	
	AWG	mm	AWG	mm
18	1.024	0.260	18	1.024
16	1.270	0.325	16	1.270
14	1.601	0.406	14	1.601
12	2.054	0.524	12	2.054
10	2.617	0.668	10	2.617
8	3.264	0.838	8	3.264
6	4.013	1.030	6	4.013
4	4.813	1.238	4	4.813
2	6.302	1.601	2	6.302
0	7.943	2.019	0	7.943
00	10.030	2.540	00	10.030
000	12.700	3.251	000	12.700
0000	16.003	4.064	0000	16.003

WIRE SPECIFICATIONS

SAE AWG				ISO METRIC				
Wire Size	AWG	mm	Wire Size	mm	Wire Size	mm	Wire Size	
18	18	1.024	18	1.024	18	1.024	18	1.024
16	16	1.270	16	1.270	16	1.270	16	1.270
14	14	1.601	14	1.601	14	1.601	14	1.601
12	12	2.054	12	2.054	12	2.054	12	2.054
10	10	2.617	10	2.617	10	2.617	10	2.617
8	8	3.264	8	3.264	8	3.264	8	3.264
6	6	4.013	6	4.013	6	4.013	6	4.013
4	4	4.813	4	4.813	4	4.813	4	4.813
2	2	6.302	2	6.302	2	6.302	2	6.302
0	0	7.943	0	7.943	0	7.943	0	7.943
00	00	10.030	00	10.030	00	10.030	00	10.030
000	000	12.700	000	12.700	000	12.700	000	12.700
0000	0000	16.003	0000	16.003	0000	16.003	0000	16.003

The above listed strand counts are common industry drawing. Other strand configurations may be used depending on manufacturer.

08 通过遵循若干基本步骤与建议,可保证焊接出色

优质焊接的影响因素和特征

许多因素影响着超声波金属焊接工艺的结果。针对导线编接和电缆端接,因素包括:焊接前的剥线长度和电缆位置、焊接熔合高度、宽度和长度、导体末端位置和绝缘层位置,当然还有焊接时间。同样重要的是考虑导线尺寸方面的任何差异,采取措施避免侧面编接以及放置易损端子。妥善完成步骤,超声波金属焊接工艺将实现稳定的高质量结果。应用至导线接合应用时,下列特征标志着优质的焊接:所有绞线成功焊接且整体焊接长度足够。绞线末端(即“辫刷”)应短而平,焊接区域外无切割绞线且无烧痕。此外,所有导线应搭接在一起,无过多毛边或毛刺,绝缘层材料应无损伤。

Telsonic 制作了一份全面且信息丰富的单页海报,可用作涵盖常见线束接合及导线终端焊接应用领域的指南。重要的质量和操作标准均使用图文并茂的形式,并附有检验标准和有用的线束尺寸表。

理解和定义焊接参数

尽管之前讨论过其他标准,例如选择线性或扭转工艺、材料选择、表面条件、产品设计及实体设置和配置,但关键在于为考虑的应用选择正确的焊接参数。

为确保选择无误,了解影响焊接周期的各种要素很重要。功率公式的影响因素:超声波振动的持续时间,振动纵向位移的振幅,以及垂直(正交)施加于振动方向的压缩力。在焊接周期中启动和维持振动(运动)所需的功率定义为: $P \approx C \times F_o \times A \times f$,其中 C=预定义常量, P=功率(瓦), F_o =力(牛顿), A=振幅(微米), f=频率(Hz)。

*注意:力由乘法算出:

力=施加的下压力×摩擦系数=压力×气缸区域×摩擦系数

能量计算过程: $E = P \times T$,其中 E=能量(焦耳), P=功率(瓦), T=时间(秒)。

因此,完整的“焊接至能量”工艺应定义为: $E \approx 4 \times F_o \times A \times f \times T$

精心设计的超声波金属焊接系统通过提供指定的能量值来补偿金属表面条件的正常变化。这通过允许调整时间(T)以满足材料条件并提供所需能量实现。

焊接铜与铝的应用设计经验法则

	铜	铝
功率*: 焊接区域 [mm ²] × 力 [W/mm ²]	33 W/mm ²	24 W/mm ²
力**: 焊接区域 [mm ²] × 力 [N/mm ²]	20 N/mm ²	15 N/mm ²
振幅***: @ 90% 发生器输出功率	30 μm	24 μm
拉力(导线至端子焊接)	视材料而定。 USCar 38-1 作为指南	

为补偿公差和应用变化,计算期间应注意下列安全裕度:

* 设计用于最大 80% 的发生器焊接功率

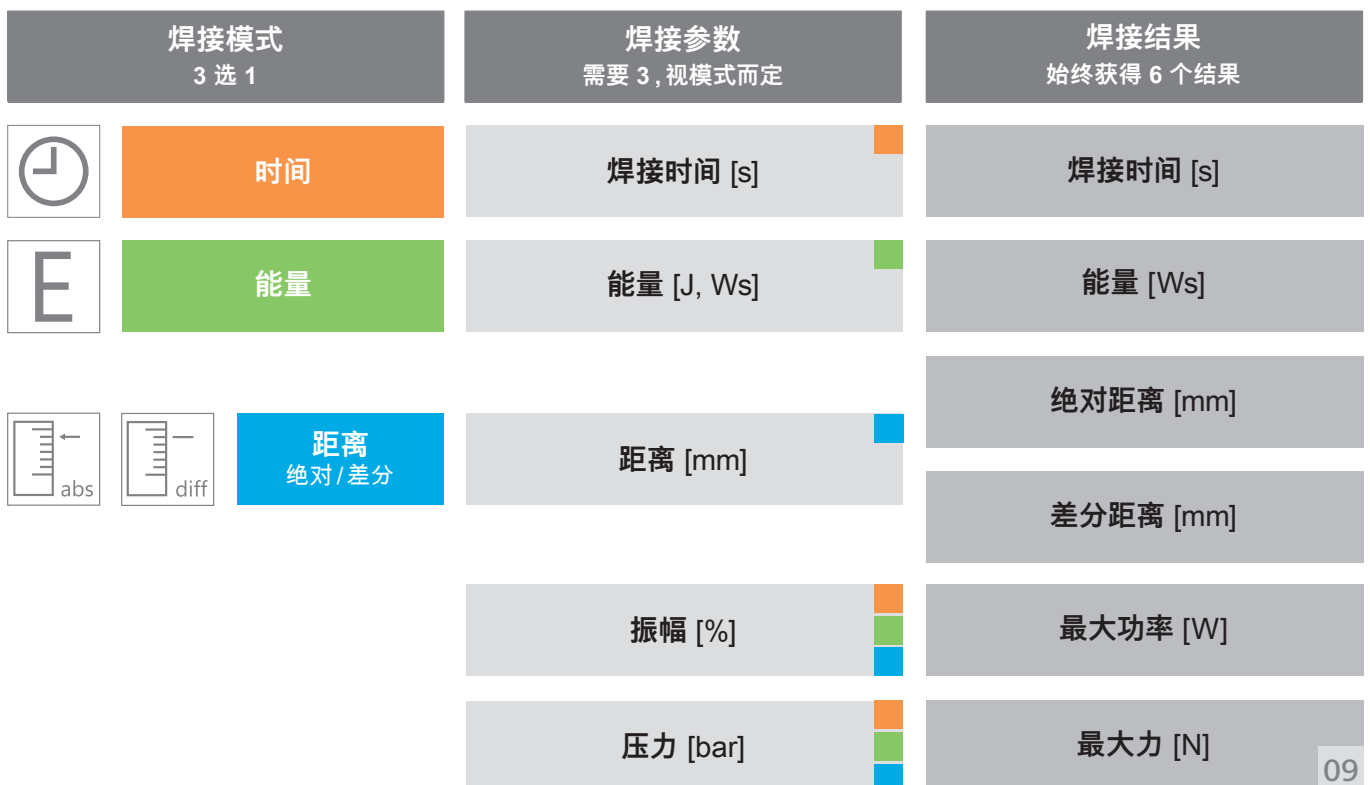
** 设计用于最大 90% 的标称焊接力

*** 设计用于最小 80% 到最大 90% 的发生器输出振幅

09 上方信息图表重点展示超声波金属焊接工艺中的不同焊接模式、参数和结果

定义和控制焊接工艺

以下信息图表重点展示超声波金属焊接工艺中的不同焊接模式、参数和结果。



时间焊接模式常用于新应用，有助于确定所需能量。得益于焊接时间短，该模式具有防止过度焊接的优势。一旦建立正确的能量水平，用户可切换至能量焊接模式。请注意：如果振幅和压力保持不变，增加焊接时间也会提高能量输出。

能量焊接模式是实现更加一致的拉力测试结果的推荐之选，在已定义所需能量时使用。在这种情况下，优点在于始终使用相同的能量进行焊接，补偿轻微的材料或工具波动。如果振幅和压力保持不变，增加能量也会提高焊接时间。此外，如果能量和压力保持不变，提升振幅会减少焊接时间，如果能量和振幅保持不变，则提升压力也会减少焊接时间。

人为因素

影响超声波金属焊接工艺成功与否的最后一个因素是人为干预。必须对操作员进行妥善培训，了解焊接工艺前后是否有材料准备和处理的需要。任何手动工艺或任务的可重复性也会影响焊接工艺的结果。



10 Greg Ruscak,
应用经理
TELSONIC 解决方案
LLC