

초음파를 사용한 금속 용착

유연하면서도 강력한 기술을 소개합니다

- 플라스틱 용착
- 금속 용착
- 절단
- 세척
- 스크리닝



미국의 노스 빌레리카(North Billerica), 2022년 11월

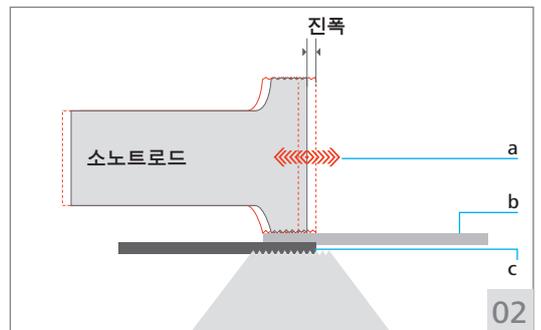
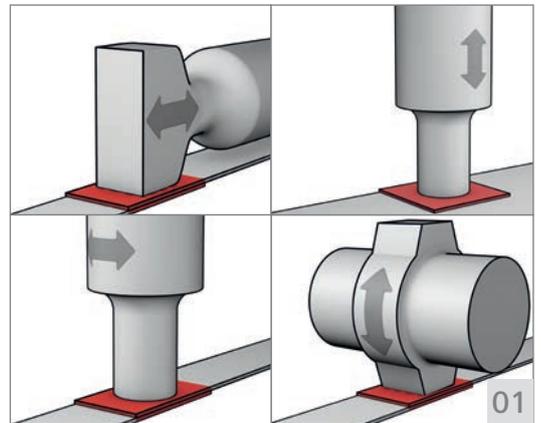
수십 년 동안 여러 산업 부문에서 용착과 접합 작업을 위해 널리 사용되어온 초음파 기술이 이제 하이브리드 및 완전 전기 차량을 위한 커넥터와 하네스 컴포넌트의 금속 용착에서 모두가 선호하는 방식이 되고 있는 것은 어쩌면 너무나 당연한 수순입니다. 보스턴 소재 Telsonic 애플리케이션 매니저인 그렉 러스카(Greg Ruscak)은 이 글에서 금속 용착을 위한 초음파의 사용을 중점적으로 다루면서, 관련 원리, 방법, 이점, 그리고 가장 중요하게 용착 품질에 영향을 미치는 요인들에 대해 유용한 정보를 제공해 드립니다.

간단하게 살펴보는 기술

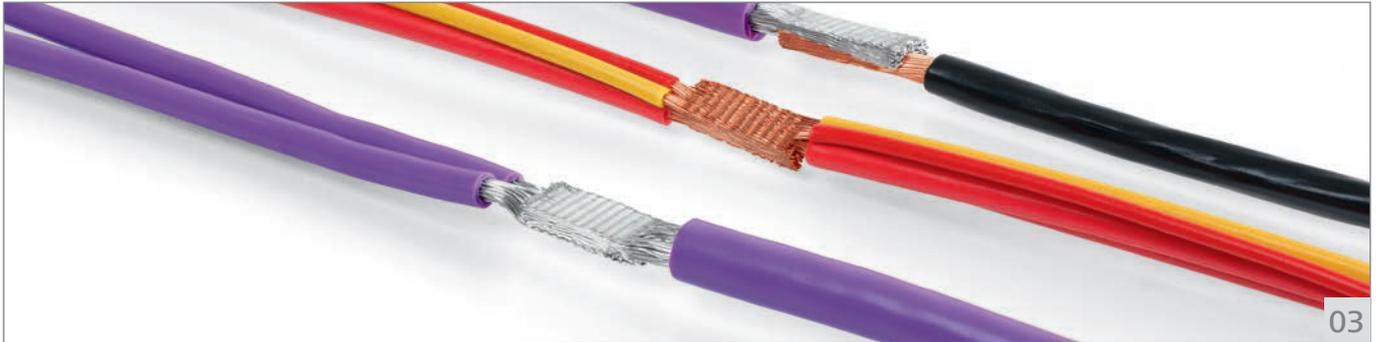
Telsonic이 개발한 네 가지 용착법(선형 공정 두 가지와 마찰 공정 두 가지)은 광범위한 종류의 플라스틱 및 금속 용착 작업에 사용될 수 있습니다. 선형 공정은 수평적으로 또는 수직적으로 사용될 수 있으며, Telsonic 고유의 마찰 공정은 SONIQTWIST®와 PowerWheel®로 알려져 있습니다.

이 네 가지 방식의 원리에 대해 이해하고 각 공정이 제공하는 이점에 대해 파악하는 것이 필요합니다. 아래의 도식은 선형 용착 공정의 기본 원리를 설명하고 있습니다. 소노트로드가 앞으로 움직임(진폭)에 따라 용착부 또한 앤빌과 단단히 고정되는 하단 부분 위로 움직이게 됩니다.

'진폭'이라는 이 용어는 세로 팽창의 범위와 소노트로드의 수축을 나타냅니다. 진폭은 용착 이음매 경계면에 나타나는 황삭 효과와 상관관계가 있습니다. 이러한 황삭 작용의 움직임이 압력과 함께 용착의 주된 동력이 됩니다. 선형 용착 공정은 수평(그림 참조) 또는 수직 방향으로 실시될 수 있습니다. 선형 초음파 용착 공정은 금속 용착 작업에서 필요로 하는 다수의 요건을 만족시키며, 서로 다른 금속을 접합시키는 작업도 가능하게 해줍니다. 이러한 용착 작업을 통해, 우수한 전기 전도성과 본래 재료에 대한 구조적인 변화 없이 튼튼한 용착 결과물을 얻을 수 있습니다.



- 01 왼쪽 상단에서 오른쪽 하단 - 수평 선형, 수직 선형, - SONIQTWIST® 및 PowerWheel®
- 02 a. 와이어 내 그리고 터미널 방향의 상대적 움직임이 용착을 진행시킵니다.
b. 용착될 부분이 소노트로드와 함께 움직입니다 (용착부에서).
c. 하단부가 앤빌에 단단히 고정되어야 하며 절대 움직이면 안 됩니다.



03

Telsonic의 SONIQTWIST® 마찰 용착 공정은 새로운 기회와 응용 분야로 문을 활짝 열어줍니다. 이 특유의 공정은 용착 부품에 최소한의 선형적 진동만을 발생시키는데, 이는 센서나 기타 다른 전기 컴포넌트가 있는 작업에서 매우 중요한 이점이 됩니다. 이 기술의 다른 이점으로는 접근이 제한적이고 빠른 공정 사이클 타임에서도 용착 작업을 성공적으로 마칠 수 있다는 사실입니다. SONIQTWIST® 기술은 또한 플라스틱 및 금속 용착에 대해 사용될 수 있으며, 호일이나 필름을 사용하는 작업에 SONIQTWIST®를 적용하는 경우 표면에서 “멤브레인(Membrane)” 효과 또는 리플링 효과(Rippling effect)의 발생을 방지할 수 있습니다. (1페이지의 그림 01a 참조)

직경이 큰 케이블, 대형 터미널 또는 관형 케이블 러그를 사용하는 작업과, 터미널간 용착이 필요한 금속 용착 작업에서 Telsonic의 PowerWheel® 기술은 이상적인 솔루션을 제공합니다. 용착부에 탁월한 접근성을 제공하는 PowerWheel®은 최대 200mm²의 구리 재료를 용착할 수 있으며, 최대 30% 더 좁은 용착 작업을 실행할 수 있습니다. 이 방식은 또한 와이어 압축을 크게 향상시키고 뛰어난 용착 강도를 제공합니다. (1페이지의 그림 01b 참조)

용착 품질에 영향을 미치는 요인들

재료의 종류

용착 품질에 영향을 미치는 요인들은 다양한데, 접합 대상 재료, 표면 상태, 용착 매개변수, 사용 중인 장비, 공작물 디자인, 작업 인력이 미치는 영향 등이 여기에 포함됩니다. 초음파 용착에 가장 적합한 금속류는 알루미늄과 구리입니다. 일반적으로 재료의 순도가 높을수록 초음파 용착 작업이 더 용이합니다. 그러나, 무연 황동(예: Ms63, CuZn37), 니켈 실버 및 청동(최대 8.5% Sn)의 경우 개별 합금 상태에 따라 검토 후 작업 대상이 될 수 있습니다. 또한, 구리 기판에 입힌 금, 은 및 니켈 코팅 등도 일부 매개변수에 따라 초음파 용착 작업의 대상 재료가 될 수 있습니다.

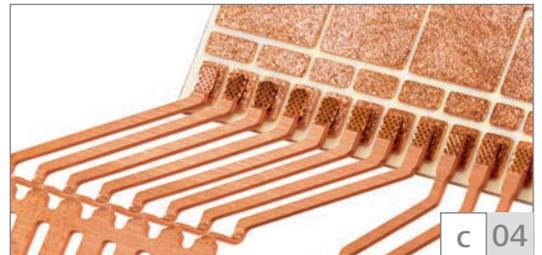
니켈(Ni)의 경우, 코팅의 두께는 3~12µm여야 하며, 화학적 무전해 공정이 권장되고, 인 함유량은 1% 미만이어야 합니다. 은(Ag) 코팅의 경우, 그 두께가 3~5µm로 니켈(Ni) 베이스여야 하며, 가능하면 표면이 매끈하고 깨끗하거나 광택이 나야 합니다. 금(Au)은 용착이 매우 잘되는데, 코팅 작업은 펀칭 또는 벤딩이 완료된 후 가장 마지막 단계에 실시해야 합니다. 알루미늄을 초음파로 용착할 경우 순도가 최소 99.5%인지 확인해야 하며, 어떠한 식으로든 양극 산화 처리, 경질 양극 산화 처리 또는 코팅 처리가 되어 있어서는 안 됩니다.



a 04



b 04



c 04

03 구리/알루미늄으로 조합된 와이어 스플라이스

04 SONIQTWIST® 애플리케이션의 예로 다음이 있습니다: (a) 전류 커넥터로 용착된 볼트, (b) 밀봉된 금속 캔, 그리고 (c): IGBT의 전기 연결

표면 상태

재료와 관련되어 있으며 용착 공정의 품질에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인으로는 추출 오일 및 첨가제가 있는 경우로 이때 용착 품질에 부정적인 영향을 미칠 수 있습니다. 펀칭, 롤링, 레이저 커팅 등과 같이 용착 작업 이전에 실시하는 제조공정들은 재료의 경화를 야기할 수 있으며 따라서 초음파 용착 작업에 부정적인 효과를 가져올 수 있습니다. 또한, 거칠거나 불균형한 표면, 산화 처리된 표면, 납이나 양철로 코팅된 표면, 필러가 들어간 표면 등도 초음파 용착에 적합하지 않습니다.

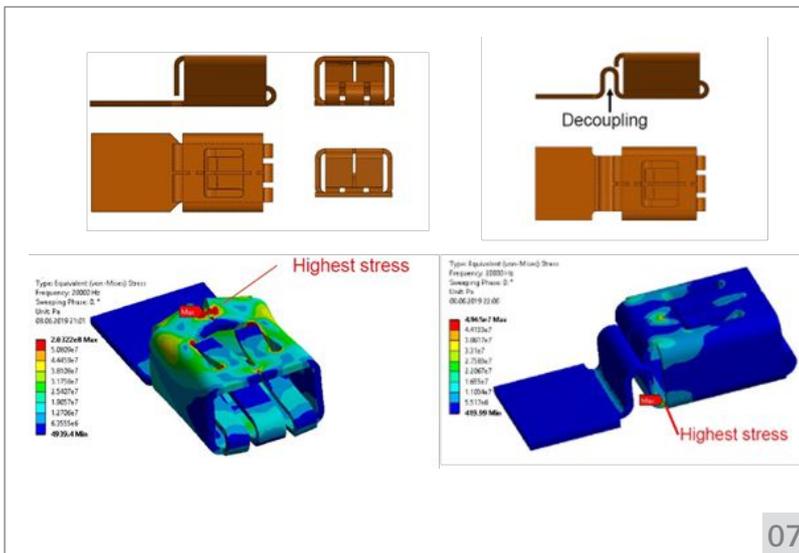
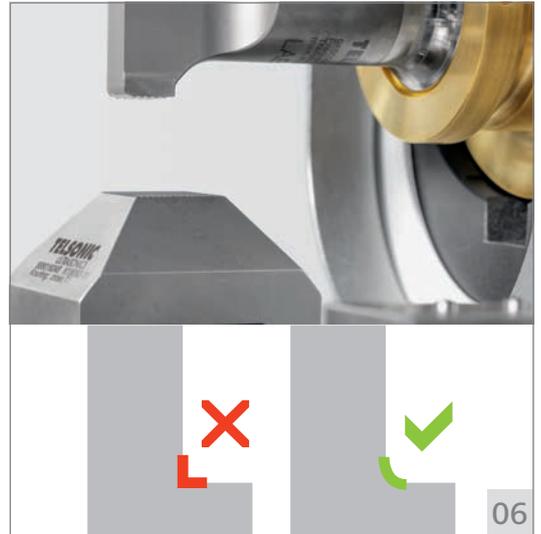


사용하려는 재료의 사양이 일관성을 유지하도록 하고, 여러 공급자들로부터 조달 받은 재료들이 용착 작업에 영향을 줄 수 있을 정도로 서로 상이할 수 있음에 유의해야 합니다.

공작물 설계 및 설정

모든 종류의 제조 과정과 마찬가지로, 효율적이고 일관된 초음파 용착 작업을 위해서는 컴포넌트 설계 및 공정 설정과 관련된 다수의 사항이 검토되어야 합니다.

기본 준비 단계에서 앤빌이 용접부 바로 아래에 위치해 있는지 확인하는 것이 매우 중요합니다. 반드시 앤빌과 소노트로드 두 가지 모두에 널링이 되어야 합니다. 터미널 용착 작업 시 터미널을 지탱하는 힘은 작업 완료 후 용착 품질에 중요한 영향을 미치며, 터미널은 돌출 표면이 적거나 아예 없어야 합니다. 잊지 말아야 할 또 다른 사항으로는 접촉부에 날카로운 모서리나 가장자리가 없어야 한다는 점입니다.

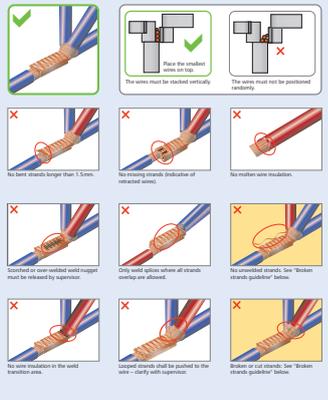


컴포넌트가 제대로 설계되었는지 확인하는 것이 왜 중요한지 설명하기 위해 다음의 예가 제시되어 있습니다. 하드 커플링 접촉의 실제적인 FEM 시뮬레이션이 여기에 나와 있는데, 터미널이 잘못 설계되어 있는 경우 오작동이 발생하는 것을 보여줍니다. 접촉 표면에 구리 전선이 길이 방향으로 용착되었으며, 초음파 진동이 심하게 스트레스를 받고 있던 플러그 접점으로 전달되었습니다. 설계 단계에서 Telsonic과 협력하여 플러그 접점을 용착 표면과 분리함으로써, 컴포넌트 설계가 최적화되었습니다. 이에 따라, 소량의 진동만이 전달되므로 이전에 볼 수 있었던 손상 문제가 없어졌습니다.

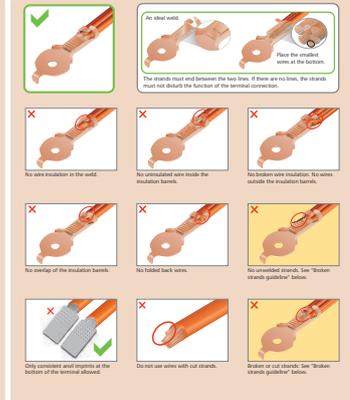
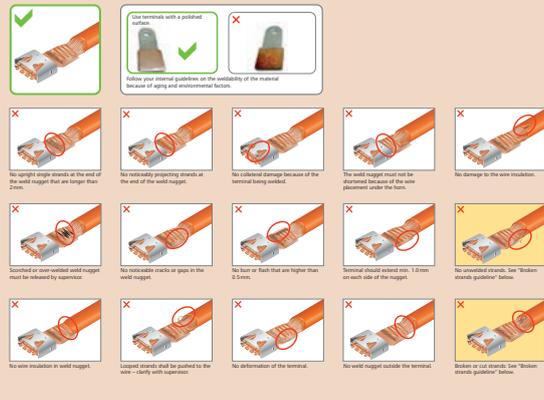
- 05 재료 표면의 상태가 용착 품질에 영향을 미칩니다
- 06 접촉부 설계 가이드라인
- 07 오리지널 설계 - 왼쪽의 경우 스트레스와 오작동이 발생하였습니다. - 오른쪽의 경우 분리형 설계로 문제가 사라졌습니다

Ultrasonic Metal Welding – Quality Guidelines

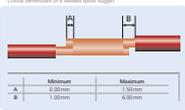
Ultrasonic Wire Splicing



Ultrasonic Wire Termination



WELD QUALITY GUIDELINE

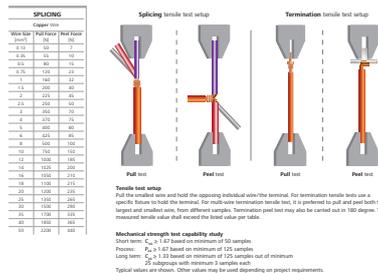


BROKEN STRANDS GUIDELINE

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

Strands of cable	Broken or missing allowed
1-7	0
8-19	1
20-31	2
32 or more	max 5% of total strands in splice

TENSILE TEST METHODS & VALUES



TERMINATION

Wire size	Aluminum wire	Steel wire
16 AWG	1.35	1.35
18 AWG	1.35	1.35
20 AWG	1.35	1.35
22 AWG	1.35	1.35
24 AWG	1.35	1.35
26 AWG	1.35	1.35
28 AWG	1.35	1.35
30 AWG	1.35	1.35
32 AWG	1.35	1.35
34 AWG	1.35	1.35
36 AWG	1.35	1.35
38 AWG	1.35	1.35
40 AWG	1.35	1.35
42 AWG	1.35	1.35
44 AWG	1.35	1.35
46 AWG	1.35	1.35
48 AWG	1.35	1.35
50 AWG	1.35	1.35
52 AWG	1.35	1.35
54 AWG	1.35	1.35
56 AWG	1.35	1.35
58 AWG	1.35	1.35
60 AWG	1.35	1.35
62 AWG	1.35	1.35
64 AWG	1.35	1.35
66 AWG	1.35	1.35
68 AWG	1.35	1.35
70 AWG	1.35	1.35
72 AWG	1.35	1.35
74 AWG	1.35	1.35
76 AWG	1.35	1.35
78 AWG	1.35	1.35
80 AWG	1.35	1.35
82 AWG	1.35	1.35
84 AWG	1.35	1.35
86 AWG	1.35	1.35
88 AWG	1.35	1.35
90 AWG	1.35	1.35
92 AWG	1.35	1.35
94 AWG	1.35	1.35
96 AWG	1.35	1.35
98 AWG	1.35	1.35
100 AWG	1.35	1.35

WIRE SPECIFICATIONS

SAE AWG				ISO METRIC			
Wire size	Wire size	Wire size	Wire size				
16 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
18 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
20 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
22 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
24 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
26 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
28 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
30 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
32 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
34 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
36 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
38 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
40 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
42 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
44 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
46 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
48 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
50 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
52 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
54 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
56 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
58 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
60 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
62 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
64 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
66 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
68 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
70 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
72 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
74 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
76 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
78 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
80 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
82 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
84 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
86 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
88 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
90 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
92 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
94 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
96 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
98 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
100 AWG	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35

08 몇 가지 기본 단계와 지식사항을 준수하시면 우수한 용착 결과물이 보장됩니다

영향을 미치는 요인들 그리고 우수한 용착 작업의 특성

초음파 금속 용착 작업의 결과에 영향을 미치는 요인들은 여러 가지입니다. 와이어 스프라이싱 및 케이블 종단의 경우, 용착 작업 스트립 길이 및 케이블 위치, 용착 결합의 높이, 너비 및 길이, 도체 및 단열재 끝부분의 위치, 그리고 당연히 용접 시간 등이 그 요인에 해당됩니다. 와이어 크기에 차이가 없는지 확인하고, 측면 스프라이싱을 방지하고, 유약한 터미널의 배치 등을 확인하는 것도 중요합니다. 이러한 단계를 제대로 실시한다면 초음파 금속 용착 작업을 통해 고품질의 일관된 결과물을 얻을 수 있습니다. 와이어 스프라이싱 작업에 응용될 경우, 와이어 스트랜드가 빠짐없이 용착되고 전체 용착 길이가 충분하도록 해야 좋은 용착 결과를 볼 수 있습니다. 스트랜드의 끝부분을 말하는 "브러시"는 짧고 납작해야 하며, 용접부 외부에 잘린 스트랜드가 없어야 합니다. 또한 탄 자국도 없어야 합니다. 그 외에, 모든 와이어는 과도한 양의 플래시나 버가 없이 모두 겹쳐진 형태여야 하며, 단열재에 손상이 없어야 합니다.

Telsonic은 일반적인 와이어 스프라이싱과 와이어 단말부 용착에 대한 가이드를 제공하기 위해 포괄적인 정보를 전달하는 한 장의 포스터를 준비했습니다. 이 포스터에는 중요한 품질 및 운용 기준이 텍스트와 이미지를 사용해 강조되어 있으며, 테스트 기준 및 와이어 크기에 대한 유용한 표가 포함되어 있습니다.

용착 매개변수에 대한 이해 및 정의

선형 또는 마찰 공정, 재료 선택, 표면 상태, 제품 디자인 및 물리적 설치 및 설정 등과 같이 앞서 논의된 요인들 외에도, 필요한 작업에 대해 적합한 용접 매개변수를 선택하는 것이 매우 중요합니다.

적절한 매개변수 선택을 위해서는 용착 사이클에 영향을 미치는 개별 요인들에 대해 잘 알아야 합니다. 출력을 산출하는 공식은 다음에 따라 달라집니다: 초음파 진동이 진행되는 시간, 진동의 세로 움직임인 진폭, 진동 방향에 수직으로(일반적인 방향) 가해지는 압

촉력인 힘. 용착 사이클 동안 진동(모션)을 일으키고 유지하는 데 필요한 출력은 다음과 같이 정의됩니다: $P \approx C \times F_o \times A \times f$ (여기서 C=미리 정의된 상수, P=전력(와트), F_o =힘(뉴턴), A=진폭(마이크론), f=주파수(헤르츠)).

*유의: 힘은 다음을 곱한 값입니다.

힘 = 적용된 다운포스 × 마찰계수 = 압력 × 실린더 넓이 × 마찰계수

에너지는 다음과 같이 계산합니다: $E = P \times T$ (여기서 E=에너지(줄스), P=전력(와트), T=시간(초)).

따라서, “에너지에 따른 용착”의 전체 공정은 다음과 같이 정의됩니다: $E \approx 4 \times F_o \times A \times f \times T$

잘 설계된 초음파 금속 용착 시스템은 사양에 맞는 에너지 값을 제공함으로써 금속 표면에서 일반적으로 발견되는 변수들을 상쇄해 줄 수 있습니다. 이는 재료의 상태에 적용할 시간(T)을 허용해 적절한 에너지를 제공할 수 있도록 함으로써 가능해집니다.

구리 및 알루미늄 용착 작업 시 대략적인 작업 설계

	구리	알루미늄
전력*: 용착부 면적 [mm ²] × 전력 [W/mm ²]	33W/mm ²	24W/mm ²
힘**: 용착부 [mm ²] × 힘 [N/mm ²]	20N/mm ²	15N/mm ²
진폭***: @ 90% 생성기 출력	30µm	24µm
인장력(와이어와 터미널 용착 시)	재료따라 다름. USCar 38-1이 가이드라인이 됨.	

- 공차 및 해당 작업의 변동 사항을 상쇄할 수 있도록 계산 시 다음의 안전 마진이 반드시 고려되어야 합니다:
- * 제너레이터 용착 전력의 최대 80%가 되도록 설계
- ** 일반적인 용착력의 최대 90%가 되도록 설계
- *** 생성기 출력 진폭의 최소 80%에서 최대 90%가 되도록 설계
- 09 상단의 인포그래픽은 초음파 금속 용착 공정의 다양한 용착 모드, 매개변수 및 결과를 보여줍니다.

용착 공정의 설정 및 제어

다음의 인포그래픽은 초음파 금속 용착의 다양한 용접 모드, 매개변수 및 결과를 강조해 보여줍니다.

용착 모드 3가지 중 1가지 선택		용접 매개변수 모드에 따라 3가지 필요		용착 결과 항상 6가지 결과값을 생성	
	시간	용착 시간 [s]		용착 시간 [s]	
	에너지	에너지 [J, Ws]		에너지 [Ws]	
	간격 절대/차동	간격 [mm]		절대 간격 [mm]	
				차동 간격 [mm]	
		진폭 [%]		최대 전력 [W]	
		압력 [bar]		최대 힘 [N]	

시간 용착 모드는 필요한 에너지를 결정할 수 있도록 돕기 위해 새로운 애플리케이션에서 자주 사용됩니다. 이 모드는 용착 시간이 짧으므로 과도한 용착이 발생하는 것을 예방할 수 있습니다. 적절한 에너지 레벨이 확보되면 에너지 용착 모드로 전환할 수 있습니다. 용착 시간이 증가하면 진폭과 압력이 그대로인 경우 에너지 출력 또한 증가함에 유의해야 합니다.

에너지 용착 모드는 좀 더 일관된 인장력 시험 결과가 필요하고, 해당 에너지 레벨이 미리 설정된 작업에서 추천할 수 있는 모드입니다. 이 모드의 이점은 용착 작업에 대해 항상 동일한 양의 에너지가 사용되므로 재료 또는 장비의 사소한 변동 사항을 상쇄해줄 수 있다는 점입니다. 에너지양이 증가하면 진폭과 압력에 변화가 없을 경우 용착 시간 또한 증가합니다. 또한, 진폭이 증가하면 에너지와 압력이 그대로일 경우 용착 시간이 감소하며, 압력이 증가하는 경우에도 에너지와 압력이 그대로라면 용착 시간이 감소합니다.

인적 영향

초음파 금속 용착 공정의 성공과 실패에 영향을 미칠 수 있는 마지막 요인은 사람입니다. 공정 진행과 관련된 사람은 필요한 교육을 받아야 하며, 재료 준비 및 작업 전후의 적절한 취급에 대해 잘 알고 있어야 합니다. 수동 작업이 포함된 경우 그 신뢰도 또한 용착 결과물에 영향을 미칩니다.



10 그렉 러스카
(Greg Ruscak)
애플리케이션 매니저
TELSONIC Solutions,
LLC