

고전압 배전에 자동차 버스바를 활용하기 위한 초음파 용착

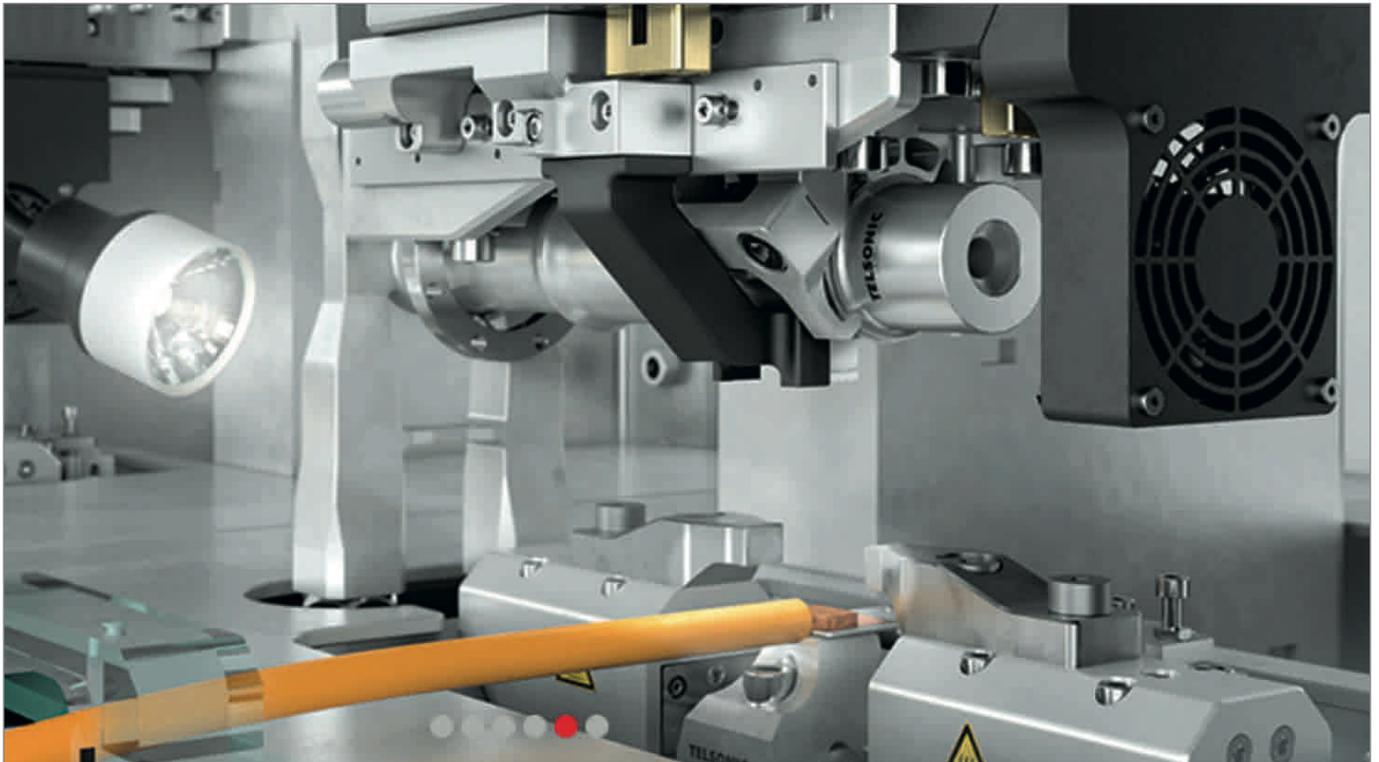
플라스틱 용착

금속 용착

절단

세척

스크리닝



브론슈호펜(스위스), 2023/06

전기자동차(EV) 기술이 등장한 것은 꽤 시간이 지났지만 전기차와 하이브리드 전기차(HEV)의 개인 차량 판매가 크게 증가한 것은 지난 10년이었습니다. 전기차는 그 이점 때문에 많은 사람들에게 자동차 산업의 미래로 여겨집니다. 전기차와 하이브리드 전기차 시장이 성장함에 따라 제조업체는 이들 차량의 효율성과 출력 및 기능을 개선하기 위한 기술 발전을 모색할 것이며 초음파 용착은 이러한 기술 발전에 중요한 역할을 할 것입니다. 1980년대 후반부터 자동차 케이블 하니스 제조업은 단일 사용자로 초음파 용착 기술을 가장 많이 사용하는 부문이 되었으며, 와이어 용착에 이 기술을 주로 사용하고 있습니다. 그러나 이 기술의 새로운 적용 영역은 궁극적으로 자동차 제조업체에 현재 전기차 기술의 많은 단점에 대한 솔루션을 제공할 미래 공정의 일부로 사용되고 있습니다.

현재의 전기차 제조 환경

전기차에서 밀봉된 팩에 결합된 대용량 배터리 셀 뱅크는 차량의 전기 모터에 전력을 공급하는 데 필요한 작동 전압과 전류를 얻는 데 사용됩니다. 현재, 전기차와 하이브리드 전기차 공간의 두 가지 주요 관심사는 전력 저장과 주행 거리입니다. OEM(Original equipment manufacturers)은 두 가지 방법으로 이러한 문제를 해결하고 있습니다. 하나는 주행 거리를 늘릴 수 있는 더 큰 배터리를 만드는 것이고, 또 하나는 충전 속도를 높일 수 있는 더 강력한 배터리를 만드는 것입니다. 두 접근 방식 모두 문제가 있습니다. 배터리는 더 커질 수 있지만 특정 크기에 도달하면 너무 비싸고 무거워져서 실행 가능한 솔루션이 될 수 없습니다.

사람들이 보통 전기차에서 혁신을 원할 때 기존 배선의 혁신을 일순위로 원하지는 않지만, 최근의 발전으로 OEM이 전기차 아키텍처에 꼭 필요한 두 가지인 더 적은 질량과 더 많은 공간을 얻으면서 전기차 분야에 상당한 영향을 미치고 있습니다. 공간을 만들고 질량을 줄이는 한 가지 방법은 원형 배선에서 평평한 전도체로 전환하는 것입니다. 여기에 버스바가 들어옵니다.

전기 버스바란 무엇인가?

'특정 시스템의 모든 전류'에서와 같이 '모두를 위한'으로 번역되는 라틴어 'omnibus'(옵니버스)에서 파생된 버스바는 전기차 아키텍처에 통합되는 평평한 전도체를 이룹니다. 버스바는 일반적으로 로컬 고전류 배전을 위해 배전반, 패널 보드 및 버스웨이 인클로저 내부에 설치됩니다. 또한 전기 스위치야드의 고전압 장비와 배터리 뱅크의 저전압 장비를 연결하는 데 사용됩니다. 버스바는 전기를 접지하고 전도하는 구리, 황동 또는 알루미늄으로 만든 금속 스트립 또는 바입니다. 전기 버스바는 구리와 같은 다양한 재료로 코팅하여 다양한 전도성 한계와 종류를 제공할 수 있습니다. 버스바는 여러 모양과 크기로 제공되며 이는 전도체가 열화되기 전에 운반할 수 있는 최대 전류량을 결정합니다.

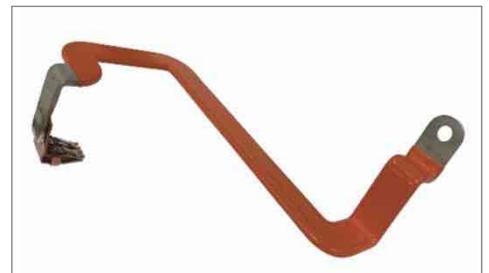
오늘날 배터리 팩에는 최대 24개의 버스바가 들어가며, 배터리 팩이 더 커지고 강력해짐에 따라 그 수가 증가하겠지만 내부 공간은 여전히 매우 협소합니다. 초음파 용착은 전기차 적용 영역의 버스바에 선호되는 접합 공정입니다. 그러나 배터리가 빠른 충전 능력에 못지않게 강력하므로 곧 배터리 팩 외부에서도 버스바의 혁신이 더 많이 이루어져 충전 주입구에서 배터리로, 그리고 다른 고전력 모터와 장치로 높은 전력을 전달하여 혁신적인 초음파 용착 적용 영역에 대한 필요성이 증가할 것입니다.

기업이 전기 버스바를 선호하는 이유

버스바는 장기적으로 볼 때 자동차 산업의 일부 케이블 하니스용 표준 케이블보다 선호될 수 있습니다. 전기차 내 도입 증가, 비용 효율성, 설치 용이성, 자동차 버스바의 저렴한 수리 및 서비스 비용, 전기차 충전 인프라 개발은 자동차 버스바에 대한 수요 증가의 핵심 요인으로 꼽힙니다. 또한 전기차 제조 및 충전 인프라의 기술 개발은 글로벌 자동차 버스바 시장에 도움이 될 것으로 예상됩니다. 시장 조사에 따르면 이러한 요인으로 인해 시장은 2030년에 1억 7천만 달러 이상을 창출하여 2021~2030년 연평균 24.6%로 성장할 것으로 예상됩니다.

버스바 사용의 이점:

- 설비비 절감과 빠른 설치
- 다운타임 없이 쉽고 빠르게 전원을 추가, 제거 또는 재배치할 수 있음
- 전원을 끄지 않고 일부 플러그인 장치를 분리하고 다시 연결할 수 있어 미래에 대비하고 매우 유연함
- 정기 유지관리가 필요 없음
- 확장 또는 리모델링 시 빠르고 비용이 저렴
- 설치 재료가 적게 들고 플러그인 콘센트가 재사용 가능하며 재배치하기 쉽기 때문에 더 환경 친화적
- 평평한 전도체가 더 적은 공간을 차지하며 높이가 70% 더 짧음
- 단면적이 동일한 케이블보다 최대 15% 더 많은 전력 지원 가능
- 훨씬 더 나은 유연성으로 무게와 포장 공간 감소. 예: 160mm²의 FF-AI (Flexible Flat Aluminium) 케이블이 200mm²의 원형 AI 케이블을 대체하는 혁신적인 솔루션임
- 오늘날 가장 신뢰할 수 있고 비용이 적게 드는 고정용 볼트를 사용함.
- 추가 부품(볼트)이 추가되고 특정 토크 값이 필요함
- 효율적인 방열 - 연선보다 효과적
- 다중 구조 - 구리 및 알루미늄, 내좌굴성 또는 연성, 라미네이트. 그림 1 참조
- 배터리 내부에 EMC가 필요 없음
- 안전과 품질을 향상시키는 자동화 촉진



01 다양한 버스바의 예 - 내좌굴성, 플렉시블 및 커스텀 설계

버스바 재료와 크기의 중요성

버스바는 일반적으로 내부식성 구리, 황동 또는 알루미늄으로 만들어진 솔리드 튜브이거나 중공 튜브입니다. 버스바의 모양과 크기는 플랫 스트립, 솔리드 바 또는 봉 등으로, 단면적 대비 표면적 비율이 높아서 열 분산이 보다 효율적입니다.

구리는 시간이 지나면서 산화되더라도 전도성을 유지하지만 이는 종종 표면을 따라 전기를 밀어내는 힘이 강해지는 것을 의미합니다. 구리는 장기간에 걸쳐 산화를 완전히 막을 수는 없지만 그 영향을 크게 줄여줍니다. 버스바 표면을 코팅하면 산화를 방지하는 데 도움이 됩니다.

버스바 코팅은 보통 크게 세 가지 용도로 사용됩니다.

- 부식 방지
- 전도성 증가
- 깔끔한 외관

라미네이트 버스바는 파워 일렉트로닉스 회로에서 병렬로 연결된 스위칭 장치의 순환 전류를 방지하는 데 사용됩니다. 또한 낮은 인덕턴스 특성으로 인해 전기차에서의 중요한 적용 영역 외에도 태양 에너지와 풍력 에너지 집열과 분배에 널리 사용됩니다. 절연성 에폭시 코팅 분말을 사용하면 효율과 비용 효과를 높일 수 있습니다. 에폭시 코팅 분말은 절연 내력이 매우 높으며 버스바 구리, 알루미늄 또는 은 도금에 직접 접착됩니다.

버스바는 특정 용도에 따라 크기가 다양합니다. 가장 일반적인 상업용 및 산업용 버스바 크기는 40~60 amp, 100 amp, 225 amp, 250 amp, 400 amp, 800 amp입니다.

자동차 적용 영역에 사용되는 버스바의 현재 크기는 35, 50 또는 90mm²입니다. 버스바는 구리와 알루미늄 모두로 제공됩니다.

재료를 선택할 때 고려하는 주요 차이점은 다음과 같습니다.

- 인장 강도
- 전류 용량
- 저항
- 중량
- 비용

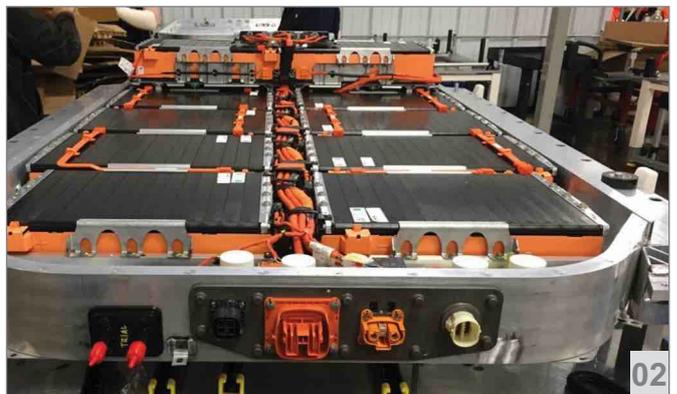
알루미늄 버스바는 비용이 적게 들며 습도가 높은 환경에서도 잘 작동합니다. 그러나 알루미늄은 구리보다 전류 용량이 적고 저항이 높습니다. 구리는 알루미늄보다 열 특성이 우수합니다.

버스바 제조업체는 비용과 재료 선택, 성능 사이의 균형을 상세히 열거하며 전기차와 하이브리드 전기차 또는 배전 적용 영역 내에서 사용하는 버스바에 대한 최소 요구 사항을 검토할 수 있습니다. 물론 전기차와 하이브리드 전기차 배전 적용 영역의 경우 운전자 안전이 더 관심사이며 버스바 재료 선택은 차량 보증 요구 사항을 충족할 뿐 아니라 운전자와 승객의 안전을 위해 가능한 최고의 신뢰성을 달성하는 방향으로 이루어져야 합니다.

전도체 크기 계산은 버스바의 전기적, 기계적 특성에 특히 중요합니다. 통전 요구 사항에 따라 전도체의 최소 폭과 두께가 결정됩니다. 기계적 고려 사항에는 내좌굴성, 장착 구멍, 연결부 및 기타 서브시스템 요소가 포함됩니다.

전도체의 폭은 전도체 두께의 3배 이상이어야 합니다. 탭과 장착 구멍을 추가하면 전도체의 단면적이 변경되어 버스바에 잠재적인 핫스팟이 만들어집니다. 핫스팟을 피하기 위해 각 탭 또는 종단에 대해 최대 전류를 고려해야 합니다.

고려해야 할 또 하나의 중요한 차이점은 솔리드 버스바와 플렉시블 버스바입니다. 전기차 배터리 내 자동차 적용 영역의 경우 솔리드 버스바가 사용됩니다(그림 2 참조).



02 전기차 배터리 팩 내부(Aptive_복미 총회 프레젠테이션)

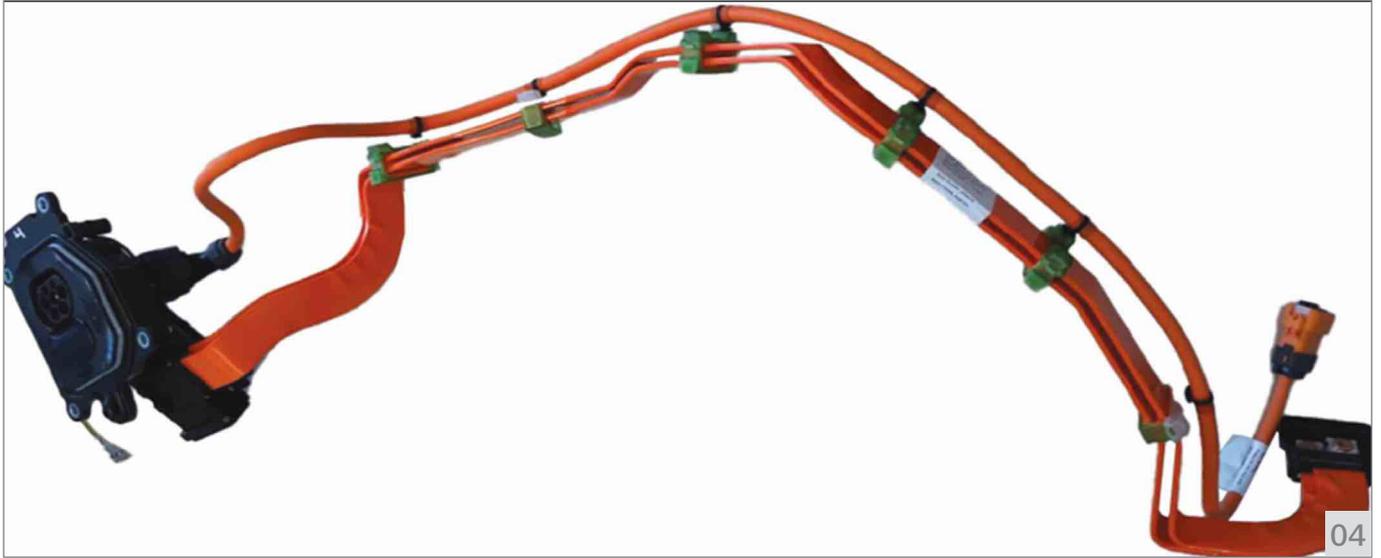
솔리드 버스바와 플렉시블 버스바

플렉시블 버스바는 조립 또는 적용 영역을 위해 특정 영역이 이동해야 하는 경우 짧은 부분에 사용됩니다. 전기 "접퍼"로 사용됩니다. 플렉시블 버스바의 예는 그림 3에 나와 있습니다. 플렉시블 버스바에는 AC 또는 DC 시스템 전체에 전력을 효율적으로 분배하도록 설계된 여러 개의 얇은 구리 또는 알루미늄 층이 있습니다. 구리 포일 스택은 조립 영역에서 움직이도록 중간 부분은 유연하게 유지되는 동안 끝 부분은 연결을 위해 단단하게 만듭니다. 플렉시블 버스바가 필요한 적용 영역의 예는 다음과 같습니다.

- 전기차, 하이브리드 전기차, 연료전지차
- 에너지와 해양 부문의 배전반과 변압기
- 해양 산업의 전력 제너레이터 적용 영역
- 변압기와 충전소
- 철도 적용 영역, 화학 플랜트 및 고전압 배전의 배전반과 변전소
- 제너레이터용 전원 링크
- 스위칭 캐비닛의 전기 연결



03



04 버스바가 있는 주입구 하니스
(Active 북미 총회 프레젠테이션)

미래의 자동차 버스바 적용 영역

배터리 팩 외부의 버스바 혁신은 충전 주입구에서 배터리로, 그리고 다른 고전력 모터와 장치로 높은 전력을 전달하여 미래에 많은 관심을 받을 것입니다(그림 4 참조). 모든 OEM과 Tier 1 공급업체 사이에서 주로 고전압 적용 영역에 사용되는 버스바에 대한 관심이 높아지고 있습니다.

오늘날 배터리 팩에는 약 15~20개의 버스바가 들어갑니다. 팩 외부의 경우 현재는 존재하지 않는 자동화에 의한 차폐 공정이 필요합니다. 현재는 배터리 팩에 중점을 두고 있습니다. 미래의 혁신으로 인해 배터리 팩 외부에서 버스바의 활용이 증가함에 따라 이러한 새로운 적용 영역은 버스바 아키텍처에서 미래 접합 설계의 전반적인 품질을 향상시키기 위해 초음파 용착에 중요한 기회를 창출할 것입니다. 초음파 용착, 특히 토셔널 용착 기술을 사용하면 더 큰 크기의 용착, 부드러운 진동 및 도달하기 어려운 영역을 용착할 수 있습니다. 이러한 기능을 통해 업계가 발전함에 따라 전기차 배터리 팩 외부에 버스바를 추가로 구현할 수 있습니다. 그림 5는 미래 전기차 적용 영역에서 초음파 용착을 구현하는 방법에 대한 몇 가지 예시를 보여줍니다.

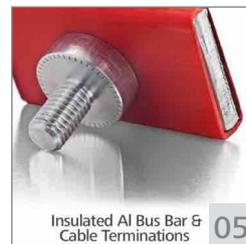
Telsa, BMW, Ford와 같은 회사는 배터리 팩 외부에서 버스바를 활용하는데 앞장서고 있습니다. 최근 글로벌 기술 회사인 Aptive는 이탈리아 회사인 Intercable을 약 6억 달러에 인수하여 배터리 팩 외부의 고전력 분배를 위한 버스바 활용을 적극적으로 추구했습니다. BMW는 이 새로운 배전 방식을 추진할 강력한 조짐을 보이는 상위 3개 고객사 중 하나입니다. 미국과 유럽에서 차폐 기능이 있는 버스바를 연구하고 있는 다른 회사도 몇 곳 있습니다.



Welding of 3D Terminal to Bus Bar



Mounting Solution for Electronic Components



Insulated Al Bus Bar & Cable Terminations 05

05 초음파 용착의 향후 구현
전기차 적용 영역의 버스바

배터리 팩 이외의 적용 영역에 대한 과제

- 배터리 팩 외부의 버스바에는 현재는 제공되지 않는 차폐가 필요하며, 배터리 팩에는 전자기 간섭에 대해 밀봉, 차폐된 케이스가 있음
- 버스바를 가까이서 구부려야 하는 경우 버스바가 너무 뻗뻗하거나, 구부러진 모서리가 손상되는 등의 문제가 있음
- 볼트 체결 공정에는 추가 부품과 특정 토크 값이 필요함. 볼트 구멍이 있는 버스바는 배터리 팩 외부의 버스바 적용 영역을 위해 교체할 수 있음
- AI 버스바는 부식으로 인해 볼트 구멍에 도금이 필요함
- 자동화의 용이성을 위해 솔리드 버스바에 연결된 커넥터 중단
- 차폐로 인해 자동화가 아직 완전히 가능하지 않음
- 용착과 조립에 새로운 표준과 유효성 검증이 필요할 수 있음

초음파 용착을 위한 현재의 버스바 적용 영역

초음파 용착 기술은 검증된 접합 공정으로, 자동차 제조업체에 의해 케이블-터미널 연결, 버스바, 배터리 제조 및 파워 일렉트로닉스 등을 위해 전기차에 점점 더 널리 채택되고 있습니다. 선형 용착은 모든 장비 제조업체에서 와이어 용착을 위한 표준 공정으로 사용하는 보다 전통적이고 잘 알려진 기술입니다. 그러나 다른 접합 공정과 마찬가지로 선형 용착에는 크기 제한, 더 작은 영역과 특정한 기하학적 모양에서 용착하는 데 따른 어려움, 용착 방향 문제, 그리고 주변 구성 요소에 대한 진동 영향 등의 문제가 수반됩니다. Telsonic Torsional SONIQTWIST® 및 PowerWheel® 기술은 이전에는 불가능했던 전기차 접합 적용 영역을 위한 혁신적인 솔루션을 만들었습니다. 이러한 혁신적인 기술은 선형 용착으로는 불가능한 버스바 적용 영역과 관련하여 많은 접합 설계를 가능하게 합니다. 현재 접합에 초음파 용착을 사용하는 더 작은 버스바 적용 영역이 이미 있습니다. 초음파 용착은 면적이 160mm²인 플렉시블 플랫폼 버스바와 같은 많은 버스바에 선호되는 접합 공정입니다.

미래에는 와이어링 하니스용 버스바 구현에서 초음파 용착을 활용하는 많은 새로운 적용 영역이 있을 것입니다. 아래는 버스바 적용 영역에서 초음파 용착의 기존 용도 중 일부를 설명합니다.

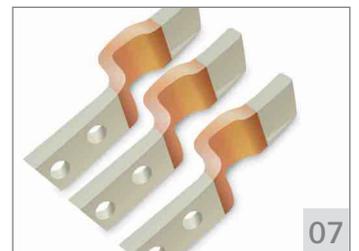
1. 플렉시블 버스바의 응고

플렉시블 버스바는 표준 케이블이나 커넥터에 연결(접합)하기 위해 접합 부분에서 응고해야 합니다. 경우에 따라 케이블이나 터미널에 대한 접합과 응고가 한 단계의 용착으로 이루어질 수 있습니다. 플렉시블 버스바의 전체 치수에 따라 초음파 금속 용착은 고품질의 경제적인 솔루션이 될 수 있습니다. 토셔널 용착 공정을 사용하여 최대 단면적 200mm²의 재료를 용착할 수 있습니다. 이 용착 기술은 접합 재료의 경화를 방지하여 취성을 유발하고 재료 특성에 눈에 띄는 변화를 일으킬 수 있습니다. 또한 응고는 그림 6 및 7의 적용 영역과 같이 TT7 PowerWheel®과 같은 Telsonic 장비로 자동화할 수 있습니다.

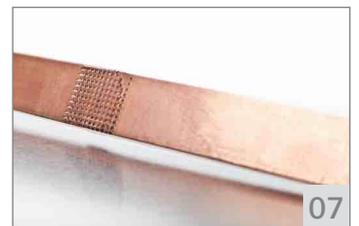


06

06 TT7-Telsonic PowerWheel®



07



07

07 TT7 Telsonic PowerWheel®을 사용하여 솔리드 버스바에 용착한 응고형 플렉시블 버스바와 솔리드 버스바

2. 표준 케이블에 버스바 용착

현재 커넥터에 용착할 주황색 케이블에 버스바를 용착하는 적용 영역이 있습니다. 그림 8은 연선으로 용착한 짧은 케이블의 예를 보여줍니다. 양쪽 끝에 짧은 케이블을 용착하면 두 번째 용착으로 인한 진동 때문에 첫 번째 용착이 약해질 수 있으므로 용착 품질에 불일치가 나타날 수 있습니다. USCAR-38은 길이가 500mm 미만인 케이블에 대한 테스트가 필요합니다. Telsonic PowerWheel을 사용하면 토셔널 용착이 부드러운 진동을 제공하므로 연구 결과에 따르면 터미널 설계에 따라 연선과 플렉시블 버스바 모두에 미치는 영향이 훨씬 적습니다(그림 9 참조). 그 결과 더 짧은 케이블과 적절한 커넥터를 함께 용착할 수 있습니다.



08

08 짧은 케이블(200mm)의 양쪽 끝 용착

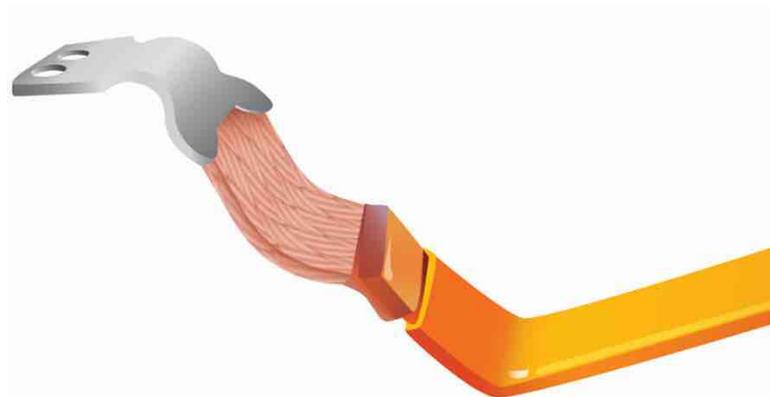


09

09 표준 케이블에 용착된 솔리드 버스바(Active_복미 총회 프레젠테이션)

3. 평평한 편조 케이블에 용착

경우에 따라 제조업체에서 주황색 케이블 대신 평평한 편조 케이블을 사용합니다. 평평한 편조 케이블은 특정 길이로 자동으로 용착, 절단되며 양쪽 끝이 용착됩니다(그림 10 참조). 양쪽 끝에 용착된 편조 케이블은 섀트라고도 합니다. 초음파 용착으로 분리를 생성하는 이점은 분리를 만들고 버스바에 용착할 때 발생하는 열이 최소화된다는 것입니다(그림 11 참조). 이는 사용할 수 있는 또 다른 기술인 저항 용착의 열로 인해 부서지기 쉬운 가닥과 유독 가는 가닥의 흡집을 방지합니다.



11 평평한 편조 접퍼에 연결된 솔리드 버스바

11



10

10 평평한 편조 케이블을 초음파 용착으로 응고 및 용착



10

버스바용 토셔널 용착 적용 영역과 기능

플렉시블 버스바 호일은 산화 문제를 방지하기 위해 구리와 같은 재료로 적층/도금합니다. 솔리드 버스바의 경우 볼트 구멍 연결 부분에 도금이 있어야 합니다. 알루미늄 솔리드 버스바의 경우 연결용 접촉부는 구리여야 합니다. 따라서 구리 와셔를 사용하여 토셔널 용착으로 버스바에 연결합니다(그림 12 참조). Telsonic TSP 용착기(그림 13)와 함께 검증된 SONIQTWIST® 기술을 이 적용 영역에 사용할 수 있습니다.

영국 자동차 제조업체인 Jaguar는 현재 배전용 버스바 어셈블리에 SONIQTWIST® 및 PowerWheel®을 사용하여 토셔널 용착 기능을 활용하고 있습니다. 이 회사는 F-TYPE 스포츠카의 무게와 비용을 크게 줄이기 위해 구리 케이블 대신 버스바를 사용합니다(그림 14 참조). 각 버스바는 차량 트렁크의 배터리에서 엔진실의 전기 장비로 전기를 전도합니다. 알루미늄은 구리보다 상대 밀도가 훨씬 낮기 때문에 버스바의 무게는 기존 구리 케이블의 약 40~60%에 불과합니다. 배터리 연결만으로도 최대 3kg의 무게를 줄일 수 있습니다.

결론

급속히 성장하는 혁신적인 전기차 시장은 새로운 과제를 해결할 수 있는 솔루션을 요구하고 있습니다. 고전압 케이블로 종단하기 위한 현재의 일부 적용 영역을 고전압 버스바가 곧 대체하게 될 것입니다. 업계가 배터리 팩 외부에서 버스바를 사용하는 방향으로 옮겨감에 따라, 자동차 산업에서 버스바 하니스의 표준화가 확립되기 전에 새로운 문제가 발생할 것으로 보입니다. 새로운 적용 영역이 보다 혁신적인 용착 솔루션을 요구함에 따라 용착 장비 제조업체를 포함한 모든 수준에서 과제가 제시될 것입니다. 그러나 새로운 공정과 아이디어는 전기차 시장에서 케이블 하니스를 위한 보다 효율적이고 경제적인 솔루션을 가능하게 할 것입니다. 토셔널 용착은 이러한 시장에서 중요한 접합 공정으로 자리잡았습니다. 다양한 커넥터가 포함된 배터리 케이블의 종단 작업을 위한 솔루션 외에도, 이 기술은 전기차 중량 제어, 배터리 포장, 버스바, 배터리 제조, 파워 일렉트로닉스를 위한 용착 솔루션을 제공합니다. 이전에는 상상조차 할 수 없었던 적용 영역까지 그 용도가 확대되고 있습니다. 제품 설계자들과 공정 엔지니어들이 지속적으로 연구해나가고 있는 이 토셔널 용착 공정 및 그 기능을 통해 전기차 산업의 발전은 앞으로 더욱 박차를 가할 것입니다. OEM, Tier 1 공급업체 및 장비 공급업체 간의 긴밀한 협력 관계는 버스바 활용을 발전시키기 위한 필수 요소입니다. 때가 되면 더 많은 것을 알게 되고 혁신적인 아이디어가 도입되겠지만 초음파 용착은 의심할 여지 없이 재료 비용, 무게 및 공간 감소, 덜 노동 집약적인 제조 공정이라는 목표를 달성하기 위한 솔루션의 일부가 될 것입니다.

작성자: Saeed Mogadam, Telsonic Solutions LLC. 자문 위원회.

이 글은 Wiring Harness News Magazine 2023년 1월호에 실렸습니다.



12



13



14

12 Telsonic SONIQTWIST® TSP

13 Telsonic Torsional 용착기 SONIQTWIST®로 알루미늄 버스바에 용착한 구리 너트(Aptive_복미 총회 프레젠테이션)

14 버스바에 용착한 Leoni 연결 볼트