

## 特輯 : 고상용접의 원리와 응용

# 초음파 용접의 기초

정 호 신

## Fundamentals of Ultrasonic Welding

H. S. Jeong



정호신/부경대학교/  
1954년생/TLP, 마찰  
용접, 용접부의 균열,  
각종 고상용접

### 1. 초음파의 특징

알루미늄의 솔더링, 어군의 탐지, 안경 세척, 포일이나 선의 용접, 피혁과 모피의 염색, 비행장의 안개 제거, 각종 재료 내부의 결함의 탐상, 약품 현탁액의 제조, 돼지 비육도의 측정, 해저 수심의 측정, 암의 조기 발견 등과 같이 이러한 다양한 분야에 공통되는 점은 초음파를 이용하고 있다는 점이다.

이와 같이 다양한 분야에서 응용되고 있는 초음파는 음파의 일종으로서, 음파란 각종의 물질적 매질-기체, 액체 및 고체중을 전파할 수 있는 탄성파이다. 음파의 전파속도는 매질의 성질에 지배되고 밀도가 높은 물질중에서는 밀도가 낮은 매질중에서보다 속도가 늦고, 탄성이 클 경우에는 탄성이 작은 매질보다도 빨리 전파된다(소리의 전파속도는 공기중에서는 340m/sec, 밀도가 더 높은 수중에서는 1,500m/sec, 철강재료 중에서는 5,800m/sec).

또 음파의 속도는 온도, 압력에 따라서도 변하게 되며 공기중에서의 속도는 수중이나 탄산 가스

함유량에 따라 달라지고, 해수중에서의 음의 속도는 염분의 농도에 따라서 달라진다. 표 1에 각종 매질중에서의 음파의 전파속도를 나타낸다.

음파의 파장을 음파가 1 진동시간에 통과하는 거리로 정의하면 음의 진동수  $f$  및 파장  $\lambda$ 와 주어진

표 1. 각종 매질중에서의 음파의 전파속도

매 질	온도(°C)	탄성파의 속도, m/sec
공기	0	331
공기	20	343
탄산 가스	0	259
수소	0	1430
해수	17	500
클로르포름	20	1000
수은	20	1450
에틸 알콜	20	1170
유리	20	3760
강	20	5800
알루미늄	20	6400
인체의 조직	20	1490~1610

매질중의 음의 전파속도 C 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$C = \lambda f \dots\dots\dots (1)$$

단위 진동시간에 음파가 파장  $\lambda$ 와 같아지는 경로를 갖는다고 하면 1초 사이에  $\lambda f$ 의 거리를 진행하게 된다. 그런데 음파가 1초 사이에 통과하는 거리는 주어진 매질중에서의 음의 전파속도가 된다. 이와 같은 관계로부터 진동수가 클수록 매질중의 파장은 작아짐을 알 수 있다. 초음파의 진동수는 가청음의 진동수보다 훨씬 크기 때문에 그 파장은 그 만큼 짧아지게 된다. 초음파는 보통의 음파와 달리 파장이 매우 짧다. 그 때문에 초음파는 광선과 마찬가지로 소리의 그림자를 만든다. 이것을 光束과 상대적인 개념으로 音束이라고 한다.

초음파는 파장이 짧고 音束을 형성할 수 있기 때문에 초음파의 전 에너지를 필요한 방향으로 집중시킬 수 있을 뿐 아니라 초음파 방사선의 초점을 맞추는 작업, 즉 작은 용적에 방사체의 전 에너지를 집중시킬 수도 있다. 이러한 역할을 하는 음의 렌즈는 광학 렌즈와 매우 닮은 형태로 되어 있다.

초음파 방사선의 특징의 많은 부분이 빛의 특성과 유사하지만 초음파 방사선은 빛이 통과할 수 없는 매질중에서도 전파될 수 있다. 이 때문에 광학적으로 불투명한 물체의 연구에 초음파가 이용되고 있다.

초음파의 특성상 저주파수 (15,000~60,000Hz)의 초음파는 집속하기 어렵다. 더 정확하게 말하자면 이와 같은 경우에 집속하기 위해서는 직경이 수 m인 렌즈, 거울 또는 집속 발전기가 필요하지만 이러한 렌즈를 만들기 어렵다.

그러나 저주파 초음파를 항상 집속할 수 없는 것이 아니라 경우에 따라서는 집속이 가능하다. 이때의 물리적 프로세스는 선단부가 매우 가늘고 긴 금속봉 내부를 음파가 전파되는 경우를 상정하여 보면 봉의 단면적이 점점 작아지기 때문에 단위 단면적을 통과하는 출력(음의 세기)은 점점 커질 것이다.

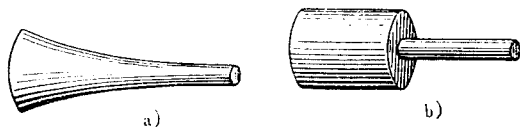


Fig 1. 초음파 호온의 형태

계산에 의하면 봉의 가장 유효한 형상은 그림 1과 같이 지수함수적으로 변하는 형상과 계단상의 경우이다. 이 봉의 길이를 1, 2 또는 3 파장이 되도록 선정하면 집중효과를 더욱 더 향상시킬 수 있다. 이것은 공진계에서 이와 같은 호온의 단부에서의 강도 즉 진동진폭은 재료의 강도의 한계치까지 높일 수 있다. 이러한 목적으로 사용되는 재료 (예: 철강)의 대부분은 15,000~16,000Hz 주파수 범위에서 호온 단부에 약 0.1mm의 진동 진폭을 얻을 수 있다. 이것은 20,000Hz의 주파수에서는 200cm/sec의 진동속도에 상당하고, 지구 인력에 의한 가속도의 25,000배에 상당한다. 이와 같은 호온은 초음파 공진, 용접 분야나 각종의 제조 프로세스에 널리 사용되고 있다.

초음파는 다양한 분야에 널리 이용되고 있지만 각종 재료의 용접에 실제로 적용되고 있는 사례를 중심으로 기본적인 사항에 대하여 살펴 보기로 한다.

## 2. 초음파 용접의 개요

2매의 금속을 맞대어 그 한 쪽에 접촉면과 평행하게 고주파진동을 가하면 단시간에 접합된다. 이 공정을 초음파 용접이라고 하며 그 물리적인 본질은 아직 불분명하지만, 첫째로는 강한 마찰에 의해 금속 자유면의 산화물층이 제거되기 때문이라는 점과 둘째로는 마찰에 의해 금속 표면이 강하게 가열되어 이에 따른 연화에 의해 접합이 된다고 하는 점이다. 그러나 이와 같이 가열된다고 하더라도 가열은 표면부에만 국한되고 다른 부분은 가열되지 않는다. 따라서 초음파용접은 냉간접합이라고도 한다.

또 가압력과 진동에 의한 힘이 동시에 작용하기 때문에 용접할 면을 미리 청정하게 할 필요는 없고 용접전의 단계에서 자연적으로 청정화가 이루어진다고 하는 사실이 간접적으로 증명되고 있다.

초음파 용접(Ultrasonic welding)의 특징을 요약하면 고상용접의 일종으로서 용접중에 국부적으로 고주파 진동에너지와 압력을 가하여 용접하는 방법이다. 이 때 모재를 용융시키지 않고 건전한 야금학적 결합부가 얻어진다는 데에 큰 특징이 있다.

또한 초음파용접은 다른 용접법에 비해 경제성이 매우 높고, 초음파용접에 필요한 출력이 전기

아크 용접에 필요한 출력의 5~10%로 충분한 경우가 많다.

초음파용접시의 기본적인 구성도를 그림 2에 모식적으로 나타낸다.

초음파 진동은 Transducer에서 발생되고 이 진동이 음향극(Sonotrode)을 통하여 모재에 전달된다. 또 음향극은 용접재와 직접 접촉되며, 이 극을 통하여 진동에너지가 전달된다. 용접시의 가압력(Clamping force)은 음향극 단부에서 가해지게 된다. Anvil은 용접재를 지지하며 가압력에 대한 반력을 부가하는 역할을 한다.

초음파 용접은 통상의 방법으로는 용접하기 어려운 동종 금속이나 이종 금속의 용접에 널리 사용된다. 알루미늄, 구리, 황동, Zr, 백금, Ti, Nb, Mg, 금, Mo, Ni, 스테인리스강 및 기타의 많은 금속 동종재 및 이종재를 신속하게 접합할 수 있다. 또 이들 금속과 결정과의 접합도 가능하다. 예를 들면 게르마늄이나 규소 반도체에 금 리드선을

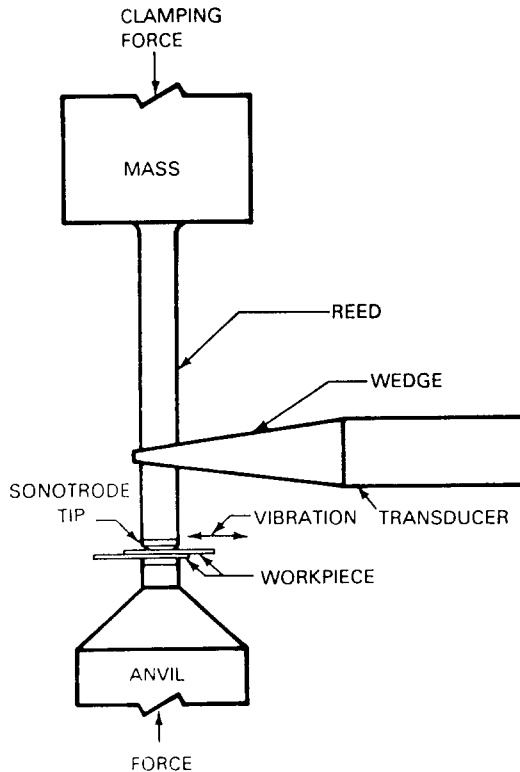


Fig 2. 초음파 용접 장치의 기본 구성도

용착할 수도 있다. 초음파 용접이 가장 효과적으로 이용되고 있는 분야는 박판이나 박(foil)과 같이 매우 얇은 층을 얇은 부품이나 큰 부품에 접합하는 경우이다. 왜냐 하면 통상의 용접법으로는 큰 부품은 충분히 가열되지 않고, 얇은 부품은 연소되어 버리기 때문이다.

이 용접법은 반도체, 미세회로, 전기 점접의 형성에 대한 생산기술로서 사용되고 있는 데 소형 모터, 알루미늄 박의 가공, 알루미늄 합금의 조립 등에 이용되고 있다. 한편 최근에는 자동차, 우주항공 산업 분야의 구조체 용접용으로도 채용되고 있다.

## 2.1 용접법

용접법에는 크게 4종류가 있는 데 이것은 얻어지는 용접부의 형태에 따라 분류한 것이다. 형태에는 점(spot), 환형(ring), 선(line), 연속 시임(continuous seam) 등이 있다.

## 2.2 점 용접

음향극과 앤빌 사이에서 가압하여 용접재에 순간적으로 진동 에너지를 부여하므로써 점 용접부가 얻어진다. 점 용접부의 형상은 대략 타원이다. 또한 용접부가 겹쳐지게 하므로써 연속용접부를 얻을 수 있으며 이 경우에는 최소 1 inch당 5~10점의 용접부가 얻어진다. 만약 밀폐(leak-tight)할 필요가 있을 때에는 용접부의 간격을 더 조밀하게 할 수도 있다.

## 2.3 환형 용접(ring welding)

이 방법은 폐쇄 loop를 형성하는 용접법으로서 통상 원형이지만 정사각형, 직사각형, 타원형 등의 용접부가 얻어진다.

## 2.4 선 용접

선 용접은 점 용접이 변형된 것으로 용접 대상재를 앤빌과 음향극 사이에 고정하여 용접한다. 음향극은 용접부가 존재하는 면에 평행하게 진동하며 용접선과 가압력의 작용 방향과는 수직을 이룬다. 그 결과 폭이 좁고 직선적인 용접부가 얻어지

는데 한 용접 사이클 당 길이 6 inch의 용접부가 얻어진다.

### 2.5 연속시입용접

연속 시입 용접에서는 회전하는 디스크형의 음향극과 로울러 또는 평면 앤빌 사이에서 용접부가 얻어진다. 음향극이 연속적으로 이동하는 형식과 용접 대상재가 연속적으로 이동하는 형식이 있다.

## 3. 용접 야금의 기초

용접의 기구는 금속판 표면을 미시적으로 평활하지 않고 서로 겹치면 돌출부가 있는 부분이 접촉하지만 정지 가압과 진동에 의해 슬립을 이동시켜서 접촉부의 흠착물이나 산화피막이 파괴되어 제거된다. 초음파 용접의 제 1단계로서 초음파 진동에 의해 두 면이 마찰되어 산화물이나 흠착물이 파괴되어 기계적으로 클리닝됨과 동시에 평활화되어 응착핵이 발생하는 과정이 있다.

다음 단계인 제 2단계로 이행되면 팁과 용접물 사이에서 상대 운동이 일어나 급격한 소용유동에 의해 접합 면적이 확대된다.

그림 3은 접합 과정을 접합계면의 거동과 관련시켜 나타낸 것이다. 청정한 면이 서로 접촉함과 동시에 탄성변형이나 소성 변형 또는 마찰력에 의하여 온도가 높아지므로 접합면 사이에 원자간의 인력이 작용하여 용접된다. X선 회절에 의해 접합면을 조사해보면 완전한 연속 결정의 조직이 형성되어 있음을 확인할 수도 있다. 그러나 이종 재료 사이에서도 이음 효율을 저하를 초래하는 취화층의 형성은 없으며 결국 접합 기구는 마찰에 의한 표면 청정과 가열, 경계 확산이나 체적 확산에 의한 밀착화나 재결정, 상호확산에 의한 합금화, 또 금속의 마찰계수, 열전도율 등 물리적 성질 또는 접합면에 인접한 상의 소성변형에 의한 발열등과 관련되며 온도가 용접을 지배하는 가장 큰 인자라고 할 수 있다. 또 용접시의 온도 상승은 적어도 재료의 재결정온도 이상임이 확인되고 있다.

초음파 용접의 특징은 다음과 같다.

1) 냉간 압접에 비해 정지 가압력이 작기 때문에 용접물의 변형이 적다.

2) 용접물의 표면처리가 간단하며 as-rolled 재료의 용접이 용이하다.

3) 경도 차이가 극히 크지 않는 한 이종금속의 용접이 가능하다.

4) 박판과 포일의 용접이 용이하다.

5) 판의 크기에 따라 용접강도가 매우 달라진다.

## 4. 용접 조건

일반적으로 초음파 접합 장치의 접합조건은 초음파 출력, 가압력 및 용접시간이 중요한 인자이다. 이들 인자의 상호 관계는  $\mu$ : 상태 운동하는 면의 마찰 계수,  $p$ : 가압력,  $v$ : 팁의 진동속도,  $\omega$ : 각 주파수,  $\zeta$ : 진동 진폭이라 하면 앤빌을 통해 손실되는 진동이나 기타의 loss를 무시하면 팁은 마찰력  $\mu p$ 에 대하여 진동 속도  $v$ 로 진동하므로 출력  $W$ 는 다음 식으로 주어진다

$$W = \mu p v \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{여기서 } v = \omega \zeta \dots\dots\dots (3)$$

따라서 시료에 투입되는 초음파 에너지  $E$ 는 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$E = \int W dt = \int \mu p v dt \dots\dots\dots (4)$$

식 (4)로부터 접합에너지는 팁의 진동속도, 가압력, 용접시간의 곱으로 나타낼 수 있음을 의미하고 있다. 더욱이 마찰계수  $\mu$ 는 시료나 팁의 표면 상태, 시료의 고정 방법 등에 관계되는 것으로 가압력  $p$ 와 진동속도  $v$ 는 시료의 재질, 경도, 칫수 등에 따라 결정된다.

$\mu$ ,  $p$ ,  $v$ 는 각각 접합 과정중에 변화하지만 접합성을 향상시키기 위해서는 접합재의 종류나 칫수에 따라  $p$ 와  $v$ 를 적절하게 조정하여야 한다.

## 5. 접합에 영향을 미치는 주요 인자

가) 팁의 형상과 마찰계수

팁의 선단은 구면으로 하고 그 반경  $R$ 은 상부 시료 판 두께  $t$ 의 50~100배가 적당하다.

판의 두께가 두꺼워지면 팁의 표면을 줄 (file)로 그어 주어 마찰계수를 크게 하므로써 접합 강도를 높일 수 있다.

나) 주파수의 영향

접합에 필요한 진동속도  $v$ 는 주파수와 진동 진폭의 곱으로 나타낼 수 있다. 가는 선이나 매우 얇은 판의 접합에서는 주파수를 크게 하면 진동 진폭이 작아지므로 변형을 적게 하여 접합 강도를 높일 수 있다.

다) 시료 크기의 영향

길이가 긴 시료나 폭이 넓은 시료를 초음파 접합할 경우, 특정한 크기나 위치에서 접합이 곤란한 경우가 있다. 특히 상부 시료의 길이가 종파의 1/4 파장의 기수배에 가까워지면 진동이 생기기 어려워지며, 접합이 거의 곤란하게 된다(그림 3). 이에 대한 대책으로는 접합점 근방을 Clamping하거나 시료의 방향을 바꾸어 주는 것이 효과적이다.

라) 시료의 표면 거칠기 및 오염도

시료의 표면 거칠기나 오염도는 변형과 접합 강도에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 평활하고 청정한 면일수록 용접에 필요한 변형량이 적고 접합 강도가 커진다.

마) 앤빌

초음파 접합에서는 시료 사이의 상대 운동이 필요하기 때문에 하부 시료(앤빌 측)는 충분히 고정되어 움직이지 않아야 한다.

그렇게 하기 위해서는 앤빌의 질량을 크게 하며 표면에 즐질(filing)을 한다.

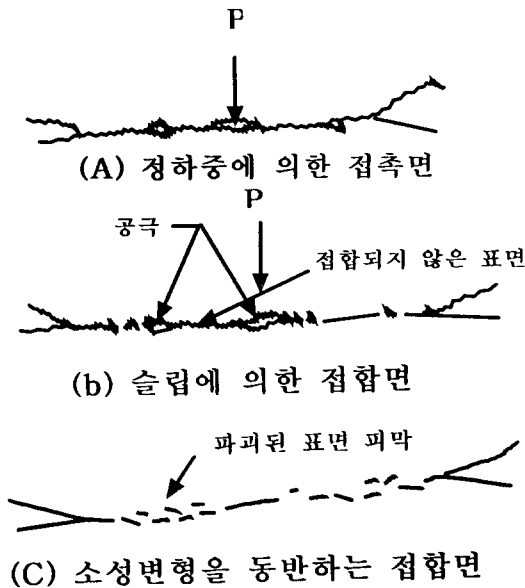


Fig 3. 초음파 접합 과정

바) 시료의 점침량

시료의 단부를 겹쳐서 접합할 경우, 점침량 또는 겹치는 방식이 중요하며 이것이 변하면 소성변형 저항이 달라지기 때문에 부하 변동이 생기게 된다.

6. 용접 기구

초음파 용접시 정적 가압력 (static clamping force), 전단 응력 및 용접부의 온도 상승 사이에는 복잡한 관계가 존재한다.

용접부를 얻기 위해 필요한 이들 인자의 값은 용접 대상재의 두께, 표면 상태 및 기계적 특성에 지배된다.

가) 응력의 형태

모든 초음파 용접에서는 용접재 사이의 계면에 수직 방향으로 정적 가압력이 가해진다. 음향극은 대체로 이 계면에 평행 방향으로 진동한다. 정적 가압력과 음향극이 진동에 의해 용접재의 접촉면에 동적 내부 응력이 생기고 이에 따라 탄소성 변형이 유발된다.

용접재에 생기는 응력이 탄성한도 이하이면 용접재는 탄성 변형하지만 응력이 탄성한도 이상이 되면 국부적으로 계면에서 슬립변형이 일어나게 된다. 따라서 재료 표면의 산화막이 파괴되어 다수의 금속-금속 결합점이 생기게 된다. 진동이 계속 되면 재료 표면의 요철이 파괴되어 금속결합 면적이 증가하여 물리적으로 연속된 용접부가 얻어지게 된다.

그와 동시에 계면을 관통하여 원자의 확산이 생기고 금속은 재결정이 일어나 매우 미세한 조직으로 된다.

나) 용접부의 온도

상온에서 초음파 용접하면 탄성 히스테리시스, 국부적인 계면 슬립 및 소성 변형이 복합적으로 작용하여 국부적인 온도 상승이 생기게 된다.

그러나 정적 가압력, 전력 및 용접 시간이 적절한 경우에는 금속은 용융되지 않는다. 용접부를 광학 현미경과 전자 현미경으로 조사해 보면 상변태, 재결정, 확산 및 기타의 야금학적 현상은 관찰되지만, 용융의 증거는 찾아볼 수 없다.

용접시의 최고 온도는 용접시의 각종 인자에 따라 달라진다.

전력을 증가시키면 최고 온도가 높아지며, 정적 가압력을 높이면 초기 온도 상승률이 높아지지만 최고 온도는 낮아진다. 그러므로 온도 분포는 용접조건을 적절하게 제어하므로써 조절할 수 있다.

계면의 온도는 용접 대상재의 열적 특성에 관계되며 일반적으로 열전도도가 낮은 금속, 예를 들면 Fe의 경우, 열전도도가 높은 Cu나 Al보다 온도가 높아진다.

다) 용접부에 전달되는 에너지

초음파 용접기는 60Hz의 교류 전원을 이용하여 이것을 용접에 요구하는 주파수로 변환하는 역할을 한다. 통상 용접에 사용되는 주파수 범위는 10~75Hz이다. 고주파 전기 에너지는 용접기의 한 개 이상의 transducer에 의해 동일한 주파수를 갖는 기계적인 진동에너지로 변환된다. 또 진동에너지는 음향극을 통해 용접재에 전달된다. 이 때의 에너지 일부는 엔빌로 방출되고 일부는 용접부로 전달된다.

전력은 용접기의 여러 부분 즉 주파수 변조기, 트랜서듀서, 음향극 등에 의해 손실된다. 그러나 대부분의 경우 input의 80~90%는 용접부로 전달

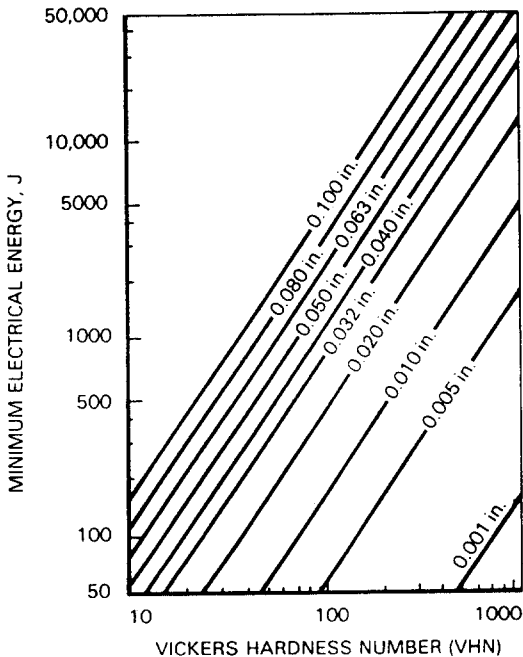


Fig 4. 초음파 접용접시의 각종 박판의 두께와 경도 및 최소 전기 에너지와의 관계

된다.

라) 전원과 용접성

초음파 용접에 필요한 에너지는 용접재의 경도, 음향극 tip과 접촉하는 부분의 두께에 의해 결정된다. 각종 재료와 두께에 따라 얻어진 경험식은 다음과 같다.

$$E=K(HT)^{3/2} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 E: 전기 에너지 WS(J), K: 용접기에 따라 주어지는 상수

H: Vickers 경도, T: 음향극과 접촉하는 판의 두께, in(mm)

그림 4에 재료의 경도와 판 두께에 따라 건전한 점 용접부를 얻는 데에 필요한 에너지를 나타내고 있는 데 이것은 위의 식 (5)에 근거한 것이다.

7. 각종재료의 용접성

대부분의 금속과 그 합금은 초음파 용접할 수 있다. 그림 5에 용접 가능한 상용재료를 나타낸다. 이 그림에서 아무 표시가 되어 있지 않은 경우는 용접이 어렵거나 용접을 시도한 적이 없는 경우이다. 각종 금속은 그 화학조성과 물성에 따라 용접성이 달라진다. 용접하기 어려운 재료로 간주되는 금속은 높은 출력이나 긴 용접시간이 요구되는 경우이다.

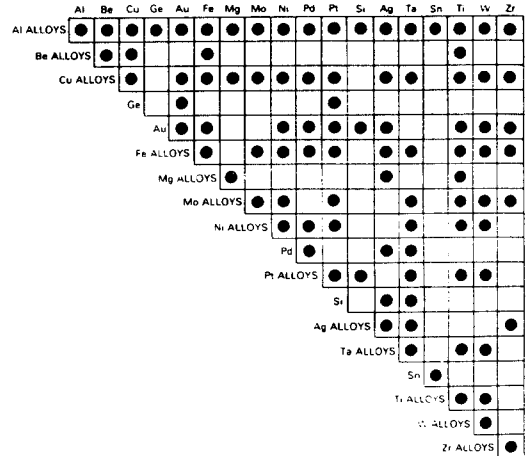


Fig 5. 초음파용접 가능한 금속의 조합

### 1) 알루미늄 합금

알루미늄은 비교적 쉽게 용접할 수 있다. 즉 주조, 압출, 압연, 단조 또는 열처리 등 재료의 이력에 관계없이 어느 경우에도 용접할 수 있다. 또 알루미늄은 다른 대부분의 금속, 예를 들면 Germanium, 규소 및 주로 반도체 재료와 용접할 수 있다.

그림 6A는 알루미늄 합금 초음파 용접부의 현미경조직을 나타낸 것으로 용접 계면에 산화피막이 존재함을 알 수 있다. 그림 6B는 접합계면을 따라서 전면적인 소성 유동이 일어나고 재결정에 의해 결정립이 미세하게 된 것을 알 수 있다.

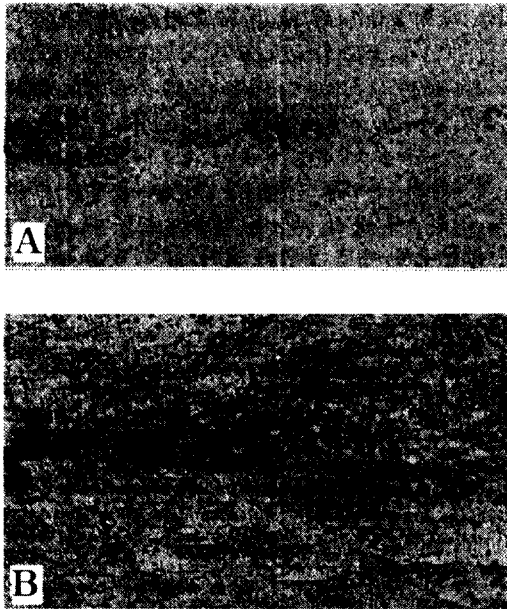


Fig 6. 알루미늄 초음파용접부의 현미경조직

### 2) Cu 합금

구리와 그 합금은 용접성이 좋다. 구리의 열전도도가 좋다는 것은 용융용접과 달리 초음파용접의 저해인자가 아니다. 이 합금의 용접시에는 특히 재료의 표면 상태가 중요하다.

### 3) 철과 강

철과 강, 예를 들면 주철, 저탄소강, 공구 및 Die강, 오스테나이트계 스테인리스강, 석출경화형계 스테인리스강 등의 경우에도 용접성이 상당히

좋다.

용접시의 출력은 알루미늄이나 구리보다 더 높아야 한다.

### 4) 귀금속

금, 은, 백금, 팔라듐 및 그 합금과 같은 귀금속도 쉽게 용접할 수 있다. 대부분의 귀금속은 다른 금속이나 게르마늄, 규소 등의 재료와 우수한 용접성을 갖는다.

### 5) 고용점 금속

Mo, Cb, Ta, W 및 그 합금과 같은 고용점재료는 초음파 용접하기 가장 어려운 재료이다. 이들 재료는 표면의 오염이나 내부결함이 없을 때 용접이 가능하다.

### 6) 기타의 금속

Ni, Ti, Zr, Be, Mg과 그 합금도 포일일 경우에는 쉽게 용접된다. 금속의 포일이나 와이어는 유리나 세라믹 또는 규소 위에 스프레이한 층에 쉽게 용접되는 데 이러한 용접은 반도체 산업에서 매우 유용하다. 이것의 예를 표 2에 나타낸다.

## 8. 초음파 용접의 단점

용접기의 출력에 제한이 따르기 때문에 효과적으로 초음파 용접할 수 있는 금속의 두께에는 제한이 있다. 용이하게 용접할 수 있는 알루미늄 합금(1100)의 경우, 용접 가능한 최대 두께는 약 0.1 inch (0.4~1.0mm)이다. 이러한 제약은 오직 텃과 직접 접촉되는 재료에 한정되는 것으로 다른 부분의 재료의 두께는 더 커질 수 있다.

아주 작은 단면의 경우에는 쉽게 용접할 수 있는데 예를 들면 직경이 0.005" (0.01mm) 이하의 극미세 와이어와 박두께 0.00017" (0.004mm)의 포일이 이러한 예에 속한다.

어떤 출력 범위에서 용접하기 힘들 경우에는 두 용접재 사이에 포일을 삽입하면 용접품질이 우수한 이음부를 얻을 수 있다. 이러한 적용 예로는 1) 두께 0.0005" (0.01mm)의 Ni이나 백금 포일을 Mo 용접재 사이에 삽입하는 경우, 2) Be 포일과 STS 310의 용접시 이 재료 사이에 알루미늄 포일을 삽입하는 경우, 3) Al 1100 포일을 사용하여 2014 Al 합금의 용접 가능한 범위를 확대하는 경우 등이다.

표 2. 초음파용접 가능한 금속-비금속 와이어 및 리본

Substrate	Metal Film	Lead	
		Material	Diameter or Thickness Range, in.
Glass	Aluminum	Aluminum wire	0.002-0.010
	Aluminum	Gold wire	0.003
	Nickel	Aluminum wire	0.002-0.020
	Nickel	Gold wire	0.002-0.010
	Copper	Aluminum wire	0.002-0.010
	Gold	Aluminum wire	0.002-0.010
	Gold	Gold wire	0.003
	Tantalum	Aluminum wire	0.002-0.020
	Chromel	Aluminum wire	0.002-0.010
	Chromel	Gold wire	0.003
	Nichrome	Aluminum wire	0.0025-0.020
	Platinum	Aluminum wire	0.010
	Gold-platinum	Aluminum wire	0.010
	Palladium	Aluminum wire	0.010
	Silver	Aluminum wire	0.010
Copper on silver	Copper ribbon	0.028	
Alumina	Molybdenum	Aluminum ribbon	0.003-0.005
	Gold-platinum	Aluminum wire	0.010
	Gold on molybdenum-lithium	Nickel ribbon	0.002
	Copper	Nickel ribbon	0.002
	Silver on molybdenum-manganese	Nickel ribbon	0.002
Silicon	Aluminum	Aluminum wire	0.010-0.020
	Aluminum	Gold wire	0.002
Quartz	Silver	Aluminum wire	0.010
Ceramic	Silver	Aluminum wire	0.010

9. 초음파 용접의 최근의 동향

참 고 문 헌

이미 설명한 바와 같이 상하 구동식 초음파 용접에서는 용접부와 직교하는 진동을 시료의 상하에서 부가하여 접합하는 방법이라고 하였지만, 용접팁을동일 주파수 또는 다른 주파수로써 직교시켜 구동하므로써 용접팁부의 진동궤적을 통상의 직선으로부터 타원, 원형, 장방형, 정사각형 형태로 제어할 수 있는 방법이 개발되어 사용되고 있으며 이러한 최근의 이러한 초음파 용접 방식을 '복합진동을 사용하는 초음파용접' 이라고 한다. 복합진동을 부여하므로써 필요한 용접시간이 통상의 직선상의 진동 궤적에 비해 ½ 이하이며 또 한 양호한 접합부가 얻어지고 있다.

한편 필요한 진동진폭도 ½ 이하로 되어 접합성이 현저히 증가되며 접합의 방향성이 없어지고 양호하고 안정된 접합을 실현할 수 있다.

1. 上田光隆, 초음파입문, 동경도서, pp. 10-34, 46-61, 145-149
2. 橋本達哉, 岡本都男, 고상용접-ろう付, 산보출판, pp. 59-74
3. AWS, Welding Handbook, vol. 8,
4. U. I. Chang, J. Frisch, An optimization of some parameters in ultrasonic metal welding, W. J. vol. 53-1 (1973), 24-s-35-s
5. C. L. Estes, P. W. Turner, Ultrasonic closure welding of small aluminium tubes, W. J. vol. 52-8 (1973), pp 359-s-369-s
6. T. H. Hazlett, S. M. Ambeker, Additional studies of interface temperature and bonding mechanism of ultrasonic welds, W. J. vol. 49-5 (1978), 19-25
7. K. C. Joshi, The formation of ultrasonic bonds between metal, W. J. vol. 50 (1971), pp. 840-848