

## 초음파 가공에 의한 Ni-Cu 박판의 용착 특성 평가

백시영<sup>1</sup>, 장성민<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>순천향대학교, <sup>2</sup>유한대학 기계과

### Evaluation on Welding Characteristic of Ni-Cu Sheet by Ultrasonic Machining

Si-Young Back<sup>1</sup> and Sung-Min Jang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Soonchunhyang University

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Yuhan University

**요약** 본 논문은 초음파 가공에 의한 용착성을 가공조건의 영향에 관하여 나타내었다. 한파장 혼의 최적화를 이용한 Ni-Cu 이종금속 박판의 용착성 평가는 초음파 가공 방법을 이용하여 확인된다. 초음파 가공변수 설정에 따른 인장시험을 통한 최적의 용착조건을 제시하였으며 SEM 사진과 EDX-ray 분석에 의한 용착성을 평가하였다. 실험적 연구는 초음파 가공 후 인장강도의 측정, SEM사진 분석으로 수행된다. 또한 가공시간, 가압력, 진폭의 가공변수들은 본 연구에 적용되었다.

**Abstract** This paper is studied on the influence of machining conditions on weldability obtained by ultrasonic machining. The weldability estimation of dissimilar Ni-Cu sheets with the optimization of one-wavelength horn is confirmed by the use of ultrasonic machining. The optimal welding condition with tensile test by setting the ultrasonic machining parameters is suggested and the weldability is estimated by SEM observation and EDX-ray analysis. Experimental studies are worked with the measure of tensile strength and the analysis of SEM photograph after the ultrasonic machining of workpiece. Machining parameters of machining time, pressure, and amplitude are also applied to this paper.

**Key Words** : Ultrasonic machining, Welderbility estimation, Ni-Cu sheet, SEM observation, EDX-ray analysis, Tensile strength, Machining parameters

### 1. 서론

각종 첨단 산업에 소요되는 반도체 및 전자부품은 신소재에 의한 소형화, 경량화, 고정밀화 추세로 발전해 나가고 있다. 또한 미래 지향적 산업인 원자력, 우주항공 산업 등에는 고경도 및 내열성을 요구하는 초내열합금 등의 신소재를 사용한다. 이와 같은 신소재는 주로 일반적인 기계가공이 매우 어려운 난삭재이며, 따라서 생산에 곤란을 겪고 있다. 이러한 신소재들을 대상으로 제조현장에서는 초음파 가공이 종종 사용되고 있다. 난삭재의 가공 수요 증가와 정밀가공의 중요성 그리고 기타 초음파를 응용한 기술 개발을 요구하는 수요 측면에서 초음

파 가공기술의 개발은 매우 필요한 시점이라 할 수 있으며 특히 그 적용분야가 매우 넓다는 것이 큰 장점이다. 실제로 초음파 가공은 현존하는 가공기술 중에서 난삭재의 가공 생산성을 향상시킬 수 있는 가장 유망한 가공 기술이며, 세계적으로도 수요가 계속 증가하고 있다. 초음파 가공기의 개발은 국내 초음파 관련 발전기 수입을 대체할 수 있으며, 고출력 가공기의 개발을 통해 저변기술 축적으로 인한 금속용접(Metal welder), IC 본더(IC bonder), 세라믹 전용 가공기 등 다른 가공기술로의 파급 효과를 가져올 수 있다[1]. 초음파 에너지는 의학, 공업계측, 부품소재 가공 등 다양한 분야에서 초음파 진단, 초음파 탐상, 초음파 가공 및 초음파 용착과 같은 기술로 광

\*교신저자 : 장성민(twkjms@yuhan.ac.kr)

접수일 10년 10월 15일

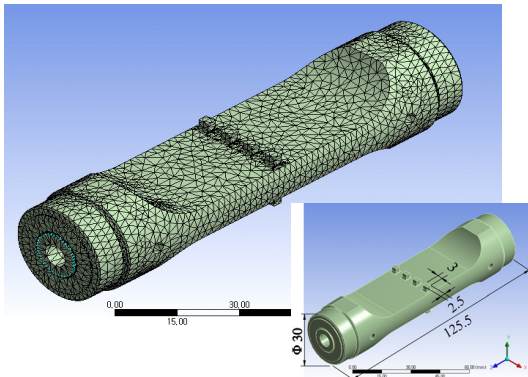
수정일 10년 11월 01일

게재확정일 11년 03월 10일

범위하게 응용되고 있다[2]. 특히 미세 피치 저온 접합 기술 중 하나인 초음파 금속 용착(Ultrasonic Metal Welding)은 신소재나 이종 금속의 접합, 전해 콘덴서(Electrolytic Condenser)의 극판 접합, 솔더링(Soldering)을 대체하는 전자제품 및 반도체 생산 등에 실용화되면서 관심의 대상으로 부각되고 있으며 낮은 전기저항과 우수한 기계적 결합력뿐만 아니라 열 변형에 의한 손상을 최소화할 수 있는 특징이 있어 최근에는 반도체 칩(Chip)의 패키징(Packaging) 기술, 자동차나 우주항공 산업의 경금속 바디(Light Metals Body) 접합, 선박건조 등 다양한 분야에서 활용도가 크게 높아지고 있는 추세이다[3,4]. 본 연구에서 적용된 한파장 스텝 혼을 사용한 금속 용착은 반도체 제조회사에서 리드 단자의 전선용착 및 2차 전지 출력단자 박판접합 등에 응용되고 있다.

초음파 금속 용착은 기반 산업에 파급효과가 큰 원천 기술 산업으로 그 용착성을 평가한 연구 [5-7] 등 초음파 관련 연구가 진행되고 있으나 매우 미흡한 실정이며 관련 산업 발전을 위해서는 질적, 양적인 측면에서 보다 적극적인 연구를 필요로 하고 있다.

본 연구에서는 이종 금속인 Ni-Cu 박판의 고품질 용착을 위해 각각의 용착 조건에 따른 초음파 가공에 의한 박판 구조물의 용착 후 용착강도를 평가하였으며 용착계면(Welding Interface)의 조직 관찰 및 성분을 분석하여 용착성을 평가하였다.



[그림 1] 한파장 스텝혼의 유한요소 모델

초음파 가공에 의한 금속 용착부의 품질을 좌우하는 변수로 중요시 되는 것은 가공시간(Machining time)과 가압력(Pressure), 진폭(Amplitude) 등으로 용착 대상의 종류나 크기에 따라 다양하게 설정된다. 변수의 최적화는 우수한 용착강도를 얻을 수 있으며, 특히 진폭은 혼의 재질과 형상에 따라 크게 좌우되므로 혼의 설계가 매우 중요하다[8]. 따라서 본 연구에 앞서 이종 금속 박판의 용착에

사용되는 초음파 가공용 한파장 스텝 혼의 최적 설계를 목적으로 1차원 파동 방정식을 이용한 형상 치수를 결정하였으며, 40kHz용으로 설계된 한파장 혼을 그림 1과 같이 유한요소해석에 의해 진동 특성을 파악하였다[9].

## 2. 초음파 가공

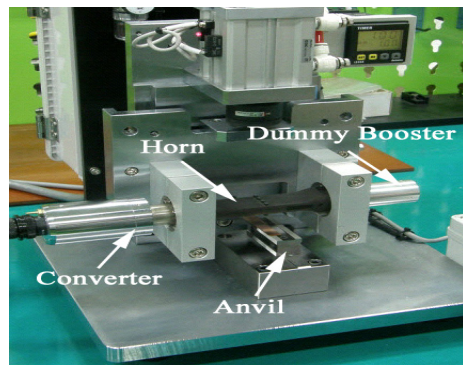
초음파 금속 용착은 국부적으로 초음파 진동에너지와 가압력을 동시에 가하여 단 시간 내에 용착되는 고상확산접합(Solid-state Diffusion Bonding)으로 용착 계면의 산화막과 불순물이 분산되면서 두 금속의 순수 원자층이 드러나 원자간 상호인력에 의한 금속 확산결합으로 보고되고 있다[10].

본 연구는 한파장 스텝 혼 공구 사용에 의한 초음파 가공 방법으로 이종 금속인 Ni-Cu 박판을 대상으로 용착실험을 수행하였다. 각각의 시편은 용착조건에 따른 초음파 가공 후 시편의 금속간 용착성을 평가, 분석 하였다.

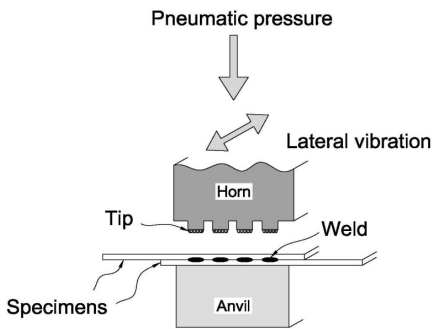
### 2.1 실험장치

한파장 스텝 혼은 그림 2와 같이 양 끝단에서 지지되고 앤빌은 시편을 고정시키는 동시에 혼에 의한 가압력을 지지한다. 그림 3은 작동원리를 나타낸 모식도로써 공구 혼은 용착 대상물인 Ni-Cu 박판 시편에 압력을 가한 상태에서 횡 진동(Lateral Vibration)을 전달하여 용착시킨다. 용착기의 주요 사양은 표 1에 나타내었다.

초음파 가공된 시편의 용착강도 측정은 그림 4에 나타난 바와 같이 인장 시험기를 사용하여 실험하였다. 인장 시험을 위해 사용된 로드 셀(Load cell)은 최대 200N의 용량이며 인장 시험기의 분해능은 로드셀에 대하여 1/10000N이다. 표 2는 본 연구에 사용된 인장시험기의 사양을 나타낸 것이다.



[그림 2] 초음파 금속 용착기



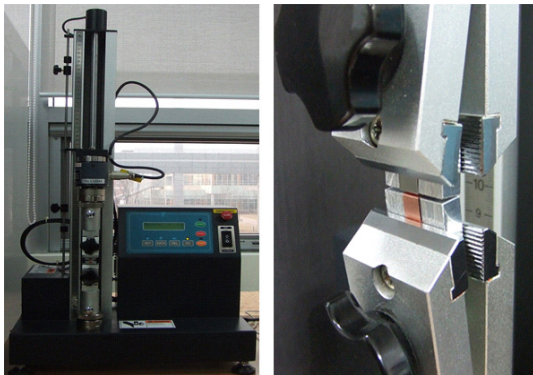
[그림 3] 초음파 금속 용착에 관한 모식도

[표 1] 초음파 금속 용착기 사양

Welding parameters	Ranges
Power	800 watts
Frequency	40 khz
Welding speed	2 m/min
Pneumatic cylinder	φ 40
Pressure	0.1 - 1.0 MPa
Converter amplitude	8 - 9 μm

[표 2] 인장시험기의 사양

Capacity	200 N
Max. travel	400 mm
Space	φ 100 mm
Speed	5 - 500mm/min
Force resolution	1/10000 N
Stroke resolution	5 μm
Dimension	400×300×600 mm
Power	100-240 VAV1 φ 2A



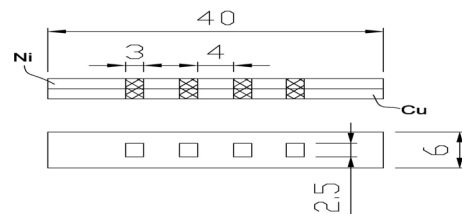
[그림 4] 실험에 사용된 인장시험기 사진

초음파 가공 후 Ni-Cu 박판의 용착특성을 파악하기 위해 용착계면의 관찰과 Line Analysis에는 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscope)을 사용하였다. 또한 용착계면의 성분 분석을 위해 EDX(Energy Dispersive X-ray spectroscopy) 분석기를 사용하였다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 시편제작

Ni과 Cu 박판 시편의 사이즈는 KS B 0851 규격에 근거, 그림 5와 같이 두께 0.1mm, 너비와 길이는 6mm×40mm로 양 박판 모두 동일하게 제작되었다. 이때 시편을 고정하는 앤빌은 한파장 스텝 공구 혼과 동일한 피치를 갖는다.



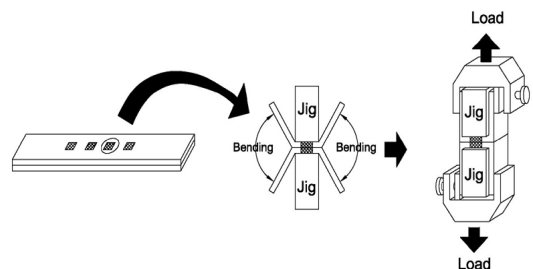
[그림 5] 표준 용착 시편편

### 2.2.2 초음파 가공조건

Ni-Cu 이중 박판의 용착을 위한 초음파 가공변수는 초음파 가공시간, 가압력, 진폭으로 설정하였다. 가공시간은 0.13~0.31sec로 0.03sec 간격의 7단계로 구분하였다. 가압력은 0.15MPa과 0.20MPa 2단계로 진폭은 60%, 80%로 2단계로 구분하여 모두 28번의 초음파 가공조건을 갖도록 하였다.

### 2.2.3 인장시험 방법

각각의 조건으로 이중금속인 Ni-Cu박판 시편을 초음파 가공 후 용착 특성을 평가하였다.



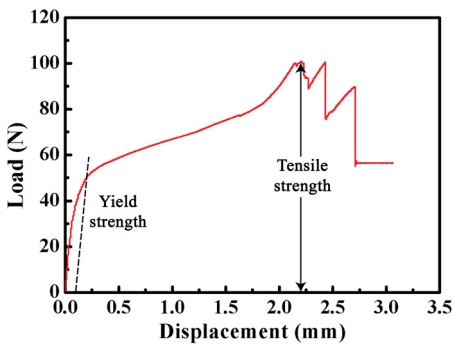
[그림 6] 인장시험에 관한 대략적 모식도

용착특성은 인장시험에 의한 용착면의 인장강도이다.

초음파 가공에 의한 용착면의 인장강도에 관한 구체적인 표준 기준은 없으며 용착면의 육안검사 또는 인위적으로 잡아당겨 파손되지 않으면 합격처리하고 있는 실정이다. 본 실험을 통하여 용착면의 인장강도 검사기준이 향후 제시될 수 있을 것이라 사료된다. 사용된 인장시험기에 의한 인장속도는 5mm/min이며 실험 데이터는 AD Board로 데이터 변환하여 그 결과를 확인하였다. 이때 각각의 시편에 대한 인장실험은 용착 금속의 표면을 확인하기 위해 그림 6과 같이 지그(Jig)와 함께 인장시험기에 고정시킨 후 수행되었다.

### 3. 실험결과

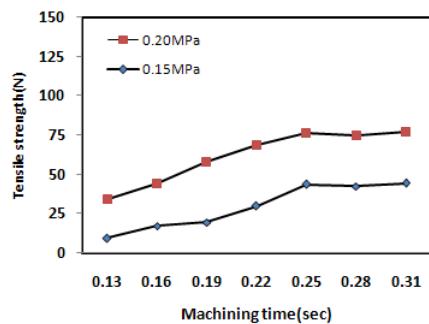
#### 3.1 인장시험결과



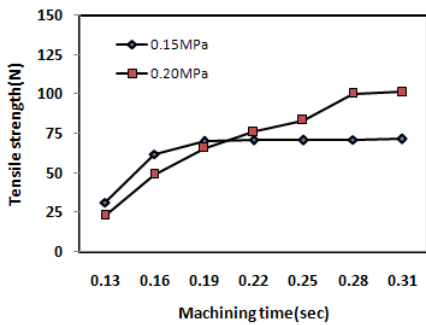
[그림 7] 시험편의 인장시험 그래프(가공시간 0.28sec, 가압력 0.20MPa, 진폭 80%)

그림 7은 가공시간 0.28sec, 가압력 0.20MPa, 진폭 80%의 조건에서 초음파 가공 후 금속 용착부의 인장시험을 수행한 것으로써 하중과 변형량의 관계를 나타낸 것이다. 각각의 시편에 대한 가공시간, 가압력, 진폭 조건에 따른 이와 같은 인장실험 결과를 그림 8에 나타내었다. 본 연구에서는 실험 결과에 대한 오차를 최소화하기 위해 각각의 실험 조건에 대하여 금속 용착을 5회 실시하고 최대값과 최소값을 제외한 3회의 결과 값을 평균하여 나타내었다. 그림 8의 (a)는 진폭을 60%로 설정하여 초음파 가공한 결과이며, 금속 용착부의 인장강도값은 초음파 가공시간 0.13sec, 가압력 0.15MPa, 진폭 60%의 조건에서 9.04N으로 가장 낮게 나타났다. 0.15MPa와 0.20MPa의 모든 가압력 조건에서 가공시간 증가에 비례하여 용착강도는 점점 향상되는 것으로 나타났다. 그러나 0.25sec 이상의 가공시간에서는 용착강도가 더 이상 증가하지 않고 거의 일정한 값을 나타내는 것으로 나타났다.

따라서 진폭을 60%로 설정한 초음파 가공의 경우에는 금속 용착부의 인장강도와 생산성 향상을 고려하였을 때 초음파 가공시간을 0.25sec로 설정하는 것이 효과적이라는 것을 실험결과에서 알 수 있다. 그림 8 (b)는 진폭을 80%로 설정하여 초음파 가공을 실시 후 인장시험 결과를 나타낸 것이다. 초음파 가공시간 0.31sec, 가압력 0.20MPa, 진폭 80%의 조건에서 용착강도는 101.62N으로 가장 크게 나타났다. 가압력 0.15MPa 조건의 경우에는 가공시간 0.19sec까지는 금속 용착부 인장강도가 비교적 크게 증가하며 그 이상 가공시간이 증가하여도 용착 금속의 인장강도 변화에는 매우 미미한 변화만이 나타났다. 따라서 가압력 0.15MPa의 조건에서는 초음파 가공시간을 0.19sec로 하는 것이 생산성 향상 측면에서 매우 유리하다고 판단된다. 가압력 0.20MPa의 경우에는 가공시간이 0.19sec까지는 가압력 0.15MPa의 조건보다 용착강도가 작으나 0.22sec이상의 가공시간을 갖는 경우 금속 용착부의 인장강도가 더욱 향상되어 0.31sec에서 최대값을 갖는 것으로 나타났다. 가압력 0.20MPa의 가공조건에서는 0.19sec까지는 가압력 0.15MPa의 조건보다 용착강도가 작은 변곡점을 보인다. 이것은 접합부에 가압력이 높고 짧은 용착시간으로 인해 에너지 전파가 상대적으로 적어 용착부에 충분한 마찰열이 발생하지 않아 고체 분자간의 확산이 약화되어 접합강도가 떨어진 것으로 시간이 증가할수록 접합부의 온도와 접합 면적이 증가하여 접합강도를 증가시켰다. 그러나 가공시간을 고려했을 때 0.28sec 이후로는 시편의 용착강도 증가는 거의 없는 것으로 나타났다. 그러므로 용착금속의 생산성 향상과 용착부의 인장강도를 고려할 때 진폭은 80%로 설정하고 초음파 가공시간 0.28sec, 가압력 0.20MPa의 조건으로 하는 것이 가장 안정적인 용착특성을 나타낼 수 있으므로 금속 용착부의 파괴인성을 극대화 할 수 있는 것으로 분석되었다.



(a) Amplitude 60%



(b) Amplitude 80%

[그림 8] 용착강도에 미치는 파라미터의 영향 (a)진폭 60% (b) 진폭 80%

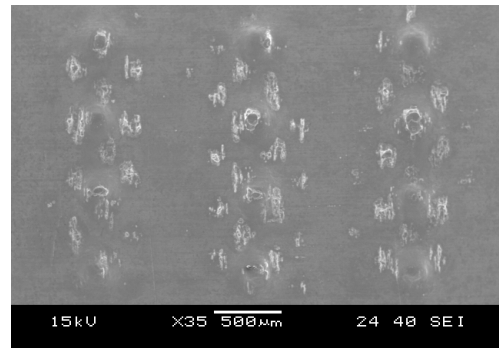
### 3.2 금속 용착부 특성관찰

이중 금속 Ni-Cu 박판의 금속 용착부의 특성 관찰을 위해 시편의 인장파괴 후 Ni부의 표면을 관찰하였다. 표면 관찰은 Ni부에 용착된 Cu의 파편 상태를 SEM 사진 분석 방법을 이용하였다. 그림 9는 금속 용착부의 강도가 비교적 낮은 진폭 60%인 시험편을 대상으로 한 것이며 그림 10은 인장강도가 양호하게 나타난 진폭 80%인 시험편을 대상으로 인장시험 후 SEM 사진 판독 결과를 나타낸 것이다. 그림 9의 경우를 살펴보면 Ni부에 용착된 Cu부의 면적이 작아 그림 10은 Ni부에 용착된 Cu부의 면적이 상대적으로 많은 것을 확인할 수 있다. 초음파 가공 후 Ni과 Cu부 상호간의 접촉면이 증가할수록 용착이 우수하므로 진폭 80%인 그림 10과 같은 경우가 금속 용착부의 인장강도가 더 크다는 것을 예측할 수 있으며 구조적으로 매우 안전한 상태를 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

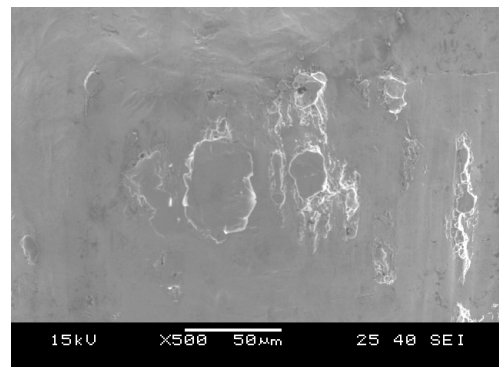
그림 9~10 각각의 (b)와 (c)는 (a)부 중에서 금속 용착부가 불량한 부분과 우수한 부분을 500배율로 확대하여 나타낸 SEM 사진이다. 그림 9 (b)는 고상 확산에 의한 용착현상이 미소하게 나타났으나 그림 10 (b)는 비교적 양호하게 나타난 것을 관찰할 수 있다. 그림 9 (c)와 그림 10 (c)에서는 시편의 인장시험으로 인해 Ni부에서 Cu부가 완전 분리된 흔적이 뚜렷하고, 이것으로 금속 확산으로 인한 분자간 결합력이 강한 부분이라는 것을 확인할 수 있다. 특히, 그림 10 (c)에서 확산부에 혼과 앤빌의 형상이 가장 뚜렷하게 나타난 것으로 보아 금속 용착부의 강도가 가장 크게 나타나는 부분임을 예측할 수 있다.

그림 11은 그림 10 (c)를 1500배율로 확대한 SEM 사진으로, 앤빌 형상의 가장자리에 발생한 주름은 용착 시편의 가압력과 이 때문에 발생한 마찰열로 인한 수평진

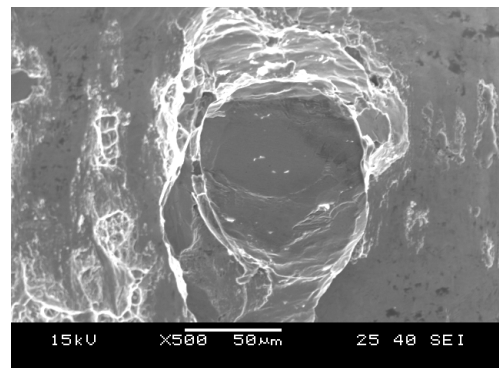
동방향에 따라 Cu의 변형전파가 발생한 것이다. 이 때문에 재료에 변형을 초래하여 용착강도에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 크랙(Crack)부는 인장시험 도중 진동방향성에 따라 발생한 것으로 사료된다. 이와 같이 인장시험 후 용착부의 SEM 사진 분석은 용착특성의 예측이 가능하다.



(a) × 35

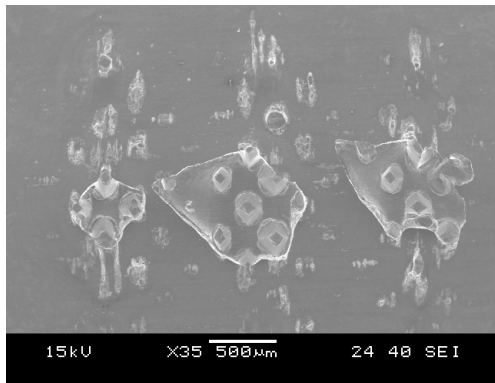


(b) Bad section (× 500)

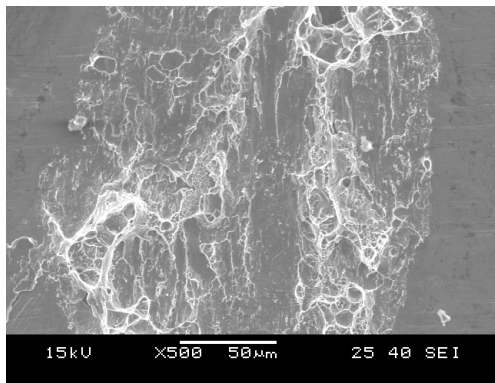


(c) Good section (× 500)

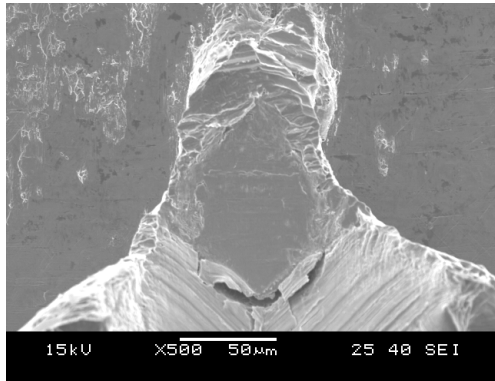
[그림 9] 용착 경계면의 SEM 사진(가공시간 0.26sec, 가압력 0.25MPa, 진폭 60%) (a) 35배율 (b) 불량부분 (500배율) (c) 양호부분(500배율) time 0.26sec, pressure 0.25MPa and amplitude 60%



(a) × 35

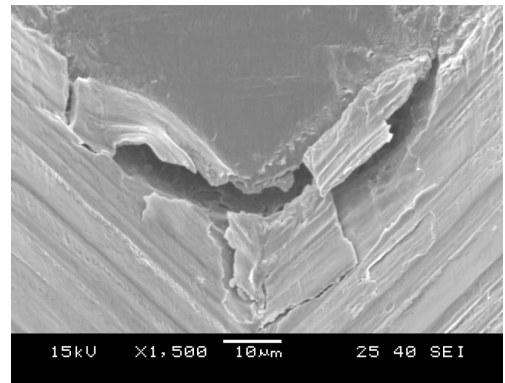


(b) Bad section (× 500)



(c) Good section (× 500)

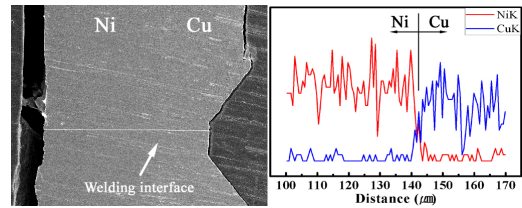
[그림 10] 용착 경계면의 SEM 사진(가공시간 0.23sec, 가압력 0.15MPa, 진폭 80%)  
(a) 35배율 (b) 불량부분(500배율) (c) 양호부분(500배율)



[그림 11] 용착경계면에서 수평진동에 의한 주름형상의 SEM 사진

### 3.3 용착부 성분분석

그림 12는 본 연구에서 초음파 가공 후 금속 용착이 가장 우수한 시편을 대상으로 금속 용착부의 성분 분석을 위한 SEM 사진과 Ni, Cu의 EDX-ray Line analysis를 나타낸 것이다.



[그림 12] 우수 용착부에 관한 SEM과 EDX-ray Line 분석 사진(가공시간 0.28sec, 가압력 0.20MPa, 진폭 80%)

성분분석은 용착부 파단면 채취 후 마운팅, 폴리싱, 초음파 세척, 백금(Pt) 코팅의 공정순으로 수행되었다. 분석 결과 확산상의 양 끝단에서 고순도의 Ni와 Cu 사이에는 결합된 영역이 존재하며 두 금속의 농도는 위치에 따라 차이가 있다. 이것은 Cu원자가 Ni원자로 또는 Ni원자가 Cu원자로 이동하였거나 확산되었음을 의미한다. 혼의 가압력과 마찰열로 인한 확산으로 판단되는 교차층이 약 5~6µm 결합되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 SEM 사진에서 확인하였듯이 모든 접합부에서 양호한 용착계면을 형성하였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 설계된 한파장 스텝형 공구혼을 사용하여 이중금속인 Ni-Cu 박판 시편을 대상으로 초음파 가공 후 금속 용착부의 특성 평가를 목적으로 한다. 초음파 가공 후 각각의 시편은 인장시험 후 용착면의 인장강도를 측정하였으며 용착부의 특성을 SEM 사진을 촬영하여 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

(1) 실험된 모든 진폭과 가압력 조건에서 초음파 가공 시간에 비례하여 용착강도는 점점 향상되는 것으로 나타났다. 그러나 일정시간 이상에서는 금속 용착부 강도의 변화는 거의 나타나지 않으므로 생산성 향상을 고려하여 초음파 가공시간의 한계 설정이 필요하다.

(2) 본 연구에서 적용된 조건의 경우 진폭 80%, 가공시간 0.28sec, 가압력 0.20MPa의 조건으로 초음파 가공하는 것이 가장 안정적인 용착특성을 나타내었다. 따라서 용착부의 파괴인성을 극대화 할 수 있다.

(3) Ni-Cu 박판의 인장시험 후 Ni부에 용착되어 잔존하는 Cu부의 면적은 진폭이 큰 80% 조건에서 비교적 크게 발생하였다. 초음파가공 후 Ni과 Cu부 상호간의 접촉면이 증가할수록 강도가 큰 용착면을 조성하므로 금속 용착부의 강도가 증대되고 구조적으로 매우 안전한 상태를 유지할 수 있다.

(4) 인장시험 후 금속 용착부를 확대하여 관찰한 결과 용착면이 우수한 특성을 보인 시편에서 고상 확산에 의한 용착현상이 비교적 양호하게 나타났다. 또한 금속 확산으로 인한 분자간 결합력이 강한 부분이라는 것을 확인할 수 있다.

## 참고문헌

[1] Moon, H. H., Park, B. G., Lee, C. H. and Kim, S. C., "A Study on the Surface Roughness of Ceramics According to Ultrasonic Polishing," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 2, No. 1, pp.15~21, 2003. 3.

[2] Jeong, H. S., "Fundamentals of Ultrasonic Welding," Journal of Korean Welding and Joining Society, Vol. 15, No. 6, pp. 24, 1997.

[3] Koo, J. M., Kim, J. W., Yoon, J. W., Noh, B. I., Lee, C. Y., Moon, J. H., Yoo, C. D. and Jung, S. B., "Ultrasonic Bonding Technology for Flip Chip Packaging," Journal of the Korean Welding and

Joining Society, Vol. 26, No. 1, pp. 24-30, 2008.

[4] Lee, C. K., Hwang, B. J. and Heu, I. H., "Bonding of Electric Wire by Ultrasonic Welding," Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 9, No. 4, pp. 41-42, 2000.

[5] Lee, J. H., Kim, S. H., Cheon, C. G., Kim, S. U. and Kim, J. D., "Effects of Welding Parameters on Ultrasonic Bonding Strength of Solar Collector," Proceedings of the KWS Conference, pp. 233-235, May 2006.

[6] Kim, H. W., Hwang, K. M., Yoo, B. S. and Jo, S. M., "Welding Quality Evaluation by Waveform analysis on Copper Ultrasonic Spot Welding," Proceedings of the KWS Conference, pp. 297-299, November 2007.

[7] Seo, J. S. and Beck, S. Y., "A Study for Design of Ultrasonic Welding One-wave Horn and Metal Welding," Journal of Korea Intellectual Patent Society, Vol. 14, No. 4, pp. 17-23, 2009.

[8] Park, H. S., Kim, W. Y. and Kang, C. Y., "Welding and Bonding of Dissimilar Metal Steel/Nonferros Metal," Journal of the Korean Welding and Joining Society, Vol. 14, No. 6, pp. 1-7, 1996.

[9] Back, S. Y., Jang, S. M., "One-wave Step Horn Design for Ultrasonic Machining for Metal Welding", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 11, No. 12, pp.4735-4741, February 2010.

[10] Park, Y. H. and Kang, J. Y., "Sinter Diffusion Bonding Technology for Assembly and Hybrid of Materials," Journal of the Korean Welding and Joining Society, Vol. 24, No. 5, pp. 7-8, 2006.

## 백 시 영(Si-Young Back)

[정회원]



- 1990년 2월 : 원광대학교 물리학 과(이학석사)
- 2008년 8월 : 인하대학교 기계공 학과(공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2005년 3월 : (주) 라라전자 생산부장 및 책임연구원
- 2010년 9월 ~ 현재 : 순천향대 학교 산학협력교수

<관심분야>

초정밀가공, 세라믹가공, 구조해석

장 성 민(Sung-Min Jang)

[정회원]



- 2000년 2월 : 숭실대학교 기계공학(공학석사)
- 2004년 8월 : 인하대학교 기계공학(공학박사)
- 2009년 3월 ~ 2010년 2월 : (주)정일기계 연구소장
- 2010년 9월 ~ 현재 : 유한대학 기계과 산학협력조교수

<관심분야>

정밀가공, 구조설계, ASME, AWS, 실험계획법