

## Ni 박판의 초음파 용착시 최적용착 조건

서정석\*, 박동삼#

### Optimal Welding condition in Ultrasonic Welding of Ni steel sheet

Jeong Seok Seo\*, Dong Sam Park#

(Received 16 February 2010; received in revised form 20 April 2010; accepted 22 April 2010)

#### ABSTRACT

Miniaturization and lightweight are increasingly the recent trend in the manufacture of electric appliances and machine parts. So technology of micro joining for joining materials is indispensable. This paper gives a description of an experimental study of the ultrasonic welding of metals. In ultrasonic metal welding, high frequency vibrations are combined with pressure to join two materials together quickly and securely, without producing significant amount of heat. Ultrasonic metal welder consists of Transducer, Booster, and Horn that are designed very accurately to get the natural frequencies and vibration mode.

In this study, The horn was designed and analyzed the natural frequency by the modal analysis and harmonic analysis. And using a fiber optic sensor, we measured the amplitude and analyzed the Fast Fourier Transformed result. Using the horn, Ultrasonic metal welding between Ni sheet and Ni sheet of 0.1mm thickness was accomplished under the optimal conditions of static pressure 0.15MPa, vibration amplitude 45% and welding time of 0.28s. This result can be used for ultrasonic metal welding in manufacturing industry.

**Key Words :** Ultrasonic metal welding(초음파 금속 용착), Horn(혼), modal analysis(모달 해석), Fiber optic sensor(광섬유 센서), FFT(고속 푸리에 변환), Test of tensile load(인장시험)

#### 1. 서 론

초음파 금속용착(Ultrasonic Metal Welding)은 신소재나 이종(Dissimilar) 금속간의 접합, 전해콘덴서(Electrolytic Condenser)의 극판 접합, 솔더링을 대체하는 전자제품 및 반도체 생산 등에 실용화되면서

관심의 대상으로 부각되고 있으며, 낮은 전기저항과 우수한 기계적 결합력, 열 변형이 작아 열 손상을 최소화하는 특징을 지니고 있어 최근에는 반도체 칩(Chip)의 패키징(Packaging)기술, 자동차나 우주항공 산업의 경금속 바디접합, 선박건조 등 다양한 분야에서 활용도가 크게 높아지고 있는 추세이다.[1]

초음파 금속용착은 진동으로 금속의 산화막과 불순물을 제거해 가며 용착하기 때문에 기존의 방법으로 접합하기 어려운 동종 금속이나 이종 금속도 용착이 가능하며, 용착시간이 매우 짧아 금속에 가해지는 영향이 타 용착방법에 비해 작아 얇은 박판의

# 교신저자 : 인천대학교 기계공학과

E-mail: dspark@incheon.ac.kr

\* 인천대학교 공학대학원 기계공학

용착에 주로 쓰이고 있다.[2-3]

초음파 금속용착은 두 금속부재에 상하로 작용하는 압력에 의해 혼이 부재와 접촉, 진동이 전달되어 용착이 이루어진다. 용착과정중 혼의 양 끝에 작용하는 가압을 제어시키고, 진동이 전달되는 진동자, 혼을 상하로 움직여 부재와 접촉, 용착이 이루어지게 하는 구동부 전체를 액츄에이터라 한다.

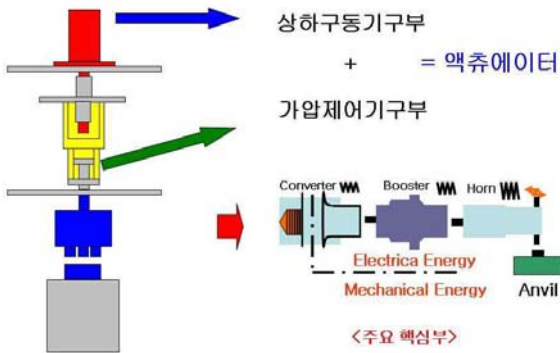


Fig. 1 Structure of ultrasonic metal welding machine

액츄에이터는 상하구동기구부와 가압제어기구부로 크게 나누어지며, Fig. 1은 액츄에이터를 포함한 초음파 금속용착기의 주요 핵심부를 나타낸 것이다. 주요 핵심부는 50or60Hz전류를 20~40KHz 전기에너지로 변환시키는 파워서플라이(PowerSupply)와 전기에너지를 기계적 진동에너지로 변환시키는 진동자(Converter), 진동자의 진폭(Amplitude)을 감소 또는 증폭시키는 부스터와 금속부재에 진동에너지를 전달하여 용착시키는 혼으로 구성된다.[4]

본 연구에서는 전자부품의 단자에 많이 사용되는 Ni소재의 초음파 금속 용착기를 이용한 용착성을 평가하기 위하여 유한요소법으로 혼(Horn)을 설계하고, 초음파 금속용착 조건의 따른 용착강도(Welding Strength)를 측정하여 용착성을 평가함으로써 최적의 Ni 박판의 용착조건을 찾고자 하였다.

## 2. 유한요소해석

초음파 금속용착은 BLT(Bolt Clamped Langevin type transducer)진동자의 출력 단에 진동자와 같은

고유진동수를 가진 부스터와 혼을 부착하여 공진에 의한 증폭작용을 이용, 초음파 금속용착에 필요한 진동에너지를 얻게 된다. BLT의 출력 단에서 발생하는 진폭은 매우 작기 때문에 BLT 출력 면에 부착된 부스터와 혼을 이용하여 진폭을 증가시키며, 혼의 증폭비는 혼 형상에 의해 결정된다.[5] 금속용착의 경우 횡진동이 쓰이며 Fig. 2는 횡진동을 사용하는 초음파 금속 용착을 도식화 하였다.

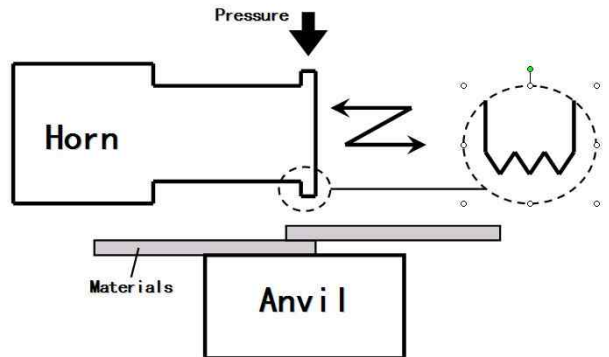


Fig. 2 Basic principle of ultrasonic metal welding

혼의 설계시 가장 중요하게 여기는 변수는 혼 재료의 가진 주파수에 따른 파장의 길이이다. 이 파장의 길이는 공구혼의 재료 내에 전파하는 파동의 정확한 음속도에 따라 결정된다. 파장의 길이는 혼을 설계하는 중요한 변수로 혼의 길이를 결정하는데 영향을 미치고, 혼의 초음파 진동을 발생시켜 공진을 발생하는 요소가 된다.[6]

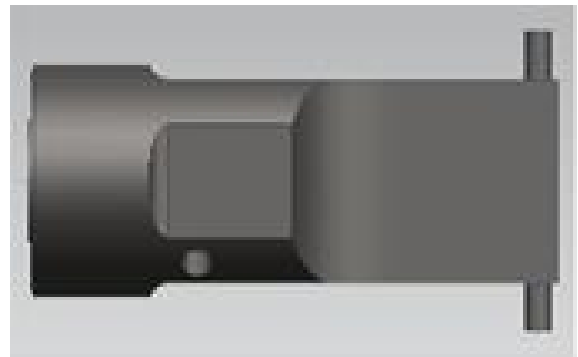


Fig. 3 Modeling of horn

초음파 금속 용착시 혼의 용착 팁에 진동이 전달 되기 때문에 혼에 대한 공진설계가 중요하다.

본 연구는 진동자가 40,000Hz의 고유공진 특성을 갖기 때문에 초음파 에너지가 효율적으로 전달될 수 있도록 공진주파수가 40,000Hz이고 혼의 용착 팁에서 원하는 증폭도를 얻을 수 있도록 Fig.3과 같이 혼을 설계하였다.[7] 혼의 길이는 파장의 1/2이고, 초음파 진동의 진폭은 혼의 끝에서 최대가 되므로, 용착 팁은 혼의 끝에 위치하게 된다.

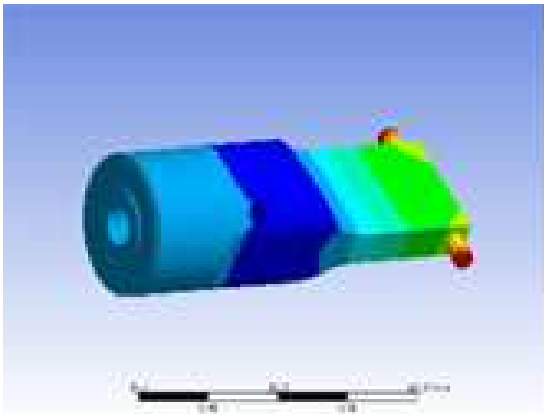


Fig. 4 Modal analysis of optimal horn

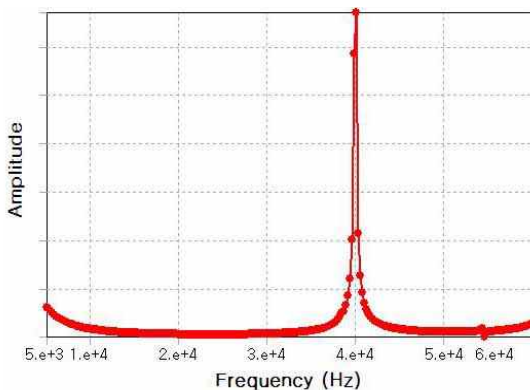


Fig. 5 Harmonic Response of horn

설계한 혼을 Ansys를 이용하여 Fig.4와 같이 modal해석을 수행한 결과 10차 mode에서 진동자의

고유진동수에 근접한 39,992Hz의 공진특성을 갖는 횡진동 모드의 운동을 보였다.

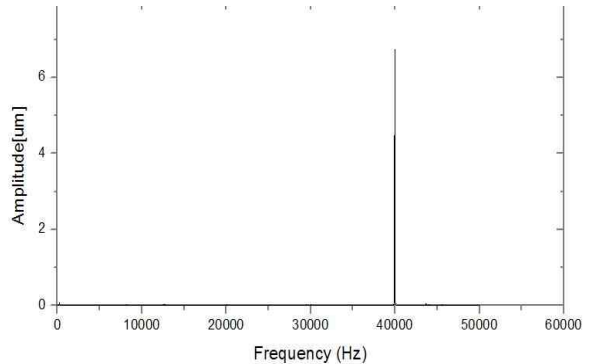


Fig. 6 Plot of the frequency spectrum using the Origin FFT

Fig.5는 Harmonic해석을 통해 혼의 팁 부분에서의 진동응답을 진동수와 진폭의 그래프로 나타낸 것으로 40,000Hz와 근접한 40,100Hz에서 가장 큰 진폭을 타나냈으며, modal해석과 비슷한 결과를 보였다.

40,000Hz의 공진주파수를 갖는 혼을 최적 설계하여, 제작 가능성을 검토하였으며, 혼을 제작하여 초음파 금속 용착시 진동 Amplitude를 구하고자, PHILTEC사의 Fiberoptic Sensor를 이용하였다. 측정된 진동 신호는 변위 값으로 변환하여 RMS값으로 Fig.6에 FFT 스펙트럼으로 나타내었다[8]. 40,000Hz에서 RMS Amplitude 값이 6.9um이므로 혼의 Peak-to-Peak 최대 진폭은 19.5um정도임을 알 수 있다.

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 실험장치

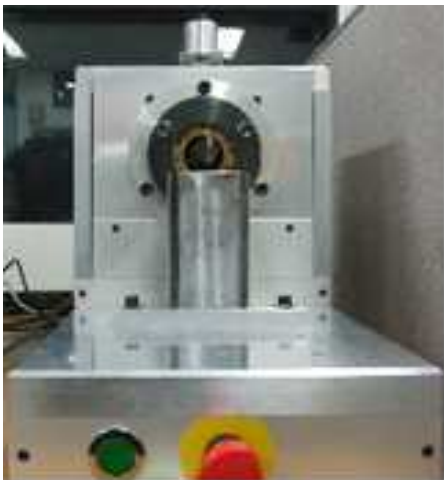
Fig. 7 은 Ni 박판의 용착성을 평가하기 위해 사용한 초음파 금속 용착기로 자체 제작 하였으며, 이를 이용하여 Ni 박판의 용착성 평가 실험을 수행 하였다. 주요 성능은 Table 1 에 나타 내었다.

Fig. 8는 Ni 박판의 용착성 실험을 위한 최대 인장력을 측정하기 위한 인장시험기로 주요 성능으로

는 50N, 1/10,000의 분해능을 가진 장비이며 주요 성능은 Table 2에 나타 내었다.

**Table 1 Specification of ultrasonic metal welder**

Welding parameters	Ranges
Power	800W
Working Frequency	40kHz
Welding speed	3m/min
Pneumatic cylinder	Φ 50
Pressure	0 ~ 14 MPa
Amplitude	7 ~ 18 $\mu$ m



**Fig. 7 Ultrasonic metal welder**

**Table 2 Specification of tensile tester**

Capacity	500 N
Max. travel	400 mm
Space	Φ 100 mm
Speed	5-500mm/min
Force resolution	1/10000
Stroke resolution	0.005 mm
Dimension	400×300×600 mm
Power	100~240 VAV1 Φ 2A



**Fig. 8 Tensile tester**

### 3.2 실험방법

초음파 금속 용착기를 이용하여 Ni 박판의 용착성을 테스트 하였으며, Fig. 9 과 같이 양면 모두 60mm×10mm×0.1mm로 제작 하였으며, 용착 부는 각 Ni 박판의 가로 10mm, 폭 10mm 부분을 용착 하였다.

초음파 금속 용착에서의 실험 변수로는 용착시간(Welding time), 압력(Pressure), 진폭(Amplitude)의 변수가 있으며, 용착의 소재나 형상 또는 크기에 따라서, 그리고 혼의 형상에 따라 다양한 용착 실험 조건을 갖게 된다.

본 연구에서는 Ni 박판의 최적의 용착조건을 찾기 위해 압력 1.5MPa, 진폭 45%로 하였고 용착시간을 변수로 실험을 수행 하였으며, 용착시간의 변수에 따라 Ni 박판의 최적 용착조건을 찾고자 하였다.

Table 3은 초음파 금속 용착기의 실험 조건을 나타 내었다.

Fig. 10은 초음파 금속 용착기를 이용하여 Ni 박판의 용착 조건 중 0.15Mpa, 45% amplitude, 0.07s Welding time 으로 Fig. 9의 인장시험기를 이용하여 최대 인장력을 측정된 것을 나타낸 것으로, 이와 같은 측정방법으로 Ni 박판의 각 용착 조건마다 최대 인장력을 측정하여 Ni 박판의 초음파 금속 용착 조건에 따른 최대 인장력의 값을 얻을 수 있었다.

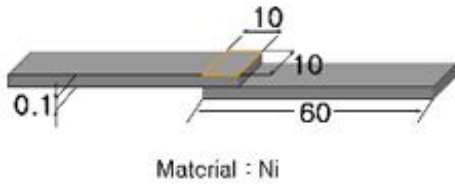


Fig. 9 Drawing of the metal welding condition

Table 3 Welding condition of ultrasonic metal welding

Welding Pressure (MPa)	0.15
Amplitude (%)	45
Welding Time (sec)	0.04 ~0.44

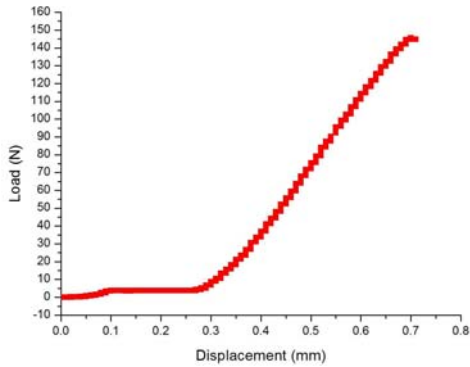


Fig. 10 A graph of the Tensile Load  
(0.07s, 0.15Mpa, amplitude 45%)

#### 4. 실험 결과

Fig. 11은 Ni 박판을 이용하여 초음파 금속 용착기의 용착성 실험후, 인장시험기를 통하여 각 용착조건별 최대 인장력을 측정된 결과로, 용착시간이 증가함에 따라 비례하여 인장력이 커지는 것을 알 수 있었다.

또한 0.13s의 용착시간(Welding time) 이후부터는 약 262N의 값으로 최대 인장력을 얻을 수 있었는데 이는 0.13s의 용착시간 이후로는 더 이상 용착시간을 증가하여도 최대 인장력에는 변화가 없다는 것을 의미 하며, 그 뒤로 일정하게 유지 하다가 0.19s이후

최대 인장력의 값이 떨어지게 되는데, 이는 용착시간 증가에 따른 Ni 박판 시편의 손상으로 인해 인장력에 오히려 악영향을 미치게 된다는 것을 알 수 있었다.

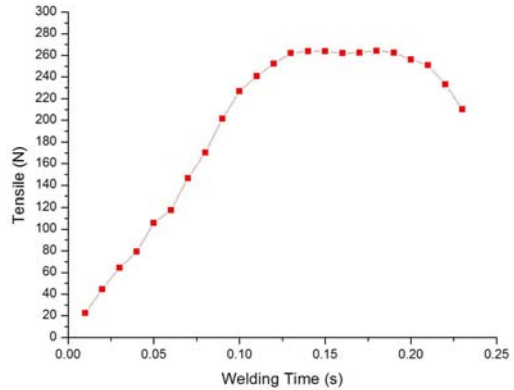


Fig. 11 Relation between welding time and Tensile load

#### 5. 결론

본 연구에서는 Ni 박판의 초음파 금속 용착을 위하여 40,000Hz 혼을 설계 및 제작 하였다. 인장시험기를 이용하여 최대 인장력을 측정하였으며, 이를 통해 Ni 박판의 초음파 금속 용착성을 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 40,000Hz 고유진동수를 갖도록 혼을 설계하여, 혼의 입력 면을 가진 하였을 때 혼의 출력면의 주파수 응답을 측정된 결과, 횡진동 모드의 가장 큰 진폭의 변화를 40,000Hz에 근접한 주파수에서 확인할 수 있었으며, 이로써 혼의 제작 가능성을 알 수 있었다.
2. Fiber-optic 센서를 이용하여 혼의 용착 팁에서 진동을 측정하여, FFT를 통해 혼의 용착 팁에서의 최대 진동 진폭(amplitude)값을 알아낼 수 있었다.
3. Ni 박판의 초음파 금속 용착의 최대 인장력은 0.15Mpa, 45% amplitude, 0.13s Welding time의 조건에서 약 262N의 값으로 최대 인장력을 얻을 수 있었다.

4. 0.13초의 용착시간 이후로는 더 이상의 최대인장력은 증가하지 않았으나, 0.19초 이후로는 최대인장력이 점점 줄어드는 경향을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. 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.
2. Jeong, H. S., "Fundamentals of Ultrasonic Welding," Journal of Korean Welding and Joining Society, Vol. 15, No. 6, pp. 24, 1997.
3. "Ultrasonic metal welding - Horizontal oscillation direction." STAPLA Ultrasonic Corp.
4. John Wnek. " Ultrasonic metal welding for wire splicing and termination." Branson Ultrasonic Corp.
5. Sum-Rak Kim, Jae Hak Lee, Choong D. Yoo, "Design of Cylinder Horn for Ultrasonic Welding", Vol. 27, No. 4, pp. 404 ~ 410, 2009.
6. Bong-Gu Lee, Kwang-Lae Kim, Kang Eun Kim, "Design of Ultrasonic Vibration Tool Horn for Micromachining Using FEM", Vol. 17, No. 6, pp. 63 ~ 70, 2008.
7. K.H.W. Seah, Y.S. Wong and L.C. Lee, " Design of tool holders for ultrasonic machining using FEM, Journal of Materials Processing Technology", Vol. 37, pp. 810-816, 1993.
8. Kwan-Shik Shim, Hae-Kon Nam, "A Fast Parameter Estimation of Time Series Data Using Discrete Fourier Transform", Vol. 55, No.7, pp. 265 ~ 272, 2006.