

초음파 접합 장치의 냉각관 설계 및 접합강도 실험

이동욱¹, 전의식^{2*}

¹공주대학교 기계공학, ²공주대학교 기계자동차공학부

Design and Experimental Results for Cooling Tubes of Ultrasonic Bonding Equipment of Ultrasonic Bonding Equipment

DongWook Lee¹ and EuySick Jeon^{2*}

¹Division of Mechanical Engineering, Kongju National University

²Department of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요약 최근 미세접합 기술이 다양한 사회에서 주목받고 있다. 미세접합 기술은 레이저 접합 초음파 접합 등이 있다. 그러나 미세 접합의 연구가 많이 부족한 실정이다. 이에 본 논문에서는 초음파 접합장치 구동 시 열평형 상태에서 압전소자에 열 영향을 최소화하기 위해 냉각관을 설계하였다. 또한 냉각관이 설계된 초음파 접합 장치를 이용하여 접합 실험을 실시하였다. 다꾸찌 실험계획법을 이용하여 실험을 실시하였으며, 기초실험을 통해 공정변수와 반응 변수를 설정하였다. 접합 실험의 신뢰도를 검증하기 위하여 접합 계면의 미세조직을 관찰하였고, 인장실험을 통해 접합 강도를 확인하였다.

Abstract Recently, the micro bonding technology comes into the spotlight as the miniaturization of the electronic product. The micro bonding technique can classify by way of laser welding and ultrasonic bonding and etc. However, the research on the micro bonding is much lacks. In this paper, carried out the cooling analysis of the 60 [kHz] ultrasonic bonding equipment to know heat effect of the piezoelectric element when the ultrasonic bonding equipment was operated. The ultrasonic horn having the natural frequency with 60 [kHz] for the dissimilar material bonding of the glass and solder tried to be designed. The parameters and response was set through the basic experiment. The dissimilar material bonding strength analysis using the 60 [kHz] ultrasonic bonding equipment was done. We carried out the bonding for improving bonding strength to using the silver paste. air thightness of bonding surface was confirmed by analysis of bonding interfaces.

Key Words : BLT(Bolt clamped Langevin-type transducer), Cooling Performance, DOE, Ultrasonic bonding

1. 서론

IT산업이 급속도로 발전하면서 전자제품의 소형화 및 경량화가 급속히 진행되고 있다. 다양한 첨단 산업을 바탕으로 제품들의 초소형화 및 초정밀화, 다기능화 됨에 따라 이를 정밀하고 안전하게 접합하는 기술이 요구되고 있다. 이러한 기술 중 하나인 미세접합 기술은 저온접합이라 할 수 있으며, 국부적인 열을 가해 열응력을 최소화

하여 고성능화된 제품을 접합하는 공정 기술에 이용되고 있다[1]. 미세접합기술은 솔더링(Soldering) 접착제를 이용한 접합, 저항 및 레이저 용접, 초음파 접합 등 있다[2].

초음파를 이용한 미세접합 기술은 박판 용접에 많이 적용되고 있으며, 기존의 접합 공정에 비해 더 정밀하고 안전하게 접합하는 생산 기술이기 때문에 다양한 산업현장에서 이용되고 있지만 초음파 용착부품의 주요 구성요소에 대한 연구나, 이종재료의 접합방법에 대한 연구는

본 연구는 2013년도 교육부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업(No.2011-12-대-06-047)과 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20134030200230)입니다.

*Corresponding Author : Euy-Sik Jeon(Kongju National Univ.)

Tel: +82-41-521-9284 email: osjun@kongju.ac.kr

Received March 19, 2014

Revised April 9, 2014

Accepted April 10, 2014

현재 많이 이루어지지 않다. 더불어 RoHs 규제 및 납, 휘발성 유기화합물의 사용이 제한되는 VoCS 규제 등 환경 보호를 위한 규제가 확대되어, 시대적 요구에 맞춰 Soldering 접합기술을 대체할 친환경적이고 경제적이며 신뢰성을 갖춘 기술의 확립이 중요하게 인식되고 있다.

초음파 접합의 선행연구로는 Kim[3] 등은 1 [MHz] Near-field 메가소닉 진동자를 설계 및 제작하였고, 웨이브 가이드 설계를 위해 압전소자에 부착된 퀴즈 해석을 실시하였다. Lee[4] 등은 난삭재의 미세가공에 이용되는 초음파 가공기의 공구 혼 최적설계를 위하여, 파동방정식을 이용하여 공구 혼 형상치수를 계산하고 공진 주파수가 30 [kHz]의 코니칼 혼을 제작하였으며, 진동모드 특성을 FEM 해석을 통해 예측하는 연구를 수행하였다. 초음파 접합은 박판 형태의 비철금속 및 전자 패키징을 위한 연구가 대부분이며, 접합 시 압전소자에 미치는 영향에 대한 연구와 비가압 방식을 이용한 이종재료 접합에 대한 연구는 많이 부족한 실정이다.

이에 본 논문에서는 초음파 접합 시 압전소자에 열 영향을 최소화하기 위한 냉각관을 설계하였으며, 냉각관 설계를 위해 열 해석을 실시하였다. 실제 온도 계측 값을 해석 값과 비교하여 설계의 타당성을 검증하였다.

또한 냉각관이 설계된 초음파 접합 장치를 이용하여 접합 실험을 실시하였다. 접합 실험의 신뢰도를 검증하기 위하여 접합 계면의 미세조직을 관찰하였고, 인장실험을 통해 접합 강도를 확인하였다.

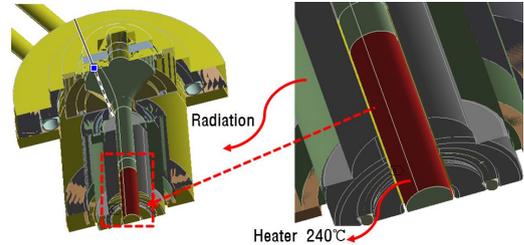
2. 초음파 접합 장치 냉각 해석 및 계측

2.1 초음파 접합 장치 냉각 해석

초음파 접합 시 압전소자에 150℃ 이상의 온도가 가해질 경우 초음파 공구 혼의 출력 주파수에 영향을 미치게 된다[5].

이에 본 논문에서는 압전소자에 열 영향을 최소화하기 위해 열 해석을 실시하였다. 초음파 접합 장치에 냉각구조가 설계되었을 때와 설계되지 않았을 때의 조건으로 열 해석을 실시하였으며, 모델은 단순화 작업 후 메시를 적용하여 해석을 실시하였다. 해석 조건으로 초음파 공구 혼이 하우징에 연결되어 있다고 가정하였으며, 히터의 길이는 혼의 끝단에서 부터 25mm, Imprint face로 설정하였다. 또한 Fig. 1에 나타난 것과 같이 혼의 끝단에는

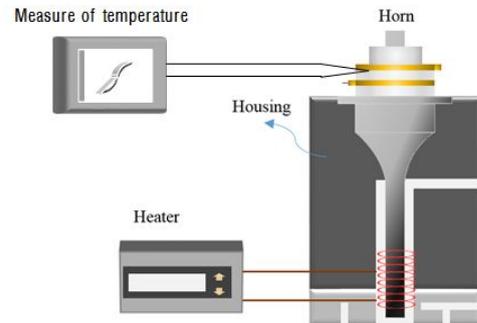
열을 가해 혼을 열평형 상태인 조건과 복사 조건으로 설정하였으며, 압전소자는 자연대류 조건을 가정으로 하여 해석을 실시하였다



[Fig. 1] Modeling of bonding equipment

2.2 초음파 접합 장치의 온도 계측

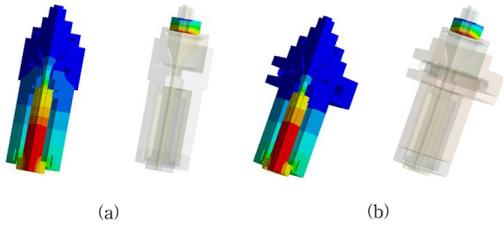
해석 값과 실제 값을 비교하기 위해 초음파 접합 장치 구동 시 Fig. 2와 같은 방법으로 압전소자의 온도를 측정하였다. 온도 측정 방법은 냉각장치를 사용하였을 때와 냉각장치를 사용하지 않았을 때로 나누어 온도 계측을 실시하였다.



[Fig. 2] Temperature measurement of bonding equipment

2.3 냉각해석 결과

열 해석 결과 냉각관을 구동하지 않았을 때 압전소자에 150(℃) 이상의 온도 측정된 것을 Fig. 3 (a)와 Table 1을 통해 확인하였으며, 해석 결과와 실제 실험 데이터 값을 비교해본 결과 약 8%미만의 오차율을 갖는 것을 확인 할 수 있었다. 냉각관을 설계하여 냉각장치를 구동하였을 경우 Fig. 3 (b)와 Table 1에 나타난 것과 같이 압전소자에 150(℃) 이하의 온도가 측정된 것을 확인 할 수 있었다. 실제 실험값과 비교해본 결과 약 7% 미만의 오차율을 확인 할 수 있었다.



[Fig. 3] Temperature analysis result of bonding equipment

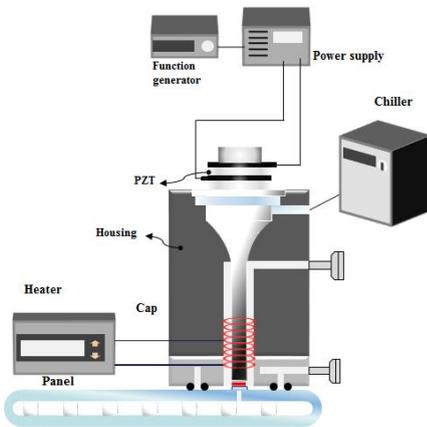
[Table 1] Temperature analysis and temperature measurements

Type	Heater temperature	Analysis of temperature	Measure of temperature	Error factor
1st	240 (°C)	165.2 (°C)	154.3 (°C)	8%
2nd	240 (°C)	136.5 (°C)	128.9 (°C)	7%

3. 유리-Cu 초음파 접합 및 강도 실험

3.1 초음파 접합 실험 장치의 구성

60 [kHz] 초음파 진동자를 갖는 실험장치의 구성은 초음파 진동자를 구동할 수 있는 함수발생기(Function Generator)와 함수 발생기에서 들어온 전기적인 값을 증폭시키는 증폭기(Amplitude), 입력된 전기적 신호를 진동에너지를 변환하고 대상물을 접합하는 초음파 공구 혼(Ultrasonic Horn), 솔더를 용융시키기 위한 히터



[Fig. 4] Schematic diagram of ultrasonic bonding system

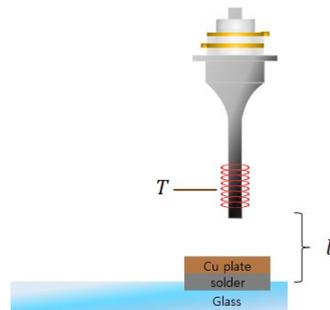
(Heater), 히터의 온도를 조절할 수 있는 컨트롤러(Controllor) 압전소자와 주변 기구 물에 열 영향을 최소화하기 위한 냉각 장치 칠러(Chiller)로 구성 된다. Fig. 4는 초음파 접합 장치의 모식도를 나타낸 것이다. 초음파 발생 부는 PZT 진동자를 2개의 금속 블록 사이에 놓고 볼트로 조인 형태인 BLT(Bolted Langevin Type) 진동자가 사용되었다.

3.2 초음파 접합 실험

본 논문에서는 냉각관이 설계된 초음파 접합 장치를 이용하여 유리-Cu간 접합 실험을 실시하였다. 접합 강도를 향상시키기 위하여 실버페이스트를 사용하였으며, 실버페이스트를 사용하여 접합을 실시할 경우 비금속 금속간의 접합 문제를 금속간의 접합 문제로 풀 수 있어 유리 구리간 강도를 향상시킬 수 있다. 유리-Cu 접합 강도 실험을 수행하기 위해 파라미터 설계 단계에서 각 설계 요인들의 최적 수준 조합을 찾고 체계적인 실험이 수행되어야 한다. 다양한 실험계획법을 사용할 수 있으나 인자와 수준의 증가에 따라 필요 실험 횟수가 지나치게 많아질 수 있으므로 본 논문에서는 다구찌의 직교배열표(Orthogonal array)를 이용하여 실험을 실시하였다.

유리에 실버페이스트를 소결 한 후 초음파 접합 장치를 이용하여 소결 된 실버페이스트 계면에 인듐이 주성분인 솔더를 이용하여 구리를 접합하였다. 공정변수로는 Fig. 5와 같이 초음파 접합 거리, 조사시간, 접합온도로 설정하였다. 반응변수로는 유리 구리간의 접합 강도로 설정하였다. 기초 실험을 통하여 공정변수를 설정하였으며, Table 2는 공정변수를 나타낸 것이다.

본 논문에서는 실험 결과 값의 신뢰도를 높이기 위해 L9(3³)실험을 2번수행하여 유리-구리 접합 및 강도 실험을 실시하였다. 사용된 유리의 크기는 160mm x 100mm



[Fig. 5] Variables ranges of bonding strength process

x3t를 사용하였다. 강도 향상을 위한 방법으로 실버페이스트를 이용하여 유리-Cu 강도 실험을 측정된 결과를 다루찌 테이블에 정리하면 Table 3과 같이 나타낼 수 있으며, 실험별 유리-Cu의 접합 강도에 대한 결과 값과 S/N비를 확인 할 수 있다.

[Table 2] Control factors and level values

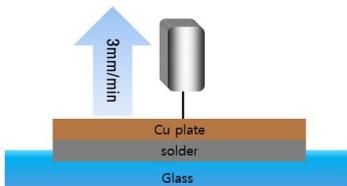
	Parameters	Level		
		1	2	3
A	Bonding temperature (°C)	240	250	260
B	Distance(μm)	54	55	56
C	Driving time of ultrasonic (s)	20	25	30

[Table 3] Orthogonal array table L₉(3³)

No.	A	B	C	Strength [N]	Strength [N]	S/N ratios
1	1	1	1	48	47	33
2	1	2	2	40	39	31
3	1	3	3	33	30	29
4	2	1	1	12	13	21
5	2	2	3	8	7	17
6	2	3	1	7	6	19
7	3	1	3	40	43	32
8	3	2	2	37	35	31
9	3	3	1	28	29	29

3.3 초음파 접합 강도실험

본 연구에서는 유리와 구리를 설계된 60 [kHz] 초음파 접합 장치를 이용하여 초음파 접합 후 Fig. 5와 같은 방법으로 만능인장시험기(MTS 858) 측정 장비를 사용하여 3 mm/min의 속도로 유리와 동판을 분리시키며 접합부의 강도를 측정하였다.

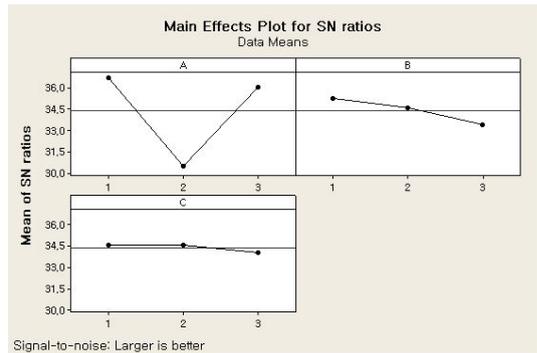


[Fig. 5] Schematic diagram of tensile strengths test

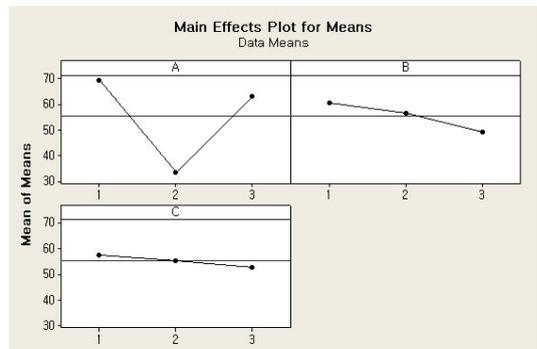
3.4 초음파 접합 강도 실험 결과

실버페이스트를 이용한 강도 실험 Minitab을 이용하여 접합강도에 영향도 분석을 실시하였다. 망대특성을 적용하여 분석을 실시하였으며, 실험결과 초음파 접합 장치를 이용하여 유리와 Cu의 접합 강도에 큰 영향을 미치는 요인은 Fig. 6과 Table 4 같이 S/N비의 주효과도에 나타난 것처럼 접합온도(A)와 거리(B), 조사시간(C) 순으로 나타났다.

Fig. 7를 통해 최적공정조건을 확인할 수 있다. Table 5에 나타난 것과 같이 초음파 접합 온도가 240(°C), 접합 거리 53(μm), 구동시간이 20(s) 일 때 최적공정이라는 것을 확인할 수 있다. Table 6은 실험결과를 토대로 분산분석을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 초음파 접합 온도와 초음파 접합 거리에 대하여 P-value값이 0.05이하로 나타났고 95%이상의 유의성을 갖는 것을 알 수 있다. 또한 전체 시험에 대해서 R-square 99%로 분석되었다.



[Fig. 6] Main effect plot for S/N ratios of bond strength



[Fig. 6] Main effect plot for Means ratios of bond strength

[Table 4] Result of optimal process condition

	Bonding temperature (°C)	Distance(μm)	Driving time of ultrasonic (s)
1	67.17	59.67	55.83.
2	34.00	55.33	55.83
3	63.33	49.50	52.83
4	33.17	10.17	3.00
	1	2	3

[Table 5] Result of optimal process condition

	Bonding temperature (°C)	Distance (μm)	Driving time of ultrasonic (s)
Value	240	53	20

[Table 6] Analysis of variance

Source	DF	SS	MS	F	P
A	2	64.664	32.332	1556.96	0.001
B	2	4.691	2.345	112.95	0.007
C	2	0.657	0.328	15.82	0.059
Error	2	0.042	0.021		
Total	8	70.054			
S		0.144105	R-square	99.76%	

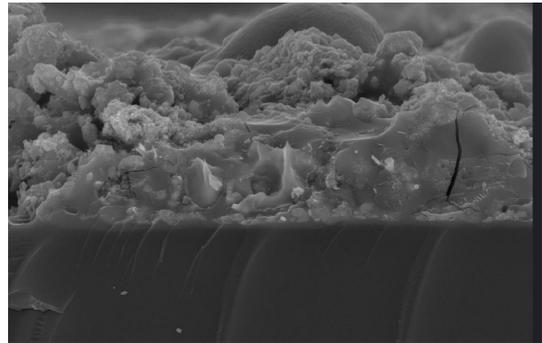
3.4.1 초음파 접합부의 미세조직

초음파 접합 계면의 접합 단면을 분석하기 위해 고분해능 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope : SEM) 장비를 이용하여 이종재료 접합단면을 관찰하였다. 실버페이스트를 이용하여 유리-Cu 접합 단면 분석 시 인위적으로 Cu를 제거하게 되면 접합계면을 측정할 수 없다는 문제점이 발생한다. 때문에 본 논문에서는 Cu를 사용하지 않고 실버페이스트와 유리-솔더 접합한 후 단면 분석을 실시하였다.

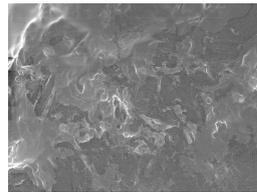
Fig. 7 (a)는 유리와 솔더 실버페이스트의 접합 계면을 나타낸 것이다. 유리-솔더의 화합물 층이 매우 균일하게 접합된 것을 확인 할 수 있다. 또한 Fig. 7 (b)~(e)는 실버페이스트를 이용하여 유리-솔더를 접합한 단면을 SEM으로 관찰한 상태를 나타낸 것이다. 실버페이스트를 소

결한 후 기공이 발생되는데 초음파를 이용하여 유리-솔더 접합 시 솔더가 실버페이스트의 기공 속으로 침투하여 용착되는 것을 확인 할 수 있다.

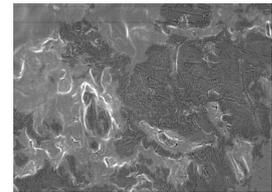
실험결과 Solder가 소결된 실버페이스트의 기공에 용착되어 강도에 향상되는 것을 확인 할 수 있었으며, 접합의 기밀성 또한 우수하게 나타난 것을 확인하였다



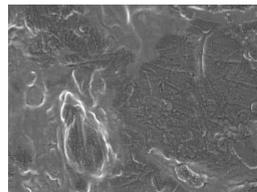
(a) SEM 10,000 x



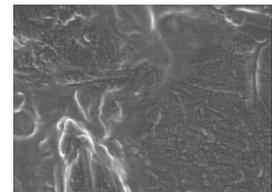
(b) SEM 5,000 x



(c) SEM 10,000 x



(d) SEM 15,000 x



(e) SEM 20,000 x

[Fig. 7] Bonding interface between solder and silver paste and glass

4. 결론

본 논문에서는 냉각관 설계를 위해 열해 석을 실시하였으며, 냉각관 설계 후 초음파 접합 장치 구동 시 압전 소자에 열 영향이 미치지 않는 것을 실험을 통해 냉각관의 설계가 적합함을 알 수 있었다.

또한 냉각관이 설계된 60 [kHz] 초음파 접합 장치를

이용하여 접합 및 강도 실험을 실시하였고, 분산분석을 통해 실험에 대한 유의성을 확인 할 수 있었으며, 미세조직 관찰을 통하여 실버페이스트가 접합강도에 향상 및 기밀성을 확인할 수 있었다.

향후 계획으로는 진공 상태에서 60 [kHz] 초음파 접합 장치를 이용하여 유리-구리간 접합실험을 실시할 계획이다.

References

- [1] E. S. Yun, "Vibration Analysis of Step Horn for Ultrasonic Metal Welding Horn", In-cheon National University, 2011.
- [2] H.T.Kim, "laser process brazing, soldering, bonding technology", KiSTi
- [3] J. H. Kim, "Modeling of Soldering Process using Longitudinal Ultrasonic", Journal of the KWJS, pp. 65~70, 2003.
- [4] B. G. Lee, "Design of Ultrasonic Vibration Tool Horn for Micromachining Using FEM", Journal of the KSMTE, pp. 63-70, 2008.
- [5] S.I.Lee, H.J.Choi, S.W.Lee, CH.H.Kim, H.G.Han, B.D.Park, "Development of Ultrasonic Machine" KITECH, 1995

전 의 식(Euysic Jeon)

[정회원]



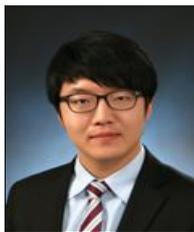
- 1995년 2월 : 한양대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1989년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

진공유리 공정기술, 구조재료공학, 반도체 · 자동차공학

이 동 욱(Dong-Wook Lee)

[준회원]



- 2012년 2월 : 공주대학교 기계시스템공학 (공학학사)
- 2012년 3월 : 공주대학교 기계공학 (석사과정)

<관심분야>

초음파 접합, 진동