

마이크로 접합 기술의 전망과 동향

강문진 · 강봉용 · 김종훈 · 김정환

Trend and Vision of Micro Joining Technology

Mun-Jin Kang, Bong-Yong Kang, Jong-Hoon Kim and Jeong-Han Kim

1. 서 론

현재 우리나라의 주력산업은 자동차, 선박, 항공 및 건설/토목과 같은 거시적인 산업과 전자, 반도체, 정보통신과 같은 미시적인 산업으로 나눌 수 있다. 이들 산업에 있어서 접합기술의 역할은 각종 부품 및 제품을 제조하는데 필요한 핵심 조립기술을 제공하는 것이다. 현대의 국제 산업의 큰 흐름을 살펴보면 첨단 IT·나노 기술의 급속한 개발과 더불어 이들 기술을 응용한 부·제품들이 다기능, 소형 경량화 되어가는 추세에 있다. 특히, 자동차 및 항공우주산업의 경우 수많은 전자센서와 기계부품들이 다기능·초소형화 되면서 정밀한 접합 제어기술을 필요로 하는 마이크로 접합(μ -joining) 기술을 이용하여 제품경쟁력과 부가가치를 높이고 있다.

최근 MEMS(Micro Electro-Mechanics System)나 Nano 관련기술의 전세계적인 유행과 더불어 우리의 일상에서 이들 극미세 소재나 부품의 응용기술에 대해서 많은 정보를 가지고 있다. 그러나 현재 용접 및 접합 분야에 있어서 마이크로 크기의 정의는 이런 일반적인 개념에 비해서 상당히 큰, Fig. 1과 같이, 초소형 그리고 mili-order의 크기로 한정하여 다루어지고 있다.

마이크로 접합에 대한 정의를 살펴보면, 일본 용접협회 (Japan Welding Society, JWS)에서는 "마이크로 접합이란 접합하고자 하는 대상부가 미세하기 때문에 접합대상부의 크기가 큰 경우에 문제가 되지 않았던 접합부에서의 용해량, 확산두께, 변형량, 표면장력 등에 의해 접합성 및 접합품질에 무시할 수 없는 영향을 주기 때문에, 이러한 치수 효과를 특히 고려해야 할 부위에 적용되는 접합법의 총칭"이라고 정의하고 있다. 또한 The Welding Institute(TWI)에서는 "두께 0.5mm 이하의 박판 또는 직경 1mm 이하의 파이프를 접합하는 경우에 사용되는 공정"이라고 정의하고 있다.

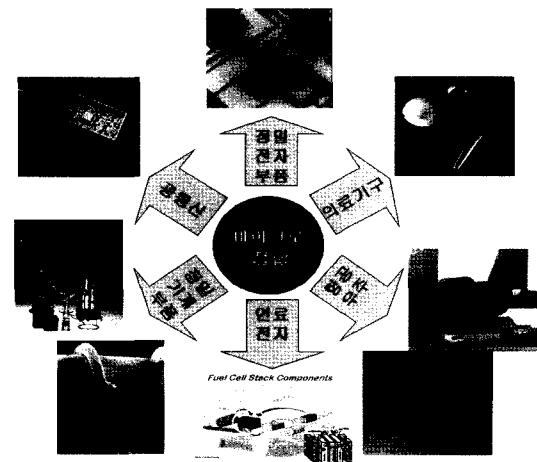


Fig. 1 Application of micro joining

따라서 마이크로 접합 기술을 정의하면 첨단 소재·부품의 생산 및 제품화에 필요한 초정밀 조립공정기술과 관련 기자재 제조기술이라고 할 수 있다. 마이크로 접합 기술을 굳이 분류하고자 하면 초소형 부·제품의 조립기술과 기능성 소재를 조립하기 위한 μ -order의 정밀 제어기술로 나눌 수 있다. 이러한 마이크로 접합 기술은 첨단 재료를 대상으로 하고, 정밀 제어성능을 갖춘 장비를 이용하며 고도의 공정·시험평가 기술이 융합되어야 하는 종합적인 high-tech 기술로 정의할 수 있다. 따라서 마이크로 접합 산업은 지식 및 자본집약형 고부가가치 산업으로써 자원이 빈약한 우리나라의 차세대 경쟁력 강화를 위한 핵심산업으로 지목되고 있다. 그러나 선진국에 비해 집중적인 연구가 이루어지지 않고 있으며 이들 기술을 응용한 제품의 출시 또한 뒤쳐져 있는 것이 현실이다.

일례로서 국내 정보통신산업(반도체, 정보통신기기 제조업, 정보통신서비스 등)이 GDP에서 차지하는 비중은 2004년 1분기에 12.4%로 높아졌고, 전체 수출에서 정보통신산업이 차지하는 비중도 38.4%로 증가

하였다. 그러나 생산과 수출에서 호조를 보이면서도 원가압박에 시달리는 업체들이 부품·소재의 해외 조달 비중을 늘리고 있다. 이 때문에 수출이 늘어도 국내 생산과 고용 확대로 연결되지 않는 등 수출과 내수 단절 현상이 발생하는 것이다. 한국금융연구원의 자료에 의하면 “수출 주력 품목인 반도체와 무선통신기기 등 정보통신 제품은 부품과 설비의 수입의존도가 평균 44%를 웃돈다”고 밝혔다. 따라서 한국의 성장 동력산업과 기간산업의 꾸준한 동반적 성장을 위해서는 부품·소재산업의 자생화를 위한 노력으로써 특히 마이크로 접합 기술의 국산화가 시급하다고 할 것이다.

본고에서는 첨단 산업 또는 차세대 산업의 성장을 위하여, 그리고 부·제품들의 고기능화를 통한 전통산업의 경쟁력 강화를 위하여 마이크로 접합 기술의 동향을 분석하고 그 전망을 살펴 보고자 한다.

2. 마이크로 접합 기술의 특징

마이크로 접합은 전술한 바와 같이 초소형, 초정밀 부품 및 제품의 용접 및 접합을 말한다. 이들 제품들과 접합 기술의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- 초소형, 초정밀 부품 및 제품의 특징
 - 강도를 요하지 않는다.
 - 기밀, 수밀을 요한다.
 - 재질이 대체로 특수한 경우가 많다.
 - 형상이 복잡하다.
 - 소재의 두께가 대체로 매우 얇다.
 - 용접해야 할 면적이 매우 적다.
 - 변형이 적어야 한다.
 - 마이크로 접합에 의해 조립된다.
- 마이크로 접합 기술의 특징
 - 입열량이 매우 적다.
 - 용접부에 집중적인 에너지를 가한다.
 - 용접 대상물이 초소형이고, 용접대상 면적이 매우 적어서 수동용접이 불가능하고, 초정밀의 자동 용접지그장치를 필요로 한다.
 - 용접 품질이 설정변수의 조건에 따라 민감하게 변화한다.
 - 용접품질로써 강도나 역학적 내구성을 요하지 않기 때문에 용접품질의 요구특성이 소재적인 면보다는 공정 제어적인 특성이 많다.
 - 품질 불량 발생하면 생산공정 조건을 조정치 않는 한 엄청난 규모의 반복된 불량이 발생한다.

3. 마이크로 접합 기술의 종류 및 응용분야

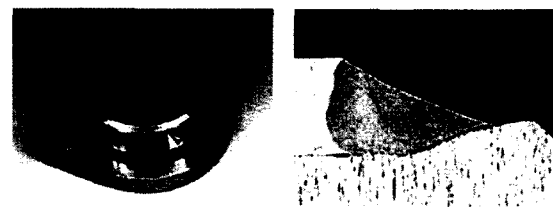
마이크로 접합 기술은 현재 우리 산업현장에서도 널리 이용되고 있다. 특히 전자제품 생산공정에서는 매우 일반적인 기술로써 인식되어 있다. 마이크로 접합 공정에서 널리 이용되는 접합 기술들을 Fig. 2에 잘 나타내었다. 이들 접합공정들은 여러 제품의 생산공정에 이용될 수 있음도 보여주고 있다. 여러 접합 프로세스 중 대표적인 공정 몇가지를 다음과 같이 소개한다.

3.1 마이크로 GTA 접합

GTA(gas tungsten arc) 접합은 텅스텐 전극과 용접물 사이의 전기적인 아크를 사용하여 열을 가하여 용접하는 공정이다. GTA 접합을 마이크로 접합에 적용하기 위해서는 열입력을 낮춰야 한다. 열입력 제어 방식에 따라 연속아크(continuous arc) 또는 펄스아크(pulsed arc) 모드에서 작업할 수 있다. 레이저처럼 열입력을 집중시킬 수 없기 때문에 용접물에 입력되는 열원은 비교적 큰 단점에도 불구하고 레이저 용접에 비해 저렴하게 시스템을 구축할 수 있고, 다른 용접공정보다 용접부 크랙 발생 민감도를 감소시키며, 부품의 fit up에 영향을 덜 받는 장점을 가지고 있어 사용되고 있다.



Fig. 2 Various fields of industry with micro joining



(a) 0.030" thick disc (b) Cross section

Fig. 3 Welding of disc to housing using micro GTA

3.2 Micro Plasma 용접

마이크로 플라즈마 용접은 GTA용접을 변형시킨 공정으로, GTA에 비해 아크가 stiff하고 아크 길이의 변화에 대해 둔감하기 때문에 박판 용접에 적합한 공정이다. 0.5~15A의 저전류 영역을 사용하여 두께 0.01mm의 박판에서도 용접할 수 있기 때문에 bellows, diaphragm 등과 같은 접합에 적용하고 있다. 경우에 따라서, 낮은 열입력으로 깊은 용입을 얻기 위해 pulse current를 사용하기도 한다. peak current 구간에서는 원하는 용입을 얻고, base current 구간에서는 용융풀을 응고시키고 아크를 유지하는 역할을 한다.

마이크로 플라즈마의 주요 적용 분야로는 관절 커터, 내시경과 같은 의료장비, 우주왕복선, 항공기 엔진, 자동차 에어백, 클러치, 브레이크의 부품, 각종 소형 센서 등에 널리 사용되고 있다.

3.3 마이크로 레이저 접합

마이크로 레이저 접합(Micro laser joining)은 초소형, 초정밀 부품 제조에 있어서 비접촉식 열원의 하나로 널리 사용되고 있다. 특히 레이저 광원의 초점 크기를 마이크로 단위로 축소시켜 부분 용입 또는 미세한 부분의 용접 시 고정밀 작업을 수행할 수 있어 마이크로 접합을 구현할 수 있는 효율적인 공정 중의 하나이다. 기존에 사용되고 있는 CO₂, YAG 등에서부터 diode, fiber 등과 같은 열원 효율을 높인 레이저의 지속적인 개발로 인해 보다 정밀하고 세밀한 용접을 수행할 수 있다. 또한 마이크로 접합 뿐만 아니라, 마이크로 가공에도 적용할 수 있어 광전자, 전자제품 및 반도체, 의료기기, 자동차, 항공기 등과 같은 부품 소재 산업에서 중요한 생산 기술로 인식되고 있다.

3.4 마이크로 저항 접합

마이크로 저항 접합(Micro resistance joining)은 전류에 의한 저항열과 가압기구의 가압을 이용하여 금속을 접합하는 기존의 저항 용접과 방법이 동일하다.



Fig. 4 Lithium batteries produced by laser micro joining(adopted by ROFIN-BAASEL brochure)

사용하는 저항 용접의 종류로 resistance spot, seam, butt, projection 등을 들 수 있다. 주로 패키지의 밀봉에는 seam과 projection이, wire attachment에는 parallel gap, projection, butt가 사용되고, 부품조립과 박판접합에는 spot, seam, projection이 사용된다. 전자부품, 스위치, thermostats, 배터리/배터리팩, 자동차, 의료기구, 전자통신, 컴퓨터, 모터 등에 널리 사용되고 있다.

3.5 확산 접합

확산 접합(diffusion bonding) 공정은 압력 접합과 같이 큰 변형을 가하기 곤란한 경우에 사용할 수 있다. 확산 접합은 플럭스를 사용하지 않으므로 깨끗하고, 변형량이 크지 않기 때문에 추가의 가공이 필요하지 않고, 다수의 접합부를 동시에 접합할 수 있는 장점이 있다. 또한 이종 금속 뿐 만 아니라 세라믹의 접합에도 사용된다.

3.6 마이크로 솔더링과 브레이징

마이크로 솔더링(Micro soldering) 및 브레이징(Brazing)은 용융점이 낮은 합금을 이용하여 모재의 용융없이 금속의 젖음 현상과 같은 금속학적인 방법으로 접합하는 공정이다. 모재와 접합면에서 솔더 납을 녹이기 위해서 저항이나, 적외선, 레이저, 열전도와 같



(a) 0.002" wire (b) Longitudinal cross section

Fig. 5 Example of pin joined by micro resistance welding

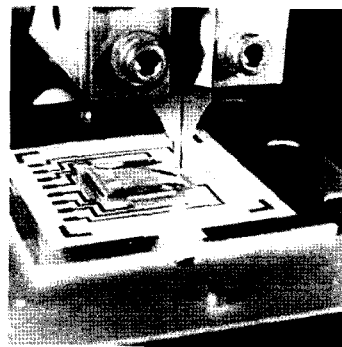


Fig. 6 Electronic packaging & sensor/transducer assembly

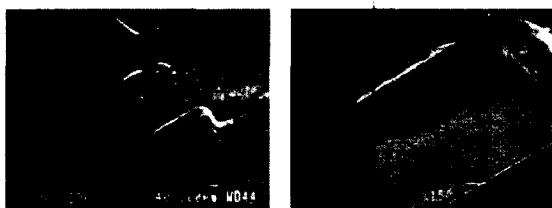
은 방법을 사용한다. 세라믹과 금속의 접합, 연료전지의 전극 밀봉과 같은 곳에 주로 사용된다. 특히 솔더링의 경우 전자기기의 기판 실장에 필수적인 기술로 최근 전자 기기의 소형/경량화에 따라 그 중요성이 더 높아지고 있는 실정이다.

3.7 초음파 접합

용융이 발생하지 않는 고상 접합인 초음파 접합 방법(Ultrasonic bonding)은 고주파 진동 에너지를 이용한다. 우선 접합면의 산화막 또는 불순물을 제거한 후 압력을 가하여 접합부를 형성한다. 주로 사용되는 주파수 범위는 10~75 kHz 이며, 재료의 두께가 감소할수록 높은 주파수를 사용한다. 이 방법은 조인트 형상에 따른 제약이나, 접합부 표면에 압입 자국이 남는다는 단점이 있다. 그러나, 매우 빠르고, 아크를 발생하지 않으므로 안전하며, 알루미늄과 구리 합금의 접합과 같이 접합하기 어려운 이종 금속의 접합에도 사용될 수 있는 장점을 가지고 있어 IC 칩의 접합에 널리 사용된다. 또한 플라스틱, 와이어 및 박판, 패키징 등에도 사용된다.

4. 마이크로 접합 기술의 국내외 연구 동향

마이크로 접합 기술의 경우 기존에 사용되고 있는 매크로 접합(macro joining) 기술을 바탕으로 발전하고 있다. 따라서 이미 접합 기술에 대한 우수한 기술력 많이 가진 주요 선진국이 주도하고 있다. 우선, 마이크로 접합에 대한 국외 연구기반 구축 현황을 살펴보면 Table 1에 나타난 것처럼 일본용접학회(JWS), 미국용



(a) 0.003" copper wires (b) High Magnification of parallel gap

Fig. 7 0.003" copper wires soldered to gold pads



(a) 0.001" Al wire (b) High Magnification 0.001" wire on chip pad

Fig. 8 Example of ultrasonic welding with 0.001" Al wire to IC chip

접학회(AWS) 등 기존에 접합 기술을 관리하고 있는 기관이 그 역할을 계속 유지하고 있다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 일본을 주축으로 하여 미국, 유럽 등의 선진국에서 마이크로 접합 관련 기술 개발의 결과를 많이 도출하고 있다. 마이크로 접합은 최근 활발하게 연구되고 있는 MEMS/NANO 기술의 연장선상에 있는 기술이기 때문에, 접합 기술 뿐만 아니라 미세 부품을 접합할 수 있는 구동 시스템까지 갖추어야 한다. 그러므로 접합 기술 한 분야의 기술 개발 결과로만으로는 미흡하기 때문에 미세 구동 장치 및 접합 등 종합적인 정밀 제어 기술 능력을 가진 주요 선진국에서 선도적인 결과를 얻고 있다.

주변 연구 환경을 갖추어 나가고 있다. 특히 주요 국가 산업인 반도체 분야에 대한 마이크로 접합 연구가 기업 연구소와 대학, 국가 연구소를 바탕으로 왕성하게 진행되고 있다. 그러나 보다 체계적인 구조를 갖추기 위해서는 주요 선진국처럼 연구개발을 관리하고 연구개발 결과를 기업에 이전하기 위한 기관의 설립도 필요할 것이다.

5. 마이크로 접합 기술의 전망

우리나라의 주력 산업인 반도체, 자동차, 가전 등의 경우 수요산업의 경쟁력은 아직 우위에 있다고 할 수

Table 1 Research/Management Trends for Micro Joining

주요 국가	연구개발/애로기술지원	기술자격 인정/관리	회원사 제도운영
일본	<ul style="list-style-type: none"> ■ 오사카국립접합연구소 (오사카대) ■ 첨단과학연구소(동경대) 	JWS	-
미국	<ul style="list-style-type: none"> ■ EWI ■ NIST/ORNL ■ OH,MD 주립대 	AWS	EWI
EU	<ul style="list-style-type: none"> ■ TWI, IS ■ 프라운호퍼 국립연구소 ■ 아헨공대 	TWI	TWI, IIV
중국	<ul style="list-style-type: none"> ■ Harbin국립 접합연구소 ■ Harbin공대 	Harbin국립 접합연구소	-

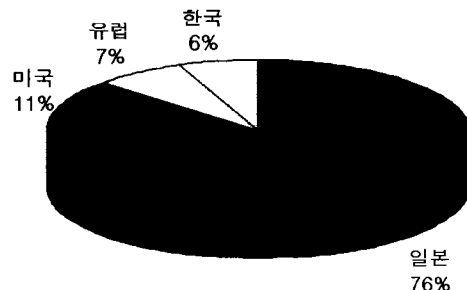


Fig. 9 Comparison of micro joining patent in several countries (Total 11290 cases to 2001)

있다. 그러나 완제품에 이르기까지 필요한 주요 부품 제조에 있어서는 기술력의 부재 또는 중소기업에 의존한 열악한 환경으로 인해 선진국으로부터 중요 부품을 수입하고 있는 실정이다. 특히, 디지털 가전, 정밀기계, 차세대 이동통신과 같이 소형화되는 부품 증가에 따라 이에 따른 기술력이 절실하게 요구되고 시점에서 이와 같은 부품 제조에 있어 접합 공정은 없어서는 안 될 매우 중요한 기술이다. 기존의 용접 공정 방법을 마이크로 부품에까지 확대할 수 있는 접합 기술이 확보될 경우, 여러 가지 장점을 가져올 수 있다. 우선, 부품소재 산업의 경쟁력을 강화할 수 있다. 완제품의 완성도를 높여 주요 생산품의 품질에 대한 신뢰도를 확보할 수 있을 것이고, 이에 따라 부품 소재 업체의 수익 증진도 기대할 수 있을 것이다. 또한 국내 기술력을 바탕으로 만들어진 정밀 부품의 수출로 인해 국가 수입 증대에도 이바지 할 것이다.

주요 선진국에서는 마이크로 접합에 관한 연구를 대학과 국가 연구소를 바탕으로 활발하게 진행하고 있다. 따라서, 마이크로 접합에 대한 지속적인 연구 개발과 투자를 통해 선진국을 추월할 수 있는 기술력을 갖추는 것이 시급한 과제라고 할 수 있다.

6. 결 론

본고를 통해 마이크로 접합 기술에 대한 개괄적인 정의와 몇가지 마이크로 접합 방법을 나열하고 그 활용범위를 살펴보았다. 그리고, 마이크로 접합 기술의 현황을 파악하고, 전망을 제시하였다. 이미 서술한 바와 같이 마이크로 접합 기술은 작게는 기업의 기술력 향상에 따른 수입 증대를 가져올 것이고 크게는 국가경쟁력 향상을 시킬 수 있는 기초 기술 산업이므로 보다 많은 연구와 투자가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. The Bank of Korea·KIF (Jungang economic news 6. 21. 2004.)
2. J. Lu : Laser Micro-Welding of 40G Optoelectronic Butterfly Package with Submicron Post Weld Shift, ICALEO (2003), M203
3. Rofin-Baasel, Catalog
4. 용접공학, 유중돈, 2003
5. <http://www.twi.co.uk>
6. <http://www.aws.org>
7. <http://www.precisionjoining.com>
8. 마이크로 접합, 강춘식, 정재필 저, 삼성북스, 2002



- 강문진
- 1963년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 용접지능제어, 용접기기개발
- e-mail: moonjin@kitech.re.kr



- 김종훈
- 1959년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 브레이징, 마이크로솔드링
- e-mail: kjhoon@kitech.re.kr



- 강봉용(姜奉龍)
- 1960년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 용접전원파형제어, 용접재료개발
- e-mail: kanbo@kitech.re.kr



- 김정한
- 1956년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 용접야금, 용접재료
- e-mail: jhkim@kitech.re.kr