



마이크로 레이저접합 기술

강남현 · 김준기 · 김철희 · 김정환

Micro Laser Joining Technology

Nam-Hyun Kang, Jun-Ki Kim, Cheol-Hee Kim and Jeong-Han Kim

1. 마이크로 레이저접합 기술

마이크로 레이저접합은 열원으로 레이저(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)를 사용함으로써 에너지 밀도를 조절할 수 있고 비접촉식 프로세스라는 특성을 가지고 있다. 따라서 제품 디자인의 자유도를 극대화 시킬 수 있으며, 고출력 레이저를 사용할 경우 생산단가를 낮출 수 있다는 장점이 있다. 그러나 capital cost가 높고 재료에 따라 차이는 있으나 전반적으로 표면반사율이 높아 효율이 낮으며 safety screening이 필요하여 현장적용 시 제약이 따른다는 단점들이 있다.

이를 극복하기 위해서 CO₂, YAG 등 IR 레이저가 개선되고 있으며, 또한 단파장의 UV 레이저와 같은 새로운 레이저가 개발·적용되고 있는 추세여서 앞으로 더욱 널리 사용되리라 여겨진다. 그리고 diode, disk 및 fiber 레이저 등 작은 크기에도 높은 효율을 가진 레이저가 안정적인 빔 품질을 구현하도록 더욱 개선되어 진다면 접합에서 차지하는 레이저의 역할은 더욱 지대해질 것이라 예상되고 있다. 참고로 마이크로 레이저접합 뿐만 아니라 마이크로 가공에 사용되는 레이저의 종류를 파장대에 따라 분류한 표를 Fig. 1에 나타내었으며, 레이저 종류별 특성과 일반적인 적용분야는 Table 1에 표시하였다.

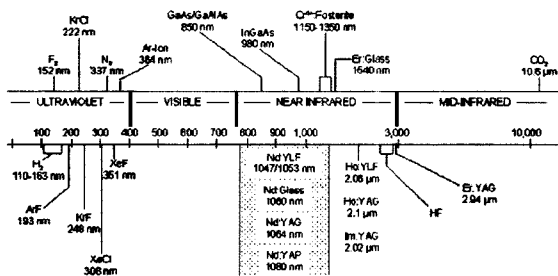


Fig. 1 Lasers as a function of the wavelength

Table 1 General applications of lasers¹⁾

| Application | Property of beam most used | | | | | | Laser normally used |
|----------------------|----------------------------|----------------|----------------|-----------------|-------------|-----------|---|
| | Mono-Chromatic | Low Divergence | Coherency | High Power | Single Mode | Efficient | |
| Powerful Light | | | | Diagonal lines | | | He/Ne, Ar |
| Analytical Technique | | | | | | | Nd-YAG |
| Heat Source | Diagonal lines | | | | | | CO ₂ , Nd-YAG, Glass excimer |
| Medical | | | | | | | CO ₂ , Ruby, Ar, Excimer |
| Atomic Fusion | | | | | | | CO ₂ , Nd-Glass |
| Shade coding | | Main property | Diagonal lines | Second property | | Third | |

마이크로 레이저접합은 보통 50-500W급 저출력 IR 레이저를 이용하여 모재/용가재를 녹여 접합시키는 fusion joining의 한 방법으로, 싱글스폿 또는 겹쳐진 스폿들을 펄스모드로서 운영하거나 연속모드로서 심용접을 하기도 한다. 두 경우 모두 짧은 interaction 시간에 최소한의 입열량을 사용함으로써 좁은 열영향부를 갖고 있기 때문에 온도에 민감한 정밀부품에 활용되고 있다. 이러한 초소형 부품을 다루기 때문에 정밀한 CNC 테이블이 필수이며 다축 로봇 또는 scanning mirrors를 이용하면 작업의 자율성을 더욱 높일 수 있다. 레이저 초점의 크기를 100 μm 이하의 원형으로 작게 하여 작업이 가능하며, 또한 타원형의 레이저 초점 조절이 가능하기 때문에 용입과 용접선의 정확한 제어가 가능하다는 장점이 있다. 특히 부분용입을 필요로 하는 박판 패키징의 경우 저출력 레이저가 유용하게 사용되고 있다. 그리고 표면개조나 상변태와 같은 다른 용도에도 레이저가 활용될 수 있기 때문에 점점 사용분야가 늘고 있는 추세다. 선진국에서는 1990년대 초반부터 레이저와 관련 주변기기에 관한 연구를 활발히 진행하였으며, 이를 적용한 마이크로접합 기술을 개발하여 현재 광통신, 전자, 자동차, 바이오 등 산업전반으로 적용분야를 넓혀 가고 있다. 구체적인 적용분야는 다음과 같다.

■ 광전자

- 낮은 입열량, 고정밀도 그리고 고신뢰성 요구에 맞추어 능동소자인 발광·수광모듈과 페룰부와의 정렬/모듈제조²⁾

■ 전자제품 및 반도체

- 전자부품들의 hermetic encapsulation³⁾
- 실리콘, 사파이어 등의 반도체 재료들의 마이크로 cutting/drilling
- 웨이퍼 dicing, scribing, 비아홀 가공
- MEMS 용 LIGA 부품 조립⁴⁾
- Li 배터리 (Fig. 2 참조)

■ 의료기기

- 인공항문자루, 방사선 삽입관, 흡출튜브, 피임기구와 같은 플라스틱 제품의 밀봉 패키징
- 도뇨관 튜브, 심장박동조절장치, 내시경 부품 등 박판 또는 세선의 금속제품의 용접밀봉⁵⁾



Fig. 2 Lithium batteries produced by laser microjoining [Adopted by ROFIN-BAASEL brochure]⁷⁾

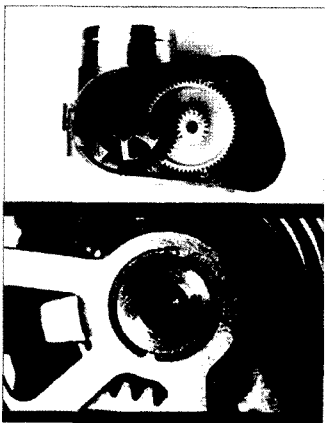


Fig. 3 Automobile throttle shaft produced by laser microjoining [Adopted by ROFIN-BAASEL brochure]⁷⁾

- 정밀 초소형 수술/교정/치과용 기구 제작

■ 자동차

- 연료분사노즐, 에어백 추진장치, 파워조향장치 등에 사용되는 초소형 전자장치
- Throttle shaft 등 엔진·동력전달부품 (Fig. 3 참조)
- 압력, ABS, 습도, 공기유량 등을 감지하는 각종 센서류

■ 기 타

- 항공기 엔진
- 형광전구, 필라멘트 등 조명기구
- 핵발전소용 range spacers
- 초소형 모터, 기어, 시계⁶⁾, 면도기 헤드, 보석류 등 정밀부품 (Fig. 4, 5 참조)
- 릴레이, 컨넥터, 스위치 등 전기부품

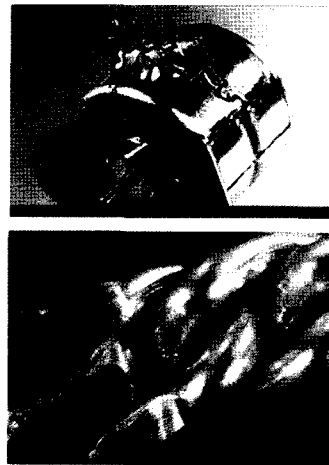


Fig. 4 Miniature motors and neckless link produced by laser microjoining [Adopted by ROFIN-BAASEL and TRUMPF brochures, respectively]^{7,8)}

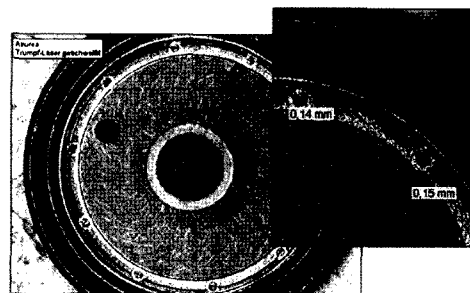


Fig. 5 Micro gear parts for Azurea produced by laser microjoining [Adopted by TRUMPF brochure]⁸⁾

2. 마이크로 레이저접합 기술의 지역별 연 구동향

선진국은 레이저 발전기 제조기술, 광학계 및 주변기 기 등 레이저 마이크로접합 관련 제반기술이 확보되어 기술의 완성도가 높은 것으로 판단된다⁹⁾. 이를 기반으로 유럽의 TWI (The Welding Institute)와 미국의 EWI (Edison Welding Institute)에서 주로 원천기술을 확보하고 있으며 일본의 최첨단 초소형 기계·전자 부품 제조기술이 세계를 이끌어 가고 있다.

2.1 유럽

영국의 TWI에서는 초소형 부품의 접합을 위해 전 세계회사들과 공조하여 40여개가 넘는 기술에 대한 노하우를 보유하고 있으며, 차세대 유망 접합 기술 및 재료를 집중 연구하고 있는 세계적인 연구소이다. 이미 진행되었거나 현재 진행 중인 핵심연구과제의 리스트(아래 참조)에서 볼 수 있듯이 정밀기계부품에서 전자부품에 이르기까지 마이크로 접합에 관련된 폭 넓은 이론적인 이해와 현장지식을 보유하고 있다.

- 초소형 정밀부품 제조를 위한 저출력 레이저 용접기술
 - 소형가스터빈, 냉각기, 마이크로 전자제품
 - 플러그 어셈블리에서 stranded 와이어
 - 우주항공용 센서에 쓰이는 10 μm Pt 와이어
 - 케이블 스크리닝 알루미늄 심용접
 - 박판 및 fiber 용접
- 레이저 파장에 따른 투과용 플라스틱에서의 안료 및 초벌철에 따른 공정연구
- 정밀 초소형 수술기구와 교정기구 제작
 - 피임기구
 - PE 도뇨관
 - PP cement dispenser
- 낮은 입열량과 고정밀도 요구에 맞추어 광통신 소자들의 encapsulation
- 세라믹 산화물과 금속간의 접합
- 레이저 솔더링
 - 무플럭스 레이저/초음파 솔더링을 이용한 열가소성 캡슐화된 전자부품
 - 솔더컨넥터를 개선한 용접조인트 전환
- 정밀가공 기술
 - 마이크로비아홀 등 정밀가공기술

- Texturing 등 표면개선기술

독일의 Fraunhofer Institute는 우수한 기계/재료 관련 기술력을 바탕으로 첨단 마이크로 레이저접합 공정을 연구하고 있다. 특히 자동차 분야를 중심으로 이 중계로 조립을 위한 마이크로 레이저접합 관련 연구에 강점을 갖고 있는 것으로 알려져 있다¹⁰⁾. 레이저용접기 전문 제조업체인 Trumpf와 Rofin-Baasel 같은 회사에서는 초소형 전자제품, 자동차 부품, 센서류, 의료기구, 반도체, 치과용 재료, 플라스틱 및 보석류 가공에 이르기까지 많은 분야에서 마이크로 레이저접합이 활용됨을 보여주고 있다^{7,8)}.

2.2 북미

북미 지역은 넓은 시장에 비하여 생산현장 적용사례가 많지는 않으나, 대학 또는 전문연구기관에서 선진기반연구를 하고 있다. 미국의 경우 EWI, Sandia National Lab, Oak Ridge National Lab, Argonne National Lab과 같은 전문연구기관을 주축으로 Department of Energy, Navy Joining Center 등의 정부지원 아래 차세대 접합 기술연구를 수행하고 있다. 미국의 접합 기술 수준은 우주/항공기, 원자력 발전소 건설, 반도체 및 전자재료의 마이크로브레이징 분야와 같은 첨단산업에서 선두를 유지하고 있다. 특히, EWI에서는 마이크로접합 분야에 적합한 저출력 레이저로서 150W RF pulsed CO₂ laser, 50W pulsed Nd:YAG laser with dual fiber-optic feeds 그리고 300W pulsed Nd:YAG laser를 활용하여 활발한 연구개발 중에 있다. 주 연구 및 적용분야로는 레이저의 비접촉 특성을 활용한 박판재료 및 세션용접, 전자패키징, 플라스틱 가공, 자동차용 전자부품, 압력에 민감한 벨로우즈, 그리고 의료용 기구에 쓰이는 소구경 와이어 등이 있다.

그 외에는 캐나다의 워털루대학과 호주의 CSIRO 등에서 관련된 연구결과가 소수 발표되고 있다.

2.3 아시아

아시아에서 마이크로 레이저접합 연구를 가장 활발히 진행하고 있는 국가는 일본이다. 세계기술의 최정상을 달리고 있는 일본의 전자산업을 중심으로 성장해 온 일본의 마이크로 레이저접합 산업은 전통적으로 용접에 중심을 두었던 오사카대학의 JWRI에서도 최근에 많은 연구와 투자를 하고 있는 분야이다. 레이저솔더링을 활용하여 집적도와 신뢰성이 높은 마이크로 전자제품 조립을 시도하였으며, 이 밖에도 최첨단 마이크로 레이저 접합 관련 연구과제를 수행하고 있는 것으로 알려져 있

으나 구체적인 연구결과는 공개되어 있지 않다.

중국의 HIT에서도 1986년부터 100W 급의 CW YAG 레이저(Q-switch)와 500W pulsed YAG 레이저를 보유하고서 MEMS, microelectronics와 같은 마이크로 디바이스와 광전자 부품들의 조립 및 패키징을 위하여 마이크로 레이저접합 연구가 진행 중에 있다.

2.4 한국

펄스초 또는 엑사이머 레이저를 이용한 극미세 가공에 관하여 학계 및 연구계에서 기초적인 연구를 하고 있으나 구체적인 생산현장 적용을 위한 단계에 이르기까지 산업계의 호응을 얻어내지 못하고 있는 것으로 판단된다. 한편 자동차 부품 조립의 경우 초소형 모터, 벨로우즈, 솔레노이드 밸브, 연료분사장치 등 초정밀 소형부품들의 마이크로 레이저용접에 관한 결과는 발표되었다. 하지만 마이크로접합 관련 제반 시스템은 물론 체계적인 관련 자료 또한 선진국의 기술에 의존하고 있는 걸음마 단계이다.

3. 마이크로 레이저접합 기술의 전망

레이저를 이용한 마이크로접합 기술은 용가제 없이 초소형 기계/전자제품의 밀봉 패키징이 가능하고 높은 생산성·정밀도·신뢰도를 가진 새로운 접합 기술이다. 알루미늄, 동, 스틸과 같은 금속과 더불어 세라믹 산화물, 플라스틱 재료의 접합까지 적용이 확대되고 있으며, 아크 또는 저항용접을 이용하여 접합을 해오던 복잡한 다공정 조립시스템을 레이저를 적용하여 공정수를 줄인 사례가 발표되고 있다¹¹⁾. 레이저의 특성상 정밀한 위치제어가 가능하고 열영향부를 최소화 할 수 있으므로 용점이 높아진 무연솔더를 대체할 수 있는 방법의 하나로도 활용이 검토되고 있다¹²⁾. 세계 선진국에서는 이러한 기술의 흐름에 따라 생산현장 적용을 위하여 활발한 연구가 진행되고 있다. 한국에서도 향후 국내 기

술수요에 적극 대처하고 향후 첨단 산업분야의 신기술 개발에 대비하기 위한 마이크로 레이저접합 기술의 첨단화가 필요할 것으로 판단된다. 그러나 전량 수입에 의존하고 있는 고가의 마이크로 레이저접합 장비, 그리고 광학계 또는 주변기기 등 제반기술 또한 낙후되어 있어 완성도 높은 기술개발에 많은 제약이 따르고 있다. 특히 현재의 국내 시장이 좁고 막대한 연구비 조달이 어려우므로 마이크로 레이저용접의 현장 적용을 위해서는 정보공유, 연구인력 및 시설의 집중화가 절실히 요구된다.

참 고 문 헌

1. W. M. Steen : *Laser Materials Processing*, Second edition, Springer-Verlag, London (1998)
2. J. Lu : *Laser Micro-Welding of 40G Optoelectronic Butterfly Package with Submicron Post Weld Shift*, ICALEO (2003), M203
3. T. Vesansalo, H. Panssar and J. Martikainen : *Hermetic Laser Welded Encapsulations for Electronic Components*, ICALEO (2003), M205
4. G. A. Knorovsky and D. O. MacCallum : *The Effect of Laser Welding on LIGA Materials*, ICALEO (2001), M802
5. Y. Funada and N. Abe : *Micro Welding of Thin Stainless Steel Foil with a Direct Diode Laser*, ICALEO (2003), M204
6. A. Olowinsky and T. Kramer : *New Applications of Laser Beam Micro Welding*, ICALEO (2001), M804
7. Rofin-Baasel, Catalog
8. Trumpf GmbH, Catalog
9. M. Lee and T. Lim : *Laser-Arc Hybrid Welding(4)*, Journal of the Korean Welding Society (2004), 7-9
10. K. Klages : *Laser Beam Micro Welding of Dissimilar Metals*, ICALEO (2003), M202
11. J. Singh and G. E. Loeb : *Laser Fabrication of a Hermetic, Injectable Medical Stimulator Package*, ICALEO (2002), M803
12. Y. Kawahito and T. Okada : *Intelligent Laser Process Control in the Micro Spot Welding for Copper*, ICALEO (2001), M803



- 강남현
- 1970년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 레이저용접/클래딩 공정
- e-mail: nhkang@kitech.re.kr



- 김준기
- 1971년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 용접재료, 하드페이싱 용접공정
- e-mail: jkim@kitech.re.kr



- 김철희
- 1973년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 용접공정해석 및 자동화
- e-mail: chkim@kitech.re.kr



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