

최근 접합기술 개발 동향

- 레이저 브레이징 기술 -

김 숙 환 · 이 목 영 · 권 영 각

Recent Trends in Development of Joining Technologies

- Laser Brazing Technology -

Sook-Hwan Kim, Mok-Young Lee and Young-Gak Kweon

1. 서 언

최근 각종 고성능 기기에 적용되는 브레이징 기술은 노 브레이징이나 토치 브레이징이 주류를 이루고 있다. 노 브레이징은 박물, 복잡형상의 대형구조물을 모재 용융없이 모든 접합부를 한번에 브레이징할 수 있다는 장점이 있지만 브레이징 품질의 제어 및 신뢰성 확보 차원에서 고려하면 여러 가지 보완해야 할 점이 있으며 토치 브레이징에서는 시공상 고도의 숙련도가 필요하다는 문제가 있다. 최근 이러한 문제점을 해결할 수 있는 새로운 기술로서 레이저 열원을 이용한 레이저 브레이징이 주목을 받고 있다. 용접이나 절단등의 열가공용 레이저로서 지금까지 CO₂ 레이저나 YAG 레이저가 사용되어 왔지만 최근들어 고출력 반도체(이하 LD로 표기) 레이저가 개발 실용화 되었다. LD 레이저는 금속 특히 브레이징 재료로 널리 이용되는 귀금속이나 알루미늄에 흡수율이 매우 높기 때문에 브레이징에 적용할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

특히, 유럽의 자동차 산업에서는 차체설계의 대응 폭을 넓히고 원가절감에도 유효한 접합기술로서 차체 외장부의 접합에 레이저 브레이징을 도입하기 시작하고 있다. 최근 일본에서도 새로운 가능성을 가진 레이저 브레이징 공정에 주목하고 있다. 고출력 LD 레이저는 출력, 파워밀도나 신뢰성이 비약적으로 향상되고 있고 CO₂ 레이저, YAG 레이저의 뒤를 이어 차세대 가공용 고출력 레이저로서 위치를 확고히 하고 있으며 복잡한 3차원 형상의 작업물에 고속 접합하는 레이저 시스템이 개발되고 있는 실정이다.

2. 레이저 브레이징

브레이징은 접합하는 모재를 용융시키지 않고 모재보

다 용점이 낮은 삽입금속을 용융시켜 접합하는 방법이다. 레이저 브레이징은 열원으로 레이저를 사용하여 삽입금속을 용융시킴으로서 모세관 현상으로 접합부 사이를 충전시키는 접합법으로 도식적으로 나타내면 Fig. 1과 같다. 모재를 용융시키지 않고 접합하기 때문에 용접이 곤란한 금속이나 이종금속의 접합을 가능하게 한다. 또한 용접에 비해서 입열량이 적기 때문에 모재의 열영향이나 변형이 적고 외관형상이 우수한 접합이 가능하다. 브레이징은 종래에 노 브레이징이나 토치 브레이징이 널리 사용되어 왔지만 제어문제나 안정성등의 측면에서 문제점이 많고 자동화도 곤란하다는 단점이 있다¹⁾.

GMA(Gas Metal Arc, 이하 GMA로 표기) 브레이징은 이러한 문제점을 해결할 수 있는 접합 공정이지만 스파터의 발생이나 비드의 평활성등에 문제점이 있다. 그러나 레이저를 브레이징 열원으로 사용하면 아래와 같은 장점을 확보할 수 있다.

① 집광된 스폿 빔으로 입열 위치를 제어하여 단시간 가열 및 냉각이 가능하기 때문에 모재로의 열영향이나 변형이 매우 적고 접합부 외관이 미려하여 후처리가 필요 없다.

② 브레이징 폭이나 깊이, 합금화층등의 프로세스 제

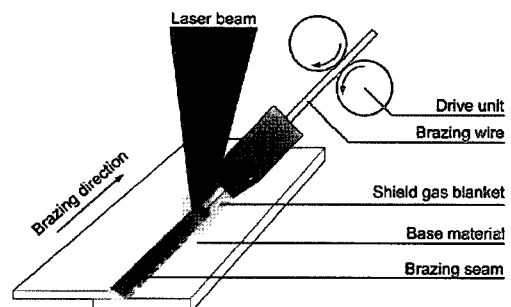


Fig. 1 Schematic representation of the laser brazing

어가 용이하고 신뢰성이 높은 접합을 안정하게 얻을 수 있다.

③ GMA 브레이징에 비해 레이저 브레이징에서는 스팟터가 없고 비드 평활성이 우수한 고품질 브레이징부를 확보할 수 있을 뿐만 아니라 2배 이상 고능을 접합이 가능하다.

④ 모재에 대한 젖음성이나 침식을 제어할 수 있고 국부 가열, 급열/급냉에 의한 모재의 재질열화나 변형 제어, In-process 모니터링 및 리얼타임 제어를 통한 브레이징 품질 안정화등 접합부 신뢰성을 확보할 수 있다.

이러한 특징을 이용하여 귀금속 내열 삽입금속을 이용한 내열 초합금의 브레이징과 알루미늄 삽입금속을 이용한 알루미늄 합금/철강재료 브레이징(Fig.2 참조)의 LD 레이저 적용성에 대한 기초연구등이 수행되고 있다. 일반적인 브레이징 조건과 동종 및 이종재료 브레이징 단면을 Table 1과 Fig. 3에 나타내었다. 그리

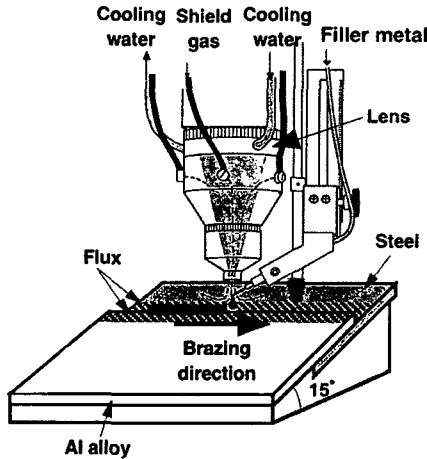


Fig. 2 LD laser brazing procedures (Al alloy/Steel)



Materials	① Zn coated	② Zn coated	③ Zn coated/Al
Wire	Cu-Si	Cu-Si-Ag-Sn	Zn-Al
Laser Power	4kW	1.5kW	3kW
Brazing Speed	5 m/min	1.5 m/min	2 m/min

Fig. 3 Brazing condition and bead shape

고 LD 레이저의 구성은 Fig. 4와 같이 레이저 소자를 1cm 길이로 어레이(array) 상으로 나열한 것을 LD 바(bar)라고 부르고 이것을 히트 싱크(heat sink)를 탑재한 위에 적층하여 스택(stack)을 형성한다. 각 소자로부터 발진한 레이저는 Fig. 4에서 알 수 있듯이 상하방향과 수평방향에서 발산각이 다르기 때문에 LD 바(bar)의 앞에 cylindrical 렌즈가 설치되어 있다. 현재 한개 스택이 1kW를 넘는 것도 있으며 스택을 적층 방향으로 배열하거나 다른 파장의 레이저를 커플링함으로써 고출력화가 가능하고 6kW급까지 시판되고 있는 실정이다. 또한, 레이저 브레이징은 삽입금속의 흐름을 원활하게 이용하여야 하기 때문에 브레이징부는 Fig. 5와 같이 설계하는 것이 일반적이다.

2.1 자동차 산업에서의 레이저 브레이징

자동차 산업에서 생산비 저감, 차체의 경량화 구조나 디자인의 다양화에 대응하기 위하여 레이저의 적용이 진행되고 있다. 특히 유럽의 자동차 메이커에서 적극적

Table 1 LD laser brazing conditions

Parameter	Brazing of heat resisting alloys			Dissimilar brazing of Al/steel
	Au-Ni filler metal	Ag-Pd filler metal	Ag-Cu-Pd filler metal	BA 4047 filler metal
Laser power	260~350W	350~450W	280~350W	1,000~1,500W
Defocus length	3mm	3mm	3mm	0mm
Wire feeding speed/travelling velocity(Vf/Vw)	6.6~10 Vf:20~30mm/s Vw:3mm/s	6.6~10 Vf:20~30mm/s Vw:3mm/s	6.6~10 Vf:20~30mm/s Vw:3mm/s	2.4 Vf:25mm/s Vw:10.5mm/s
Wire feeding position from surface	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Ar gas flow rate	15 ℓ/min	15 ℓ/min	15 ℓ/min	15 ℓ/min
Weaving	Amplitude:1~2mm Frequency: 4Hz	Amplitude:1~2mm Frequency: 4Hz	Amplitude:1~2mm Frequency: 4Hz	-
Brazing clearance	0.3~1.5mm	0.3~1.0mm	0.3~1.5mm	-

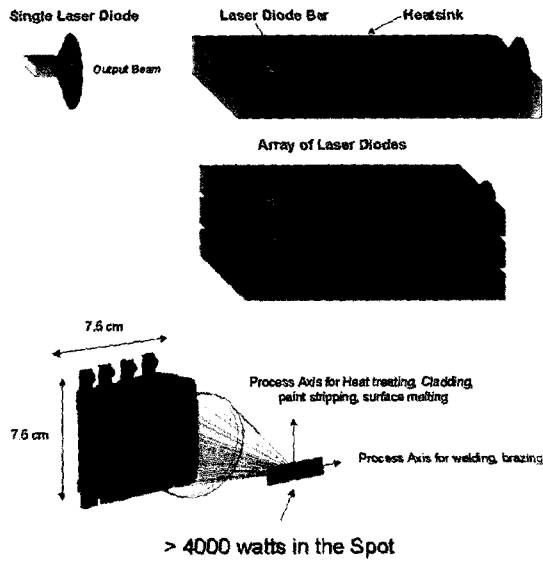


Fig. 4 Configurations of diode laser

Lap joint	
Butt joint	
Scarf joint	
Butt flange	
T joints	
Strap joint	

Fig. 5 Joint designs for brazing

으로 추진하고 있고 YAG 레이저 용접, GMA-YAG 하이브리드 용접, CO₂ 레이저에 의한 리모트 용접등이 생산라인에 적용되고 있다. 최근에는 삽입금속을 와이어 형태로 공급하면서 로봇으로 하는 3차원 브레이징이 적용되고 있는 실정이다. 레이저 브레이징은 소입열 접합이기 때문에 도금층(Zn등)의 손상이 거의 없고 변형도 적기 때문에 외관이 미려할 뿐만아니라 추가로 씸링(sealing) 작업이 필요 없다는 것이 큰 장점이다. 사이드 월(side wall) B형 필라(pillar)나 트렁크 리드(trunk lid)^{2,3)}, 루프(roof)나 도어부등 외관형상을 중요시하는 부분에 레이저 브레이징 기술을 적용하는 사례가 증가하고 있으며⁴⁾ 이들 적용사례중 하나를 Fig. 6에 나타내었다. 또한, 광원은 YAG 레이저가 주류를



Fig. 6 Application for laser brazing of the automotive body

이루고 있지만 전기-광 변환효율이 우수하고 소형화가 가능한 장점을 가진 LD 레이저를 채택하는 경향이 증가하고 있으며, 출력 1.5kW LD 레이저를 이용하여 자동차 도어의 브레이징에 적용하고 있다. 이와 같이 레이저 브레이징은 자동차 산업을 중심으로 급속히 실용화 되고 있다.

2.2 LD 레이저의 응용 및 특징

LD 레이저광 자체를 직접 집광하여 가공에 이용하는 고출력 LD 레이저 장치의 개발은 독일 브라운 호퍼 연구소를 중심으로 1990년경부터 진행하여 왔으며 레이저 출력의 증대와 집광 파워밀도의 향상에 따라 1997년 제품화 이후 여러 산업분야로 확대되고 있다. 현재 LD 레이저에서 얻어지는 파워밀도는 최대 1×10^6 W/cm² 정도이기 때문에 키홀 용접이나 절단에 적용하기 곤란하다. 그러나 LD 레이저는 YAG 레이저나 CO₂ 레이저에 비해서 전기-광 변환효율이 높고 소형 경량화 하기 쉽다는 특징을 가지기 때문에 요구되는 파워밀도가 비교적 낮은 열전도용접, 소입이나 클래딩등의 표면개질 및 브레이징에 적용되고 있다⁵⁾. 또한, 전장 부품등에 사용되는 레이저 수지용착은 LD 레이저의 주요한 응용분야중의 하나이며⁶⁾, 다음과 같은 여러 가지 특징을 가지고 있다.

① 레이저 헤드를 직접 로봇에 탑재하는 것이 가능하기 때문에 설치면적을 최소화 할 수 있다.

② 전기-광 변환효율이 CO₂ 레이저 6~8%, 램프 여기 YAG 레이저에서는 1~2%이지만 LD 레이저의 경우 직접식에서는 30~35%, 화이버식에서도 25~30%로 효율이 상당히 높고 칠러(chiller)등 주변장치도 전력을 상당히 줄일 수 있다.

③ 화이버 커플링 출력에 의한 원형 스폿과 직접출력에 의한 삼각빔등 2종류의 스폿형상이 얻어져 목적에 따라 스폿형상의 선택이 가능하다.

④ 발전기의 구성이 간단하여 조정이 필요 없고 정비가 필요한 부분이 매우 적다.

⑤ 발전 파장역이 CO₂ 레이저나 YAG 레이저보다 짧기 때문에 금속재료의 광 흡수율이 높고 특히 800nm에서 알루미늄은 매우 높은 흡수특성을 나타낸다.

LD 레이저 브레이징의 특징을 노 브레이징과 비교해 보면 Table 2와 같이 정리할 수 있다. 즉, 노 브레이징에서는 동시에 넓은 면적, 여러 부위의 브레이징이 가능한 잇점이 있지만 젖음성과 흐름성을 이용하여 용융된 삽입금속을 충전시키기 때문에 브레이징부 간격을 제어할 필요가 있다. LD 레이저 브레이징에서는 노 브레이징에서 실현 불가능한 간격의 브레이징부에 대해서 적용할 수 있지만 좁은 간격이나 후판의 브레이징부에서는 삽입금속의 부족이 발생할 수 있다. 이와같은 경우 Fig. 7과 같은 트윈(twin) 빔에 의해 개선할 수 있다. LD 레이저 브레이징 과정은 급열, 급냉 공정이기 때문에 모재의 침식, 석출, 상분해나 생성상의 생성을 억제할 수 있을 뿐만 아니라 국부적인 정밀제어가 가능하기 때문에 접합부 특성도 우수하다.

LD 레이저를 이용하여 브레이징한 조건과 단면형상은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 접합형상이나 재질에 따라 다르지만 출력 1kW당 1m/min 전후의 브레이징 속도가 얻어지며 Zn 도금강판의 경우 브레이징후 후처리 없이 도장하는 것이 가능하다.

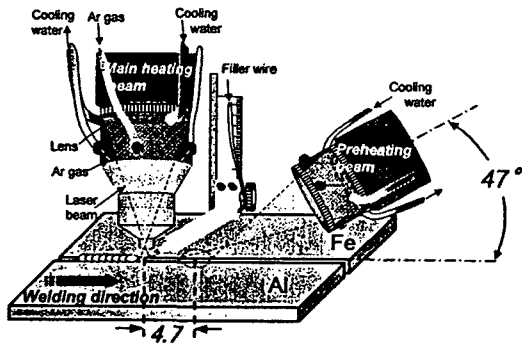


Fig. 7 Schematic illustration of twin laser brazing

3. 광폭 레이저 브레이징

레이저 집광렌즈부 조합에 의해 빔 스폿 형상을 0.5mm x 6.0mm로 하고 출력 3.0kW에서 파워밀도는 $1.0 \times 10^5 \text{W/cm}^2$, 작업거리 180mm로 설정함으로써 폭 6mm의 광폭 브레이징이 가능하다. 이 조건에서 판두께 0.8mm의 Zn 도금강판에 0.8mm Cu-Si 와이어를 삽입금속으로 사용하고 레이저 출력 3kW, 이동 속도 3m/min, 와이어 송급속도 12m/min, Ar를 보호가스로 사용하면 비드폭이 아주 균일하고 양호한 비드를 확보할 수 있다. 이러한 공정은 스패터가 발생하지 않는 공정으로 접합부에 1mm 정도의 간격이 있어도 충분히 삽입금속으로 충전할 수 있다.

광의 강도가 균일한 광폭의 빔을 이동방향과 직각으로 조사함으로써 모재를 넓고 균일하게 가열시키고 충분한 입열이 주어지면 레이저에 의해 용융된 삽입금속이 모재의 가열 폭을 따라 침투하여 미려한 비드를 형성하게 된다. 따라서 비드 경계가 안정된 광폭의 비드가 얻어지고 광폭의 빔이기 때문에 와이어가 공급되는 위치의 자유도도 크다.

CO₂ 레이저나 YAG 레이저는 중심부의 강도가 높은 원형의 빔이지만 LD 레이저의 직접식에서는 빔의 폭방향으로 균일한 강도의 빔이 얻어지기 때문에 빔의 hot spot부가 없어 스패터가 없는 미려한 광폭의 브레이징부를 확보할 수 있는 수준에 이르고 있다.

4. 결 언

레이저 브레이징은 해외 자동차 메이커를 중심으로 차체에 적용하고 있으나 국내에서 연구개발 현황은 아직까지 미약한 수준으로 현재 상업화된 부분은 그리 많지 않은 것으로 추정된다. 그러나 LD 레이저 브레이징은 자동차 차체나 관련 부품의 접합시 설계나 공정의 선택폭이 넓고 새로운 가능성을 가진 기술로서 주목받고 있다. 따라서 자동차 뿐만아니라 공작기계, 사무기

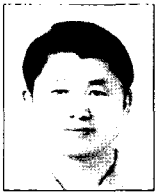
Table 2 Characteristics of LD laser/furnace brazing process

LD 레이저 브레이징	노 브레이징
<ul style="list-style-type: none"> · 후판/접합부 간격이 좁은 경우 삽입금속의 부족발생(급열/급냉→twin beam으로 개선) · 한번에 접합할 수 있는 면적 제한(정밀제어가능) · 접합부 간격이 큰 경우에도 적용가능 · 모재 침식이나 상호확산 최소화 · 석출 및 상분해 최소화, 생성상 형성억제 · 브레이징부 조직미세화로 강도상승 	<ul style="list-style-type: none"> · 좁은 간격의 브레이징부에 적합(젖음성과 흐름성에 의한 충전) · 동시에 넓은 면적, 복수 위치 브레이징 가능 · 브레이징 간격이 큰 경우 브레이징 불가(브레이징부 간격 제어가 필수) · 모재 침식이나 확산층 발생 · 석출, 상분해의 발생 및 생성상의 형성 · 브레이징부 조직조대화로 강도 저하

기, 의장성을 중시하는 금속 구조물등에 적용할 수 있는 기술로서 집중적인 기술개발이 필요하다고 판단된다. 한편, 기술선진국에서는 우주항공분야에서도 용접이 곤란한 내열 초합금의 브레이징 기술 개발이 반도체 레이저를 사용하여 행해지고 있고^{1,7)}, Cu-Al, 스테인레스-Al 등 이종재료의 접합에 대해서도 연구가 진행되고 있다. 따라서 국내에서도 생산성향상과 제품의 고부가가치화 및 기술경쟁력을 확보하기 위한 기술개발이 절실히 요구되는 시점에 와 있다고 판단되며, 용접이 곤란한 금속이나 이종금속의 접합에도 레이저 브레이징이 확대 적용될 것으로 생각된다.



- 김숙환(金肅煥)
- 1959년생
- 포항산업과학연구원
- 용접야금, 브레이징/솔더링, 고밀도용접
- e-mail: weldksh@rist.re.kr



- 이목영(李穆泳)
- 1965년생
- 포항산업과학연구원
- 하이브리드용접, 레이저용접, 아크용접
- e-mail: accelee@rist.re.kr

참 고 문 헌

1. 西本和俊, 才田一幸: 高出力半導體レーザーを用いたブレイジング技術 溶接學會 全國大會 講演概要 第73集 (2003,10) F-23
2. 森: 各種製造業におけるレーザーの適用状況[自動車], 溶接學會 論文集, 19-1 (2001), 182-187
3. K. Mann and J. Schmid : ヨーロッパの自動車工業における高出力YAG レーザの適用と最近の動向, 溶接技術, 47-11 (1999), 93-96
4. Holger Alder: Recent developments and applications in body-in white laser joining of European car manufactures 第59回レーザー加工學會論文集 (2003,9) 36-44
5. Christoph Ullmann et al. : 高出力半導體レーザーの革新“第59回レーザー加工學會論文集 (2003年 9月) 14-20
6. 寺田眞樹, 中村秀雄: トヨタ自動車における半導體レーザーの適用事例 シンポジウム [21の世紀自動車における接合技術] (JAAA2002), 論文集 (2002年 7月) 63-68
7. 西本和俊, 才田一幸: ツインビームによるレーザーろう付性改善 溶接學會 全國大會講演概要 第73集 (2003,10) 36-37



- 권영가(權寧珏)
- 1952년생
- 포항산업과학연구원
- 용접강도, 용접부파손해석, 부식 및 방지
- e-mail: ygkweon@rist.re.kr