

레이저 용접의 기술발전과 그 응용

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 김영식
(ygskim@reseat.re.kr)

1. 서 언

파장 약 1 μ m인 파이버(fiber) 레이저, 디스크(disc) 레이저, 반도체 레이저 및 YAG 레이저 등의 고체레이저는 파이버 전송이 가능하여 이들을 이용한 용접법은 자동차, 철도 차량, 철강, 전자 전기, 산업기구나 중공업 등의 각종 산업분야에서 이용이 확대되고 있다. 특히 파이버 레이저, 디스크 레이저, 반도체 레이저에서 고출력, 고품질, 고휘도화가 이루어짐에 따라 이를 이용한 고능률과 고품질의 혁신적인 레이저 용접공정이 개발되고 있다.

최근 레이저 용접에서 주목할 만한 기술발전은 파이버 전송이 가능한 레이저와 로봇이 결합되어 리모트(remote) 3차원 용접기술이 확립되어 자동차 분야에 적용이 시작되고 있다는 점이다. 한편 자동차의 경량화와 전기구동화가 가속되어 철강재료와 AI합금 및 플라스틱과의 이종재 접합기술에 관한 요구가 증대하고 있다. 이러한 요구에 부응하여 아연도금강판이나 고장력강 또는 스테인리스강과 경량 소재인 AI합금이나 CFRP와의 레이저열원을 이용한 이종재 레이저용접/브레이징 기술이 확립되어 현장에서 적용이 확대되고 있는 점이다. 이러한 접합은 열원으로 디스크 레이저나 반도체 레이저, 파이버 레이저가 이용되고 있다.

이 외에도 최근 주목되고 있는 것은 레이저 적층 가공(Laser Additive Manufacturing : LAM)기술일 것이다. 이 기술은 레이저 이용 오버레이 용접기술의 한 분야로써 특히 4차 산업 혁명기에 제조업의 혁신을 가져 올 중요한 기술로 기대되고 있다.

이 보고서에서는 이상과 같이 금후 제조업 혁신의 중요한 역할로써 그 이용이 확대되고 있는 최신의 레이저 광원과 레이저 용접 공정의 기술개발 내용에 대해 소개하고자 한다.

2. 용접용 레이저 발전기의 기술 발전

레이저는 미국의 메이먼(T.H Maiman)에 의해 1960년에 루비 레이저가 최초로 발명된 이래 대출력, 고 단색성, 파장 가변, 단펄스파, 단파장화의 방향으로 여러 가지 레이저 발전기가 개발되어 왔다.

2000년경에 이르러 용접, 절단 등의 열적 가공에 이용될 수 있는 중요한 레이저 열원으

로 CO₂ 레이저 및 YAG(Yttrium, Aluminum, Garnet)레이저가 등장하였다. CO₂ 레이저는 파장이 9.4μm에서 10μm로 빔 품질이 우수하고 100μm정도의 스폿으로 집광될 수 있으며 대출력화도 가능하여 45KW의 대출력 레이저 발전기가 제조되었다. 그러나 10μm대의 장파장으로 파이버 전송이 되지 않고 미러(mirror)전송을 해야 하기 때문에 생산현장에서 자유도, 유연성에 제한을 받아 용접현장에서는 현재 고출력, 고회도의 파이버 레이저로 대체되고 있다. 대신 CO₂ 레이저는 절단용 레이저로 많이 쓰이고 있다. 한편 YAG 레이저는 파장이 1.064μm로 파이버 전송이 가능하고 자동화나 로봇화에 유리하나 빔 품질과 집광성이 좋지 않아 용접열원으로는 쇠퇴하고 있는 경향에 있다.

최근 주목되는 레이저 광원으로 반도체 레이저가 있다. 반도체 레이저는 파장이 0.8μm에서 1.03μm의 근적외역으로 파이버 전송이 가능하고 발전효율이 20~35%로 양호하며 가공 시스템을 소형화하기 용이하다. 또한 대출력화로 최대 20Kw까지 시판되고 있고 40 및 50kW(200mm*mrad)의 대출력 기종이 개발되어 있다. 그러나 빔 품질이 좋지 않아 박판의 용접이나 오버레이용접에 한정되어 이용되고 있다¹⁾. 또한 최근 반도체 레이저 오버레이용접은 생산혁신의 관점에서 큰 관심사항인 3D 적층가공(Additive manufacturing)에서 지향성 에너지 적층법의 하나로도 주목되고 있다.

최근에 가장 발전한 레이저는 고회도, 고출력 레이저인 파이버 레이저와 디스크 레이저이다. 파장은 YAG레이저에 가까운 1.03μm(파이버 레이저) 및 1.07μm(디스크레이저)이며, 광 파이버 전송이 가능하다. 파이버 레이저는 CO₂ 레이저와 같은 정도의 우수한 빔 품질을 가지며 고출력화가 가능하여 100kW의 초고출력을 달성하고 있다. 현재 파이버 레이저는 산업이용이 될 수 있는 표준적인 레이저 발전기로 자리매김하고 있다. 최근의 레이저 발전기의 동향을 정리하면 <표1>과 같다¹⁾.

<표 1> 레이저 가공용 레이저 발전기의 동향¹⁾

레이저	최대출력 (kW)	빔품질 (mm*mrad)	파장 (μm)	전송
파이버	100	2-12	1.09	파이버
디스크	16	8-12	1.03	파이버
반도체	20	20-100	0.8-1	파이버
YAG	10	25-100	1.06	파이버
탄산가스	45	3-15	9.4-10.6	미러

이상과 같이 파이버 레이저, 디스크 레이저 및 반도체 레이저는 대출력에서도 빔품질이 우수하고 고회도이며, 펄스화가 가능하기 때문에 레이저용접에 광범위하게 적용될 수 있다. 또한 상기의 각종 고체레이저의 적용에 있어서는 용접결함이 발생하는 경우가 있으므로 레이저 특성과 레이저 용접현상을 충분히 이해하고 적절한 레이저 용접조건을 선정하여 운용하는 것이 필요하다.

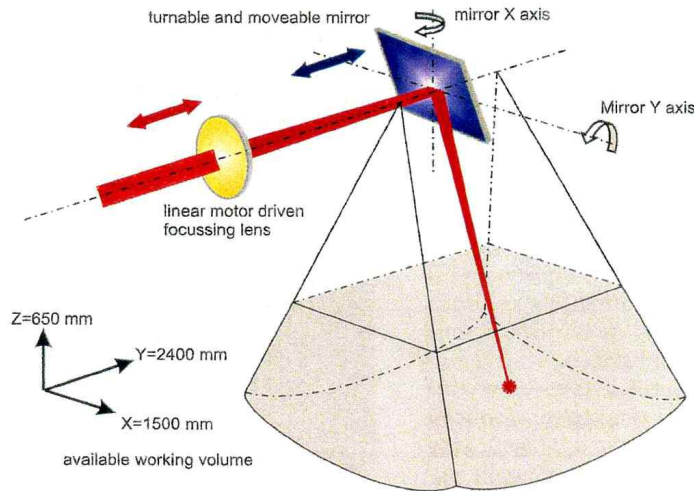
금후 새롭게 발전한 레이저로 연구개발단계인 청색이나 녹색의 가시광역 레이저의 고출력화가 큰 역할을 하게 될 것으로 기대되고 있다. 이러한 레이저 광을 이용하여 동

(copper) 등과 같이 레이저 가공이 어려운 재료에 대해 고품질 용접의 실현이 가능하게 될 것으로 예견되고 있다.

3. 새로운 레이저용접 공정의 개발 동향

3-1. 리모트(remote) / 스캐너(scanner)용접

레이저용접 공정으로 현재 고속, 고생산성의 접합법으로 가장 주목되는 것은 리모트용접/스캐너용접법이다. 리모트용접에서 스캐너(미러)를 움직이는 형식에서는 레이저의 가공점을 매우 짧은 시간에 이동시킬 수 있어 기계동작(로봇 등)의 이동에 따른 허비시간을 대폭 줄일 수 있다. <그림 1>에 단일 미러 이용 2축 수평 리모트 용접시스템의 개요를 보인다²⁾.



<그림 1> 단일 미러 이용 2축 수평 리모트 용접 시스템²⁾

고체레이저에 의한 리모트용접 시스템에서는 레이저 빔을 파이버 전송으로 다관절 로봇에 장착한 용접 헤드로 유도함으로써 3차원의 리모트용접이 가능하게 되었다. 빔 품질이 우수할수록 광범위한 영역의 접합이 가능하게 되어 세계 각국에서 리모트용접에 의한 자동차의 도어(door)나 백 시트(back seat)의 양산화에 이용되고 있다³⁾. 최근에는 AI 합금제 Li 이온전지의 제작에도 리모트용접법이 이용되고 있다. 또한 레이저 빔을 위빙(waving), 스캐닝(scanning), 스피닝(spining), 오실레이팅(oscillating), 진동, 회전, 나선형 회전 등의 방법을 실시하여 용접부의 결함을 저감시키거나 맞대기용접이나 겹치기 용접에서의 갭 여유도를 개선시키는 연구가 발표되어 있다⁴⁾. 한편, 이종금속재료의 레이저용접에서는 위빙을 실행할 경우, 입열의 증가를 초래하여 양금속의 용융을 증가시켜 금속간 화합물을 광범위하게 생성하기 때문에 이종금속 용접에서는 때에는 주의가 필요하다.

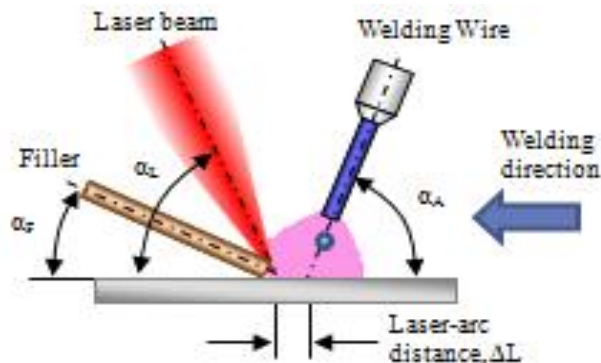
리모트용접에서는 레이저 유기 플룸(plume : 굴절률이 작은 고온영역)을 제거하기 위해 팬(fan)이나 블로워(blower)를 이용함으로써 일정한 용입깊이의 용접비드를 안정적으로 제작할 수 있다. 고출력 레이저용접에서는 집광 광학계의 선택도 중요하다. 특히 집광렌즈의 냉각이 충분하지 않거나 보호렌즈가 오염되어 있을 때는 열 렌즈효과가 일어나 초점위치가 위쪽으로 이동하여 용접비드의 용입깊이가 얇게 되는 경우가 있어 주의할 필요가 있다⁵⁾.

3-2. 레이저/아크 하이브리드용접

철강이나 전력분야, 중공업분야에서는 심용입(deep penetration)의 용접부 제작이 필요하다. 이러한 용접에서 변형의 저감과 방지를 위해 레이저 용접법이 바람직한 경우와 갭여유도(gap allowance)확대의 관점에서 레이저/아크하이브리드용접법이 바람직한 경우가 있다. 유럽에서는 여객선의 제조에 레이저/아크 하이브리드용접이 사용되고 있으며, 한국이나 일본에서도 조선분야에 적용이 시작되고 있다⁶⁾. 하이브리드용접에서는 요구되는 용착량을 얻기 위해서 아크전류가 높은 조건을 사용한다. 그러나 이때 아크력이 강하게 되어 용융지 표면이 오목(凹)하고 넓게 되고 표면 비드 폭이 넓게 되어 언더필(under-fill)이 되기 쉽기 때문에 주의를 요한다. 또한 높은 출력의 레이저를 사용하는 용접에서는 와이어가 고속도로 공급될 수 있는 장치가 필요하다.

레이저/아크 하이브리드 용접공정에서 보다 깊은 용입과 더 높은 용접속도, 그리고 더욱 양호한 용접부의 특성을 목표로 레이저/탄뎀(laser/tandem)아크 하이브리드 용접법⁷⁾, 레이저/FLA하이브리드 용접법(Filler-aided Laser-Arc Hybrid Welding)과 같은 새로운 용접법에 관한 검토가 이루어지고 있다⁸⁾.

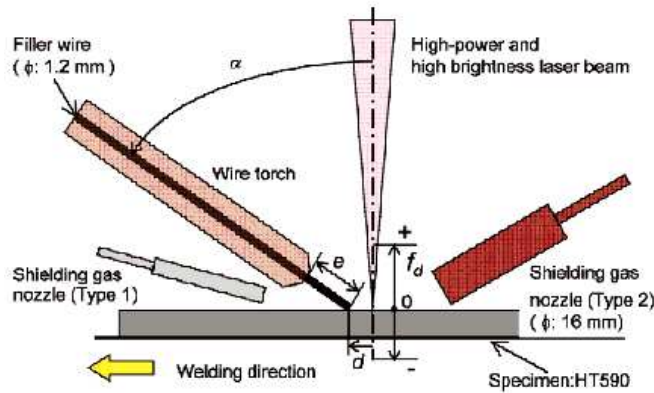
레이저/FLA 하이브리드 용접법은 필러 와이어를 첨가함으로써 용접 갭 여유도와 용접속도를 향상시키기 위한 용접법으로 그 개요도를 <그림 2>에 나타내었다⁸⁾. 이 용접법에 의하면 용접전류를 올리지 않고 용착속도를 하이브리드 용접법의 2~3배로 향상시킬 수 있었으며, 판두께 8mm의 A5052합금과 A6061합금 후판 용접부의 허용 갭을 일반 하이브리드 용접의 0.5mm에서 2.5mm로 확대가 가능함이 보고되어 있다.



<그림 2> FLA 하이브리드 용접에서 레이저 빔, 용접와이어, 필러재의 위치⁸⁾

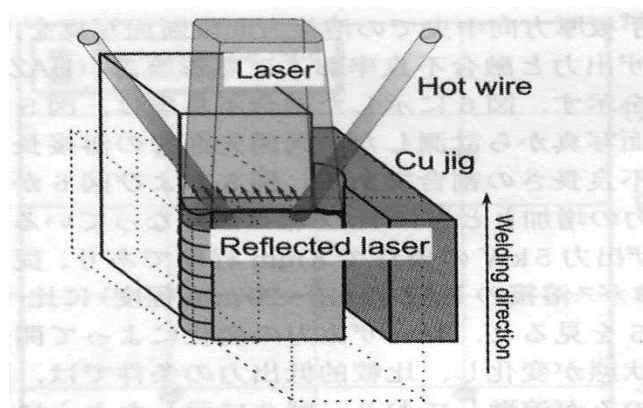
3-3. 핫 와이어(hot wire) 레이저 용접법

고출력, 고휘도 레이저는 빔 직경을 가늘게 조여서 사용하기 때문에 맞대기 용접 시의 갭 여유도가 작다는 문제가 있다. 갭 여유도를 개선하는 방법으로 레이저/아크 하이브리드 용접법이 개발되어 있으나 이 용접법은 입열량이 많게 되어 고장력강의 경우 열영향부의 연화로 기계적 성질의 악화를 초래하고, 용융금속부에서의 다량의 산소량 증가로 기공과 같은 결함 발생이 문제될 수 있다. 따라서 고장력강의 경우 저입열 고능률의 용접법으로 필러 와이어를 첨가하는 레이저 용접법이 효율적이라 할 수 있다. 여기에 더욱 능률 개선을 위해 최근에는 필러 와이어를 통전 가열함으로써 와이어 자체를 가열하는 핫 와이어(hot wire)법이 개발되어 있다⁹⁾. <그림 3>은 핫 와이어 레이저 용접법의 개요를 나타내었다.



<그림 3> 핫 와이어 레이저 용접법⁹⁾

이 용접법은 용락이나 스패터를 억제하고 언더 필이 없는 관통 맞대기 용접이 가능하며 용융부의 산소 함유량을 억제하여 기포 등의 용접결함이 없는 접합부 제작이 가능함을 밝히고 있다.



<그림 4> 핫 와이어 레이저 용접법을 이용한 수직 입향 용접법의 개요¹⁰⁾

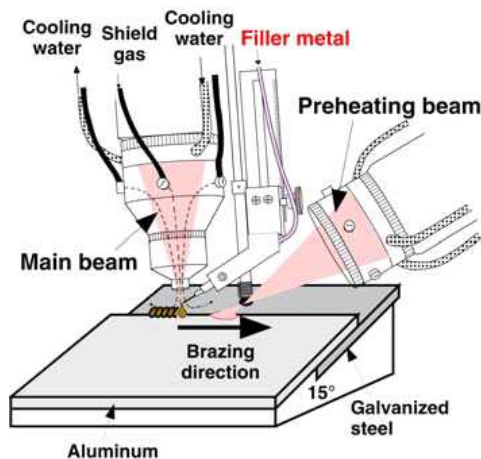
최근에는 이러한 핫 와이어법을 이용하여 일렉트로가스 용접과 같은 후강판 1 패스 용접법을 대체할 수 있는 새로운 저입열 1패스 수직 용접법이 개발되어 있다. <그림 4>는 이 용접법의 개요를 나타낸 것이다¹⁰⁾.

이 용접법은 비교적 큰 사각형 그루브 형상에 적응하도록 레이저 빔 형상을 제어하여 이를 저입열, 고능률화 기술인 레이저 핫 와이어법에 접목시킨 새로운 1패스 수직 용접 공정이다. 이 용접 공정에서는 용접부를 일렉트로 가스용접과 같이 동판으로 둘러싸고 그루브 형상에 적응하는 비교적 큰 사각형의 레이저 빔 스폿을 이용한다. 그리고 핫 와이어법에 의해 형성되는 용융지 표면으로부터 반사되는 레이저광을 활용하여 그루브 벽면을 용융한다. 이 용접법은 일렉트로가스 용접에 비해 저입열, 저희석, 저변형, 용접금속 조성의 제어 등 고품질화와 고기능화, 그리고 레이저 출력 저감에 의한 도입경비 절감 등이 기대되는 새로운 용접법이다.

3-4. 레이저 용접에 의한 이중재 접합 기술

3-4-1. 철강재료와 경량금속간의 이중재 접합

최근 구조물이나 부품의 경량화요구가 증대함에 따라 철강재료와 경량의 Al합금 및 Mg합금과의 이중재 접합이 중요한 과제로 되어 있다. 이와 같은 이중재 접합은 양 소재간의 큰 용점의 차이를 극복하여 성공적인 접합을 이루기 위해서 용점이 낮은 인서트 금속을 용융시켜 젖음성(wettability)에 의해 접합이 이루어지는 브레이징 접합방법이 효과적이다. 이중재 브레이징 접합에는 열의 집중도가 높고 국소적인 가열 특성을 갖는 레이저 열원이 적합하여 레이저 브레이징법에 의한 이중재 접합기술 개발에 관한 다수의 연구가 발표되어 있다^{11,12)}. <그림 5>는 철강 소재쪽의 예열을 위한 예열 빔과 접합용 주 빔을 병용한 탠덤 빔을 이용하여 GA강판과 Al합금 소재와의 겹치기 접합 방법의 예를 보인 것이다¹³⁾.



<그림 5> 탠덤 레이저 빔을 이용하여 플럭스 도포없이 GA강판과 Al 합금의 브레이징접합¹³⁾

이 용접법에서는 Al 합금 브레이징용 필러메탈를 사용하고 플럭스 도포 없이 접합강도를 Al합금의 75%까지 확보할 수 있음을 밝히고 있다¹³⁾.

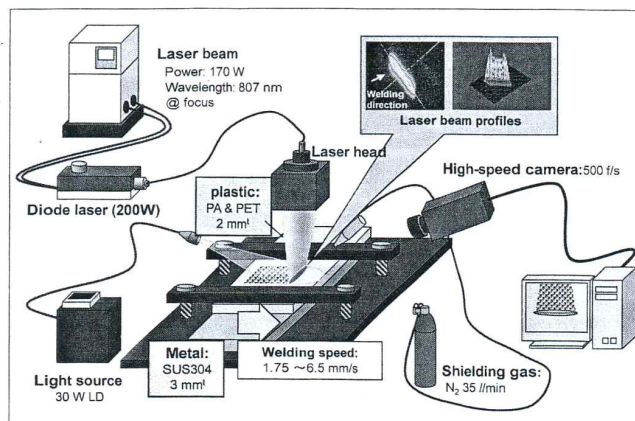
레이저에 열원을 이용한 철강재료와 Al합금의 이종재 접합을 위해 알루미늄 브레이징용 플럭스코어드와이어가 시판되고 있다. 또한 기존의 Al 브레이징용 플럭스코어드 와이어를 사용할 경우 접합계면에서 생성되는 금속간 화합물을 어느 정도 억제하여 접합이 이루어지기는 하나 한정적인 작업성을 얻기 어렵고 박리강도가 낮다는 점이 문제로 되어 있다. 이러한 문제를 해결하여 접합계면에서의 취약한 금속간 화합물의 생성을 억제하여 접합강도(인장전단강도와 박리강도)를 확보하고 안정되고 양호한 작업성을 확보할 수 있는 이종재 접합 전용의 플럭스코어드 와이어도 개발되어 있다¹⁴⁾.

Mg합금과의 이종재 레이저 맞대기 접합에서는 레이저 빔의 조사부를 맞대기 위치에서 벗어나게 하는 방법으로 접합계면에서 철강재료에 투입되는 입열에 의해 접합부와 접촉하는 저융점의 Mg합금을 용융시켜 계면확산 접합을 통해 고강도의 접합부가 얻어지고 있음이 발표되고 있다¹⁵⁾.

3-4-2. 금속과 플라스틱과의 이종재 접합

최근 경량인 플라스틱과 금속과의 접합에 대한 요구가 많아져 레이저로 직접 합하는 간편한 방법이 개발되어 있다¹⁶⁾. 금속과 플라스틱의 레이저 직접접합은 일본 오사카대학 접합연구소에서 개발되어 LAMP(Laser-Assisted Metal and Plastic)접합법으로 명명되어 있다. 레이저는 보통 파장 0.8~1μm 정도의 반도체 레이저나 1.03~1.09μm의 YAG 레이저, 파이버 레이저, 디스크 레이저 등이 사용되며, 플라스틱의 종류나 조사방법에 따라서는 파장 10.64μm의 CO2 레이저도 이용된다.

플라스틱은 열가소성의 PET, PA, PC 등의 엔지니어링 플라스틱으로 고강도의 접합부를 제작할 수 있음이 확인되었다¹⁶⁾. <그림 6>은 LAMP 접합법의 개요도를 보인 것이다¹⁶⁾.



<그림 6> LAMP 접합법에 의한 스테인리스강과 플라스틱의 접합 개요도¹⁶⁾

STS 304강과 비결정 PET와의 LAMP 접합 결과에서는 인장전단시험에서 플라스틱모재에서 인장파단 되고 그 하중은 폭 30mm, 판 두께 2mm의 샘플에서 1,500에서 4,000N 정도로 높았다.

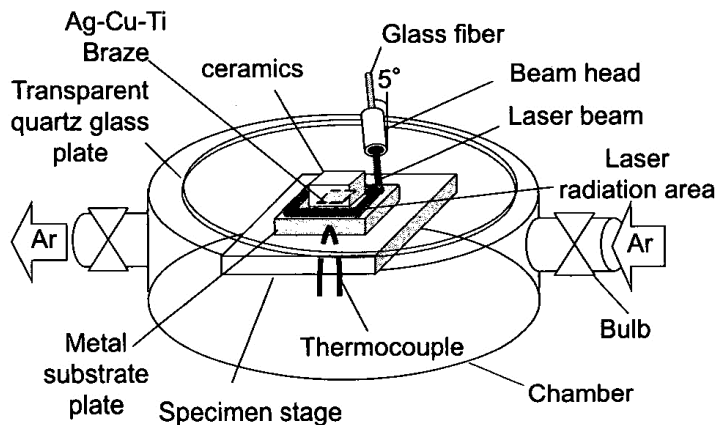
철강재료, Ti, Al 등 금속재료와 PA(Polyamides) PET(Polyethyleneterephthalate), PC(Polycarbonates) 등의 플라스틱과의 접합에서도 접합부 강도가 충분히 높고 플라스틱 모재에서 파단이 되는 접합부가 얻어졌다¹⁷⁾. 또한 금속과 CFRP와의 레이저 접합 연구가 수행되어 접합조건에 따라서는 PA 기지의 CFRP의 경우 매우 높은 인장 전단강도를 갖는 접합부가 얻어졌다¹⁸⁾.

3-4-3. 금속과 세라믹과의 이중재 접합

세라믹은 고용점이며 고경도로 취약하며 난가공성 재료이다. 그러나 내열성, 내마모성, 내식성이 탁월하여 기계구조용 재료로 다양하게 사용되고 있다. 뿐만 아니고 전기전자적 특성을 살려 전자 부품용도로도 그 용도가 다양하다. 최근에는 SiC 등 비산화물계 세라믹은 하이브리드 자동차나 전기자동차의 모터구동용 인버터와 같은 파워 반도체용 재료로서도 그 이용이 확대되고 있다.

이처럼 구조재료에 국한하지 않고 전자디바이스로서도 매력적인 성질을 갖는 세라믹을 기계적 성질이나 인성, 가공성이 탁월한 금속재료와의 접합으로 일체화함으로써 각각의 소재가 단일 재료로서는 실현될 수 없는 우수한 특성을 갖는 고기능성의 부재 제작이 가능하다. 한편, 세라믹과 금속은 취성과 연성, 열팽창계수, 열전도등의 성질에서 큰 차이가 있기 때문에 일반 용접방법으로는 그 접합이 매우 어렵다.

따라서 세라믹과 금속과의 접합을 위해 고진공 분위기하의 확산접합이나 세라믹표면을 메탈라이징 처리 후 브레이징 접합하는 방법 등이 이용되고 있다^{19,20)}. 그러나 이러한 방법들은 공정이 복잡하고 제조비용이 증가하는 문제가 있다.



<그림 7> 세라믹과 금속 접합용 레이저 브레이징 장치 개요도²¹⁾

이러한 문제를 해결하는 방법으로 최근에 레이저열원을 이용한 레이저 브레이징법에 관한 연구 결과가 발표되어 있다. <그림 7>은 세라믹과 금속과의 접합을 위한 레이저 브레이징 장치의 개요도를 보인 것이다²¹⁾. 브레이징 인서트재로는 두께 0.1mm의 Ag-Cu-Ti 활성금속을 사용하고 진공 챔버내에서 Ar가스 분위기하에 브레이징 접합을

실행하였다. 레이저 조사는 Ar 가스 분위기 챔버를 구성하는 투명 석영 유리관 뚜껑을 통해 세라믹 주위의 초경합금 금속에 일주하도록 조사하였다.

이 장치를 이용하여 세라믹 소재로는 다공질 재료인 고순도 6방정붕화규소(h-BN)²², 탄화규소(SiC)²³, 사이알론(SiAlON)²⁴에 대해 상대금속으로 초경합금과의 접합에 성공하였다.

레이저 광원을 이용한 세라믹과 금속의 이종재 접합기술은 기존에 개발된 고진공 확산접합이나 세라믹 메탈라이징법에 비해 제조비용이 저렴하고 다품종 소량생산에 적합한 기술로 각종 부품의 멀티머티리얼화에 기여할 것으로 기대되고 있다.

4. 레이저용접에서의 결함 방지대책

레이저 용접 현상은 고속도 비디오 카메라에 의해 플룸의 거동이나 스파터 발생 거동 등의 레이저 용접 현상이 해명되고 X선 리얼타임 관찰법에 의해 키홀(key hole) 거동이나 기포발생 거동이 관찰되어 용접결함의 발생기구가 해명되고 있다. 아울러 레이저 용접에서의 결함 방지를 위해서 다음과 같은 대책이 확립되어 있다³⁾.

부분용입 용접의 경우에 용접결함으로는 저속도에서는 기공이 생성되기 쉽고 고속도에서는 기공이 없는 용접부 형성이 가능하나, 레이저의 빔 직경이 약 0.6mm정도이면 스파터가 많고 용착 부족으로 된다. 이에 대해 빔 직경이 0.1~0.2mm로 작고 출력이 크면 스파터 발생은 작게 되나, 험핑비드(humping bead)형성이 쉽게 된다.

기공(porosity)의 방지법으로는 ① 고속용접, ② 불활성 실드가스의 혼입방지, ③ 실드 가스로 철강재료에서는 CO₂ 가스, 오스테나이트계 스테인리스강에서는 질소가스의 이용, ④ 최적 조건에서의 펄스변조 레이저의 사용 등이 권장되고 있다.

언더 필(under fill)의 방지법으로는 ① 적절한 용접속도의 채용, ② 레이저 빔의 조사 각도를 전진각으로 함으로써 스파터 방지로 용융액 손실의 저감, ③ 용접 갭의 극소화, ④ 그루브를 갖는 맞대기 용접에서는 와이어의 이용 또는 MAG, MIG 또는 CO₂ 가스아크용접 병용에 의한 하이브리드용접 채용 등이다. 험핑 비드(humping bead)의 방지를 위해서는 ① 극세집광빔을 이용할 것, ② 극세 집광 비드는 초점 벗어남의 조건에서 빔 직경이 큰 상황에서 사용, ③ 초점 위치를 판 내부에 설정함으로써 표면 비드의 확대, ④ 관통용접에 의해 표면으로 부풀어 오른 용융액의 저감 등의 대책이 알려져 있다.

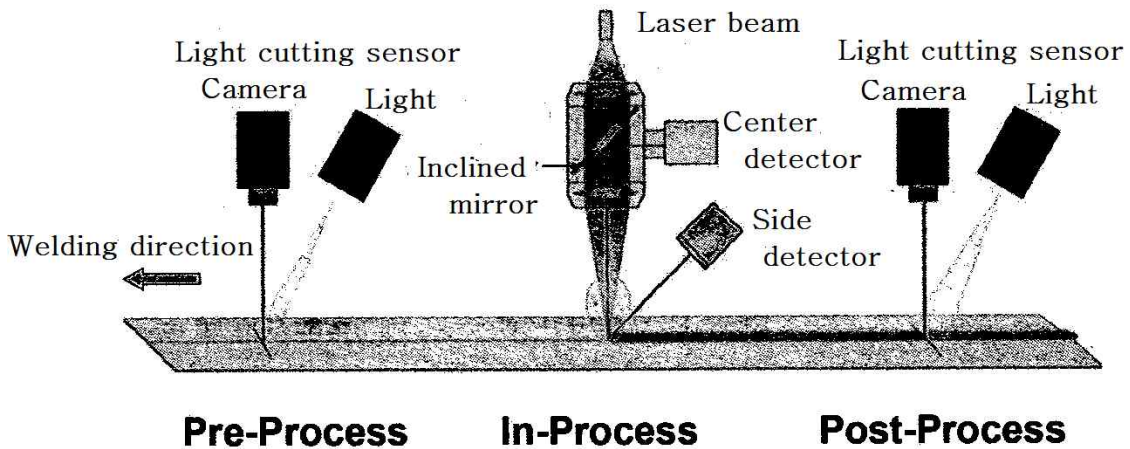
고온균열(응고 균열 및 액화 균열)의 방지법으로는 ① 응고 온도 범위가 좁은 재료(철강재료나 스테인리스강에서는 δ페라이트가 초정도로 나타나는 조성)의 선택, ② 불순물 원소(철강 재료에서는 S나 P)의 저감, ③ 저용점 용액을 생성하는 합금원소(스테인리스강이나 Ni기 합금에서 Nb등)의 저감, ④ 재료에 따라서는 펄스용접을 채용하지 않음, ⑤ 크레이터(최종 응고부)에서의 레이저 조사 종료 시의 출력제어, ⑥ 펄스 레이저용접에서는 연속레이저의 중첩, ⑦ 고용점에서 응고 범위가 좁은 공정을 형성하는 와이어의 채용, ⑧ 레이저 출력, 용접속도, 레이저 초점위치 등 용접 조건의 적적화 등이다.

레이저 이종재료 용접에서 균열방지를 위해서는 ① 취약한 금속간 화합물의 생성량 억

제를 위해서 한쪽의 금속을 많이 용융시키고 다른 쪽 금속의 용융을 적게 하는 레이저 용접의 채용, ② 초고속 용접에 의해 금속간 화합물의 제어 등이 효과가 있다.

5. 레이저용접의 모니터링, 적용현황

고품질의 레이저 용접부를 얻기 위해서는 신뢰성있는 모니터링 시스템을 이용하여 용접공정을 제어하는 것이 필요하다. 레이저 용접 시의 센싱과 모니터링 방법으로는 <그림 8>과 같이 광절단법에 의해 갭의 위치를 검출하고 용융지나 키홀의 직접관찰 또는 용융지나 플라즈마 플룸(plume)으로부터의 열 방사의 계측으로부터 용접 상황을 추측하고 나아가 용접 후의 표면 성상을 광 절단법으로 검사하는 시스템이 제안되어 있다²⁶⁾.



<그림 8> 레이저 용접 시의 센싱 시스템²⁶⁾

이 시스템은 프리 프로세스, 인 프로세스, 포스트 프로세스로 구성되어 있다. 실제로 인 프로세스 중에서의 물리현상에 기초한 정보는 다수이지만 프로세스 모니터링에 관해서는 플라즈마/ 플룸에서 방출하는 빛, 반사 레이저광, 용융지나 스파터링에서의 열방사광 등의 측정법, 맞대기 접합부나 용융지 및 키홀의 직접관찰법 등이 검토되고 있다.

펄스 레이저용접 및 연속 레이저 용접 시에는 용융지에서의 열방사광을 모니터링하여 신호강도로부터 용융용접상태를 판단하여 박판에서의 겹치기용접이나 비드폭을 일정하게 할 수 있는 적응제어법이 개발되어 있다²⁷⁾.

6. 결론

레이저 용접용 광원기기는 최근에 급속히 발전하여, 파장이 약 1μm인 반도체레이저, 파이버레이저와 디스크레이저 등의 고체 레이저에서 높은 출력, 고효율, 고빔품질이 얻어지게 되어 그 이용이 확대되고 있다. 또한 리모트 용접/스캐너용접 기술 등의 발전으로 더욱 고속, 고생산성의 용접방법으로 발전하고 있다. 특히 100kW의 높은 출력의 파

이버레이저가 등장하여 그 응용이 기대되고 있으며, 금후 핫 와이어(hot wire)를 이용한 극 후강판의 수직 용접에의 응용도 연구되고 있어 EGW를 대체할 수 있는 고효율화가 기대되고 있다.

레이저 용접은 아크용접에 비해 비드 폭과 열영향부 폭을 아주 좁게 하며 깊은 용입과 저변형의 용접부를 얻을 수 있는 용접법이다. 이러한 특성을 이용하여 특히 철강재료와 Al, Mg 합금 또는 CFRP 등 이종재료 간의 레이저용접 연구가 현재 활발히 진행되고 있어 앞으로 자동차, 조선 분야의 멀티 머티리얼(multi-materials)화에 크게 기여할 것으로 기대되고 있다.

레이저 용접은 또한 모니터링과 적응제어기술 그리고 시스템화와 자동화가 쉬우며 각종 제조업에서 고품질의 용접이 가능하다. 따라서 자동차, 철도차량, 선박, 교량 등의 중공업 분야와 전자전기 산업기기 분야 등 여러 산업분야에서 고능률 접합기술로써 그 이용이 확대되어 갈 것이다.

국내의 제조업에서 용접 인력의 고령화 현상이 심각하다. 따라서 국내의 조선, 해양기자재 산업을 위시한 각종 제조업의 경쟁력 강화를 위해서는 레이저 용접과 같은 고도화 용접의 과감한 현장 채용 노력이 필요하다. 여기서 문제점 하나는 고가의 레이저 장비구입에 따른 초기 투자비용의 부담이 크다는 점이다. 따라서 기업 간 공동투자를 도모함으로써 이 기술의 중소기업체 정착이 용이하게 될 것이다.

<참고문헌>

1. Y. Kawahito, "Leading Edge Technology in Laser Welding - Potential of Welding with Ultra High Power Laser-, J of Japan Welding Society, 85-3, (2016), pp.275-278
2. R. Muller, M. Forest, "Remote Laser Beam Welding", Welding Journal, 5, (2011), pp.52-57
3. S. Katayama, "Guideline for Development of Innovative Processing-Laser Welding-", J. of Japan Welding Soc., 84(8), (2015), pp.582-590
4. V. Schultz, et al., "A Improvement in Gap Bridging in Laser Beam Welding of Aluminum Components using a Scanning Beam technology", J. of Laser Applications, 23-3, (2011), 022007-1-7.
5. S. Katayama, "Basic and tendency of laser welding" J. of Welding Tech., 63(5), (2015), pp.42-47
6. K. Gotoh, "A Study of the Laser-arc Hybrid Welding Applying to the Hull Construction" J. of Japan Welding Soc., 85(3), (2016), pp.279-281
7. Reis, RP Norrish, J Cuiuri, D, "Preliminary Evaluation on Laser -Tandem GMAW" WELDING IN THE WORLD, 55(9),(2011), pp.41-49
8. J.B Wang, H. Nishimura, S. Katayama, M. Mizutani, "Welding of Aluminum Alloy by Using Filler-Added Laser-Arc Hybrid Welding Process", Light Metal

- Welding, 48(11),(2010), pp.424-434 (in Japanese)
9. T. Ohnishi, et al., "High-Power and High-Brightness Laser But Welding with using Hot Wire for Thick High-strength Steel Plate", Quarterly J. of the Japan Welding Soc., 29(1), (2011), pp.41-47
 10. M. Yamamoto, et al., "Development of Vertical Welding Technology for Thick Steel Plate using Hot-wire Laser welding Method", J. of Japan Welding Soc., 85(3), (2016), pp.282-286
 11. W. Song, et al., "Brazability of Aluminum Alloy to Steels using Aluminum Filler Metal,-Dissimilar Laser Brazing of Aluminum Alloy and Steels (Report 1)", Welding research abroad 50(11), (2004), pp.49
 12. K. Saida, W. Song and K. Nishimoto, "Diode Laser Brazing of Aluminum Alloy to Steels with Aluminum Filler Metals", Sci. and Technol. of Welding and Joining, 10(2), (2005), pp.227-235.
 13. K. Saida, et al., "Fluxless Laser Brazing of Aluminum Alloy to Galvanized Steel using Tandem Beam - Dissimilar Laser Brazing of Aluminum Alloy and Steels -" Quarterly J. of Japan Welding Soc., 26(3), (2008), pp.235-241
 14. T. Onishi, "Dissimilar Metal joining of Steel to Aluminum Alloy by Laser & MIG Brazing Method using Welding Wire" J. of Welding Tech. 62(7), (2014) pp.46-50 (in Japanese)
 15. M. Wabba, S. Katayama, "Laser Welding of AZ31B Magnesium Alloy to Zn-Coated Steel" Materials & Design, 35, (2012), pp.701-706
 16. Y. Niwa, et al., "Development of LAMP Joining to Dissimilar Metal Welding" Proc. ICALEO 2008, LIA, Temecula, CA (2008), pp.311-317
 17. 片山聖二, 川人洋介, "アルミニウム合金とプラスチックまたは CFRPのレーザ直接 接合", 「輕金屬溶接(日本)」, 51(12), (2013), pp.463-468
 18. K.W. Jung, et al. "Laser Direct Joining of Carbon Fiber Reinforcement Plastic to Stainless Steel" Science and Technology of Welding and Joining,16(8) (2011), pp.676-680
 19. Y.S.Kim, H.J.Park, J.I.Kim, "A Study on the Diffusion Bonding of the Al₂O₃ Ceramics to Metal", J. of Korean Welding Soc.,10(3) (1992) pp.63-72
 20. N. Nakao, et al. "Reaction layer formation in nitride ceramics to metal joints bondedwith active filler metals" ISU International, 30(12) (1990), pp.1141-1150
 21. Y. Sechi, K. Nagatsuka, K. Nakata., "Dissimilar Laser Brazing of Ceramics and Metals" J. of Japan Welding Soc., 85(3) (2016) pp.287-291
 22. Y. Sechi, et al., "Dissimilar Laser brazing of boron nitride and tungsten carbide, Materials & Design, 31 (2010) pp.2071-2077"
 23. K. Nagatsuka, et al., Dissimilar joint characteristics of Physics, Conference Series, 379 (2012), pp.12047
 24. K. Nagatsuka, et al., "Effect of Ti content in Ag-Ti activated filler metal on dissimilar joint formation of sialon and WC-Co alloy by laser brazing", Science and Technology of Welding and Joining, 19(6) (2014) pp.521-526

25. S. Katayama, " Guideline for Development of Innovative Processing-Laser Welding-", J. of Japan Welding Soc., 84(8) (2015) pp.582-590
26. 鳥井, 芦田, J.P.Boillot, "레이저溶接におけるビジョンシステムの 適用例について " LAMP シンポジウム2007, 日本溶接協會 LAMP研究委員會 (2007) pp.91-100
27. Y. Kawahito, S. Katayama, " In-process Monitoring and Adaptive Control for Stable Production of Sound Welds in Laser Micro-Spot Lap Welding of Aluminum Alloy", J. of Laser Application, 17(1) (2005), pp.30-37



이 분석물은 과학기술정보통신부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.