파이버 레이저에 의한 마이크로 용접과 응용
Micro welding with fiber laser and its applications

박서정, 김성욱, 천창근, 장웅성, 강윤하
포항산업과학연구원 용접센터

1. 서 론

최근, 고체 레이저 발진기의 개발이 두드러지고 있으며 그 추세는 소형화, 고출력화, 빔의 고품질화를 추구하고 있다. 그 중에서 파이버 레이저는 선두 주자로써 연구계 뿐만이 아니라 이제는 산업계 적용을 적극 검토하고 있는 단계라고 할 수 있다. 마이크로 사이즈의 집광경[1]이 가능한 파이버 레이저 빔은 고속, 고정밀도 용접이 가능하여 전자 통신, 정밀 기계 분야에 주목 되어 왔으며 향후 자동차 산업이나 구조물의 용접 등 매크로 한 용접에도 활발한 연구가 진행 될 것으로 전망이 된다. 본 연구에서는 자동차용 강판으로 사용 되는 합금화 용융아연 도금 강판(GA)의 용접 특성 분석과 마그네슘 합금과의 이종재 겹치기 용접 등 산업계 활용을 목적으로 한 실험 결과를 보고 한다.

2. 재료 및 실험 방법

본 실험에서 사용된 파이버 레이저 발진기는 최대 출력 300W로 연속 발진(CW)하며, 공진기 역할을 하는 파이버는 더블코어 구조로 되어 있고, 외측 클래딩으로부터 반도체 레이저 빔이 유도 되어 중앙부의 싱글 모드 코어를 여기하는 사이드 펌핑(Side Pumping) 구조에 의해 연속 발진이 이루어진다. 약50%의 광-광 효율로 발진 파장은 1,070nm이다. 파이버 레이저의 특징으로 빔품질 (M^2 >1.1)이 우수하여 고 파워 밀도의 미세 집광경이 가능 하다. 레이저 빔의 출력제어는 컴퓨터 상에서 RS-232통신으로 하였으며, 펄스 빔의 출력은 컴퓨터-신호출력기(TTL)-레이저(아나로그 단자)에 의해 제어를 하였다. 본 실험에서는 레이저 출력 300W로 고정하고, 불활성 Ar가스 분위기 속에서 비드 온 플레이트(Bead on Plate)용접 및 겹치기 용접 실험을 실시하였다. 실험 조건으로 용접 속도와 재료의 두께로 하였다. 사용 된 재료는 GA강판(두께:1.4mm 및 0.7mm)과 Mg합금(AZ31,두께:0.4mm)으로 하였다. 경제성이 높고 도장성 및 내부식성, 가공성이 뛰어난 GA강판은 자동차 강판으로써 많이 사용되어지며, 표면에 도금한 아연이 굳어지기 전에 특수 열처리 하여 도금층 사이에 Zn-Fe 합금층이 형성 되어 있다. 마그네슘 합금(AZ31)은 최근 자동차 경량화의 추세에 맞추어 주목을 받고 있는 재료이다. GA강판-Mg합금의 이종재를 겹치기 용접하였다. 레이저 빔의 조사는 Fig.1에 나타낸 것과 같이 재료를 일정한 속도로 이동시켜 심용접(Seam welding)하였다. 재료는 리니어 모터가 장착된 이동 스테이지 상부에 고정 시켜 Ar 가스 분위기의 쉴드 박스(Shield box) 내부에 두었다.

Table 1 Chemical composition of Mg alloy AZ31 (mass%)

Al	Zn	Mn	Si	Cu	Mg
3.28	0.84	0.34	0.061	<0.0010	95.6

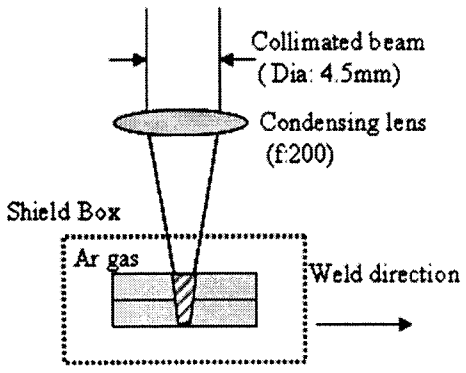

Fig.1 Experimental set up

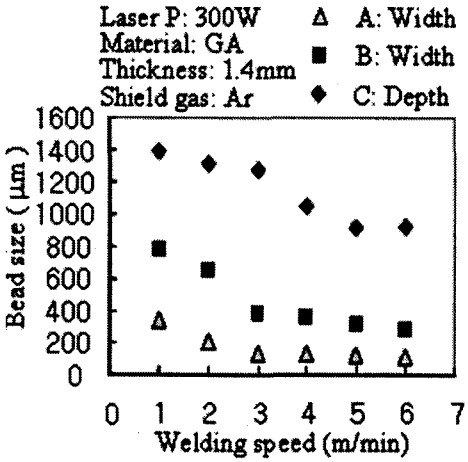

Fig.2 Characteristics of bead at different welding speed

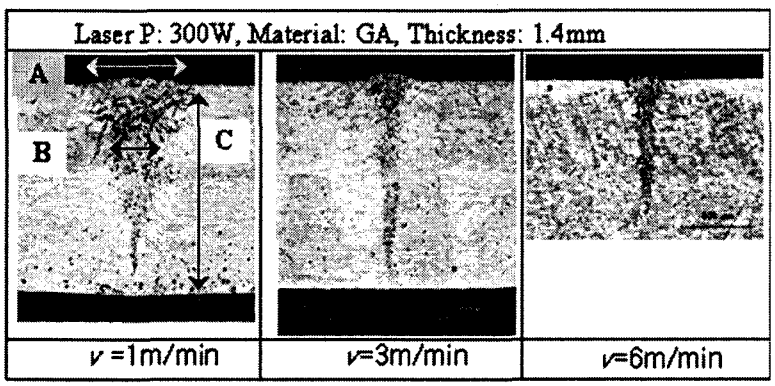

Fig.3 Cross sections of bead at different welding speed

3. 실험결과 및 고찰

3.1 속도에 따른 용접 특성

실험 장치도에 나타낸 바와 같이 발진기로부터 출력된 레이저 빔은 약 4.5mm의 평행빔으로 콜리메트(Collimation beam) 되어 집광 거리(f:200)의 렌즈에 의해 재료 표면에 집광 되었다. 재료는 GA 강판(두께:1.4mm)을 사용하여 비드 온 플레이트(Bead on plate) 용접 실험하였다. 레이저 파워는 300W로 일정하게 하고 용접 속도를 파라메타로 하여 평균 비드의 폭(A), 상부 비드 폭(B), 용입깊이(C)의 변화를 Fig.2에 나타내었다. 용접 속도가 1m/min에서 3m/min로 비교적 저속 일 경우, 용입 깊이는 완전 관통(Full penetration)에 가까운 1,400μm 였고, 평균 비드 폭은 약200μm로 높은 Aspect ratio(C/A)를 나타내었다. 용접 속도를 보다 증가 시키면 거리 당 입열량의 감소에 따라 상부 비드 폭과 용입 깊이가 줄어 들지만 Aspect ratio는 더욱 증가 하고 있음을 알 수 있다. Fig.3은 같은 조건에서의 각각의 용접부 단면 사진을 나타내고 있는데, 용접 속도가 3m/min에서 보여 지는 것처럼 약100μm 이하의 비드 폭을 가진 정밀하면서도 비교적 두꺼운 1,400μm 강판의 관통 용접이 가능하다. 이러한 용접부의 형상과 Aspect ratio는 수십KW급의 대출력 레이저 용접에서 보여 지는 것과 거의 흡사함을 알 수 있다. 비드의 외관으로부터 용접 중의 키 홀 거동은 안정되어 있음을 판단 할 수 있다. 또한 재료의 도금 표면처리에도 불구하고, 스패터(Spatter)의 발생 역시 적었으며, 용접부의 기공이나 균열이 거의 발견 되지 않았다.

3.2 각 재료에 따른 겹치기 용접부 형상과 키 홀의 거동

3.2.1 GA 강판의 겹치기 용접

두께 0.7mm의 용융화 아연도금 강판(GA Steel) 2매 겹치기 용접 실험을 실시하였다. 용접 속도가 1m/min 일 경우의 비드 표면과 단면 사진을 Fig.4에 나타내었다. 상부 비드의 폭은 약400μm~500μm으로 변화가 심했으며 같은 조건에서도 용접부 형상의 재현성이 떨어졌다. 이는 용접 중의 키 홀 거동이 불안정하기 때문이며 판재 사이의 갭(Gap) 존재가 그러한 영향을 미쳤을 것으로 판단이 된다. 또한 용접 중에 스패트가 다수 발생하였으며, 단면 사진의 중앙부에 보여 지는 것처럼 도금 처리 된 Zn 원소가 존재 하였다. 양호한 키 홀 용접을 위해서는 가능한 갭 간격을 줄이면서 최적의 실험조건이 요구되어 진다.

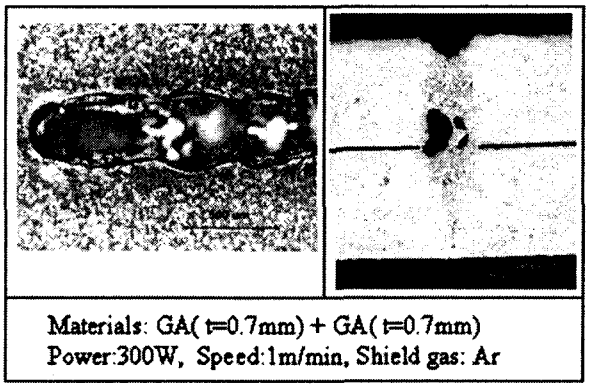

Fig.4 Top surface & Cross sections of bead in lap welding

3.2.2 마그네슘-GA강판의 이종재 겹치기 용접

마그네슘 합금(AZ31) 판재(두께:0.4mm)와 용융화 아연도금 강판(두께:0.7mm)의 이종재 겹치기 용접 실험을 행하였다. 실험 조건으로는 AZ31을 상부에, GA강판을 하부에 두었다. 그리고 레이저 파워 300W로 일정하게 하고, 용접 속도를 파라메타로 하였다. 전술한 비드 온 플레이트 용접과 동종의 GA강판 겹치기 용접 실험에서 나타난 용접 특성과 용접부 형상이 다른 경향을 보이고 있다. 먼저 용접 속도가 10m/min 이상의 비교적 고속에서도 Aspect ratio가 상당히 높게 나타났다. Fig.5에 용접부 단면을 표시하였다. 용접부의 단면 형상은 AZ31에서 폭이 넓고, GA강판에서는 폭이 좁은 불연속적으로 관찰이 되었다. 이는 두 재료의 열전도도 및 융점 등 물성치가 다름에

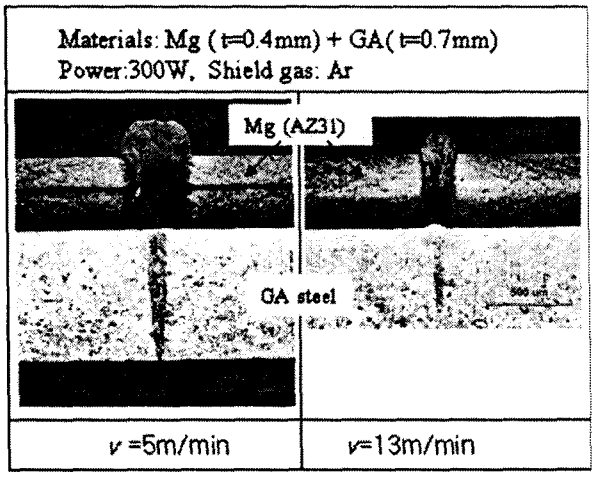

Fig.5 Cross sections of bead in lap welding (Mg alloy - GA steel)

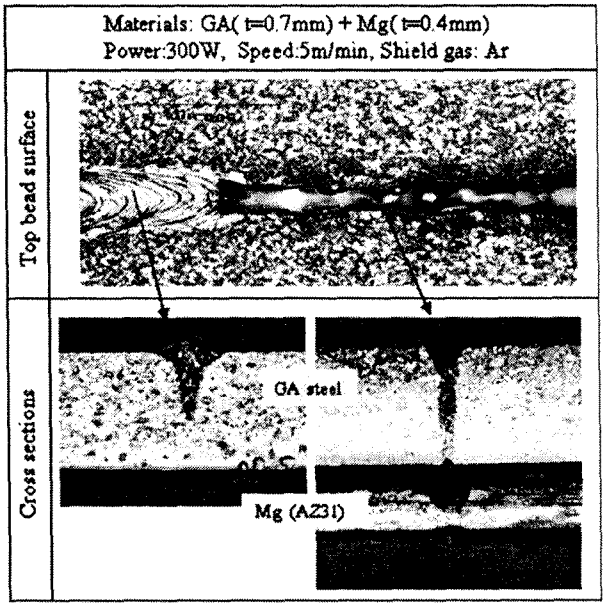

Fig.6 Top surface & Cross sections of bead in lap welding (GA steel - Mg alloy)

서 기인 한 것으로 추정이 된다. 또한 GA강판의 상부에는 큰 기공이 발생 하였으며, 대부분의 조건에 동일한 현상이 일어났다. 용융부의 형상으로부터 키 홀의 형상을 추정하면 AZ31에서 키 홀 직경이 넓고, GA강판에서는 매우 좁을 것으로 판단된다. 따라서 GA강판에서 형성된 키 홀 내부의 증기압이 높아짐으로서 상부의 AZ31 용융지를 밀어 올리게 되어 기공이 형성 되었다고 사료 되어 진다.

한편, 시편의 상·하를 바꾸어서 GA강판을 상부로 하였을 경우의 용융부 형상을 Fig.6에 나타내었다. 용접 속도 이외 동일한 실험 조건으로 하였다. 위쪽의 비드 표면 사진을 관찰하면 불연속적이며 불규칙한 비드가 형성되었음을 알 수 있다. 사진 속 화살표 위치에서 단면 사진은 아래쪽의 왼쪽과 오른쪽이다. 왼쪽 사진에 보여지는 비드는 하부의 AZ31판재까지 용입이 되지 않았지만, 오른쪽 사진은 충분히 접합이 되었음을 알 수 있다. 이는 동일한 조건에서도 키 홀의 거동이 상당히 불안하다는 것이며, 형성된 키 홀이 때때로 붕괴되면서 급격한 불규칙 비드가 형성되었다고 말할 수 있다.

4. 결 론

싱글모드 파이버 레이저를 이용하여 자동차용 GA강판과 경량 금속인 Mg합금의 이종재 겹치기 용접 특성과 비드 형성 메커니즘에 관해 조사하였다.

1) 두께 1.4mm의 GA강판에 대해 불과 300W의 출력으로 양호한 관통 용접이 가능하였다.

2) Mg합금-GA강판 이종재 겹치기 용접에서 비교적 고속 용접이 가능하지만, 용융지 내부의 기공 형성 등의 결함이 검출 되었다. 이는 갭 간격의 영향과 함께 상이한 물성치에 따른 불규칙한 용융흐름에서 기인한다고 말할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Isamu Miyamoto, Seo-jeong Park, Toshihiko Ooie : Ultrafine-Keyhole Welding Process Using Single-Mode Fiber Laser, Proceedings of ICALEO2003, Laser Institute of America