

파이버 레이저에 의한 고속 키 홀 용접 High speed key-hole welding by fiber laser

박서정, 장웅성, 천창근, 주성민
포항산업과학연구원 용접센터

ABSTRACT

The present study examined the characteristics of high speed welding thin metal sheet using single mode fiber laser of averaged maximum output power 300 W. Due to the fiber laser that has a good quality of beam can make a very small focusing beam size, thin metal sheet welding and high speed key hole welding can be performed by high power density.

1. 서 론

첨단 산업분야를 비롯한 고부가가치의 제품들의 성능을 좌우하는 핵심 부품들은 급속히 소형화, 고기능화를 요구하고 있다¹⁾. 이러한 부품들은 이미 마이크로 오더 스케일의 가공 및 접합 공정이 필요로 하게 되었고, 비 접촉 공정인 레이저 빔의 미세 집광에 의한 초정밀 가공의 중요

성이 더욱 커지고 있다.

본 연구에서는 고체 레이저의 일종인 파이버 레이저를 이용하여 금속 박판의 고속 키 홀 용접을 실현하였다.

2. 실험 방법

2.1 레이저 발전기

본 실험에서는 최대 평균 출력 300W 싱글 모드 파이버 레이저를 이용하여 STS304 박판 금속(두께:50 μ m,100 μ m)을 비드 온 플레이트(Bead on Plate)용접 실험을 하였다. 파이버 레이저 발전기는 더블코어 구조로 되어 있으며, 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 가능하다. 레이저 빔의 출력제어는 컴퓨터 상에서 RS-232통신으로 하였으며, 펄스 빔의 출력은 컴퓨터-신호출력기(TTL)-레이저(아날로그 단자)에 의해 제어를 하였다.

레이저 빔의 조사는 리니어 모터(Linear Motor)가 내장 된 고속 이동 Stage 상부에 자체 제작

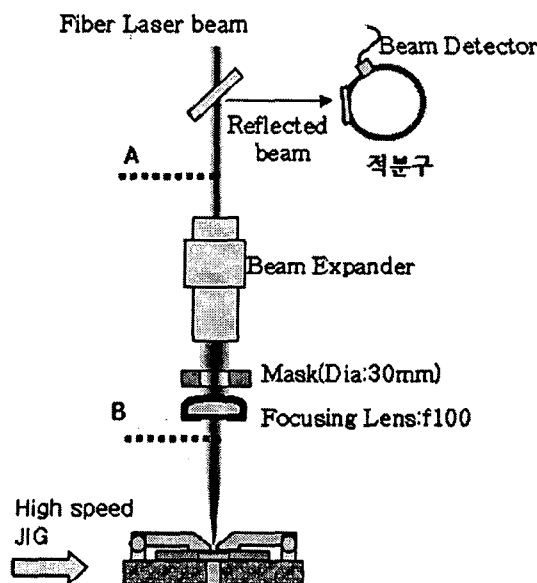


Fig.1 Experimental set up

한 박판 금속 용접용 JIG를 고정 시키고 용접 실험을 실시하였다. 고속 이동 Stage는 레이저 빔의 출력과 동기화 시켰으며, 최대 속도 180m/min 이고, 속도 분해능은 약 5 μ m이다.

2.2 광학시스템의 구성

레이저 발진기로부터 유도 된 빔은 Fig.1 에 나타낸 것과 같이 광학 시스템을 통하여 재료에 조사 되었다. 전송 광 파이버로부터 콜리메터 (Collimated beam) 된 평행빔의 직경은 약 6mm 이고, 집점에서 집광성을 높이기 위하여 Beam Expander를 사용하여 약 48mm로 확대하였다. 또한 Mask를 장착하여 빔 강도분포(가우스 분포)의 외측 부분을 차단시킴으로서 집점에서의 에너지 밀도를 높이는 것과 동시에 극미세 집광빔을 얻을 수 있었다. 집광 렌즈의 집점거리 f=100 으로 하였다. 빔 특성에 의한 비드 형성을 알아 보기 위하여 하기와 같이 2가지의 광학시스템을 구축하여 실험을 하였다.

- (A) 평행빔 직경(6mm) + 집광렌즈(f=100)
- (B) 평행빔 직경(48mm)+ Mask(Dia=30mm) + 집광렌즈(f=100)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 집광빔 측정

보다 미세한 집광경을 얻기 위해 고안 된 2가지 광학시스템의 집광빔 사이즈와 파워 밀도의 차이를 알아보기 위해 나이프(Knife edge)를 이용, 집광빔 허리 부분을 스캔하였다. 투과되는 빔은 시간 분해능이 3ns인 Photodiode sensor가 장착된 적분구(Integrating sphere)에 의해 모두 검지 가능 하였다. Fig.2의 (A) 광학시스템에서 측정된 빔 직경(중심강도의 1/e²)의 최소 사이즈는 약 23 μ m였고, Fig.2의 (B) 광학 시스템에서는 약 13 μ m인 것으로 측정 되었다. 또한 집광빔의 깊이(Depth of focus beam)는 80 μ m-150 μ m로 판단 하였다. 박판 금속의 용접 시에 형성되는 키홀 직경이 박판 금속의 두께보다 클 경우, 절단 현상이 일어나며, 그 반대의 경우에는 양호한 비드가 형성 된다고 알려져 있다. 따라서 본 실험에서의 사용한 박판의 두께는 50 μ m와 100 μ m이며, 집점에서 용접 할 경우 절단현상은 일어나지 않을 것으로 추정 할 수 있다. Fig.3은 2가지 광학 시스템으로 얻어진 집광경의 파워 밀도를

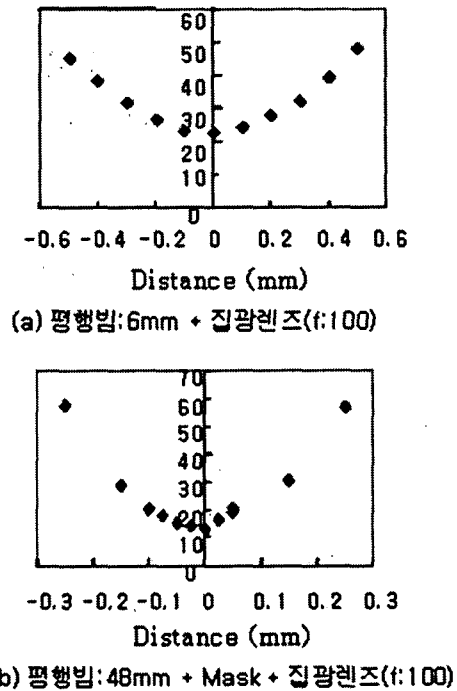


Fig.2 Focusing beam size (diameter of 1/e²)

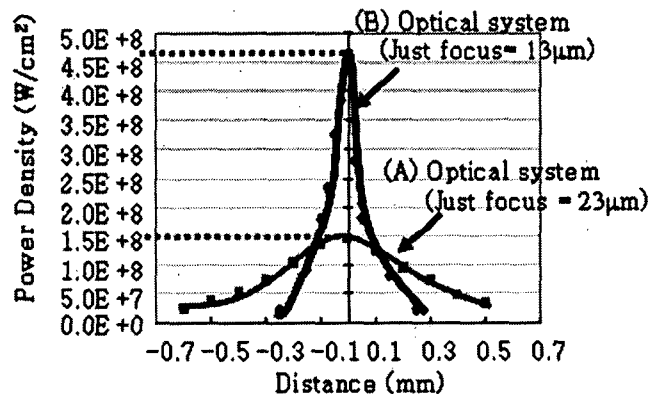


Fig. 3 Power density of (A), (B) optical system (Output power of Laser beam: 300W)

나타내고 있다. 파워 밀도 분포는 레이저 출력 300W일 경우를 표시하고 있으며, (A)광학 시스템에서 $\Delta f=0$ 의 집광경(Just focused beam) 파워 밀도는 약 $1.5 \times 10^8 \text{W/cm}^2$ 이고, (B)광학 시스템에서의 $\Delta f=0$ 집광경 파워 밀도는 $4.7 \times 10^8 \text{W/cm}^2$ 임을 알 수 있다. 이것은 통상 5KW대의 대출력 Nd:YAG 레이저 파워 밀도가 10^6W/cm^2 라는 사실에서 약 100배 이상의 고 파워밀도임을 알 수 있다.

3.2 박판 금속의 고속 용접 특성
전술한 2가지 광학 시스템에 의해

STS304(Thickness:50 μ m) 박판금속의 비드 온 플레이트(Bead on Plate)용접 실험을 행하였다. Fig.4에는 (A)광학시스템: $\Delta f=0$ 의 집광경 23 μ m으로 레이저 파워와 용접속도를 파라메타로 하여 비드 형성을 관찰 하였다. 양호한 키 홀 용접이 이루어지는 실험조건 구간은 레이저 파워가 약 200W 이하이고, 용접속도는 약 50m/min이하로 관찰이 되었다. 또한 레이저 파워가 비교적 낮고 고속 일 경우는 열전도 용접이 되었고, 레이저 출력이 높고, 고속 일 경우는 험핑(Humping) 비드가 형성이 되었다. Fig.5에는 각 조건에서의 용접부 단면사진을 나타내고 있다. Fig.5 (a)는 전형적인 열전도용접으로 관통비드(Full penetrated bead)가 형성되지 않았다. (b)에서는 Top 비드와 Bottom비드의 폭이 약50 μ m 거의 동일 하며, 양호한 키 홀 용접이 이루어졌다. (c)조건 역시 키 홀 용접이 가능하였으며, 양 비드의 폭은 평균 30 μ m으로 높은 키 홀 Aspect ratio 입을 알 수 있다. 또한 Fig.5 (d)와 같이 레이저 파워와 용접 속도의 증가에 따라 험핑 비드가 발생 하였다.

(B)광학 시스템은, $\Delta f=0$ 의 집광경 13 μ m으로 보다 높은 파워 밀도를 가지고 있으며 폭이 좁은 비드 형성이 가능하다. Fig.6에 나타낸 바와 같이 저출력 파워에서부터 비교적 고출력 파워까지 양호한 키 홀 형성이 가능하였으며, 용접 속도 60m/min 근방의 고속에서도 험핑이 일어나지 않았다. 다만 레이저 파워가 약85W 이상이 되면 불규칙한 비드 표면과 함께 험핑 현상이 발생 하였다. 상기의 실험 결과에 따라 빔 직경과 상관성이 있는 키 홀의 직경의 변화에 따라 양호한 키 홀 용접의 속도 한계는 높아진다고 판단 할 수 있다.

4. 결 론

최대 평균 출력 300W 싱글모드 파이버 레이저에 의한 STS304 박판금속(Thickness:50 μ m) 용접 실험 결과는 다음과 같다.

(1) 집광빔을 나이프 에지(Knife Edge) 스캔 방법에 의해 실측 하였고, 최소 집광경은 약 13 μ m으로 출력 300W일 경우, 약4.7*10⁸W/cm²의 고 파워 밀도였다.

(2) 용접 속도가 60m/min근방까지 양호한 키 홀 용접이 이루어 졌으며, 파워의 증가에 따라 험핑이 발생하였다. 이는 파워의 증가로 인한 키 홀 직경이 커지게 되며, 키 홀 주변부의 용융 금

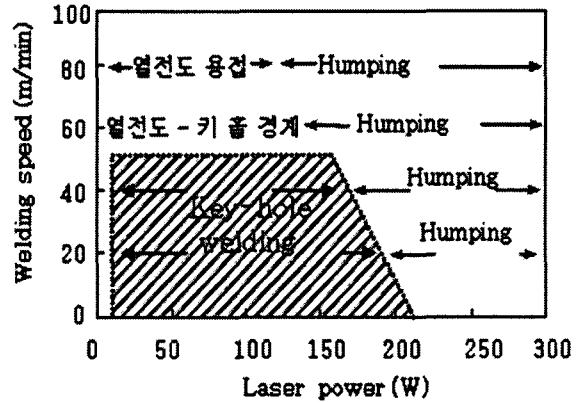
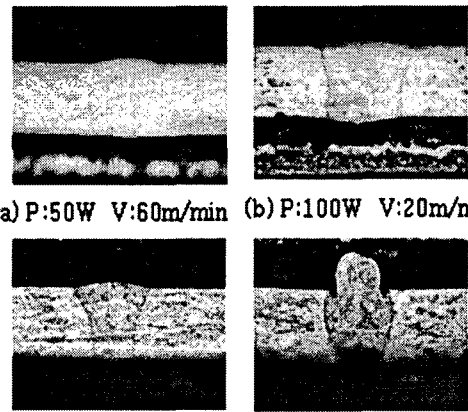


Fig.4 Bead formation in different beam power & welding speed



(a) P:50W V:60m/min (b) P:100W V:20m/min
(c) P:100W V:40m/min (d) P:250W V:80m/min

Fig.5 Photographs of bead Cross section (STS304, Thickness:50 μ m)

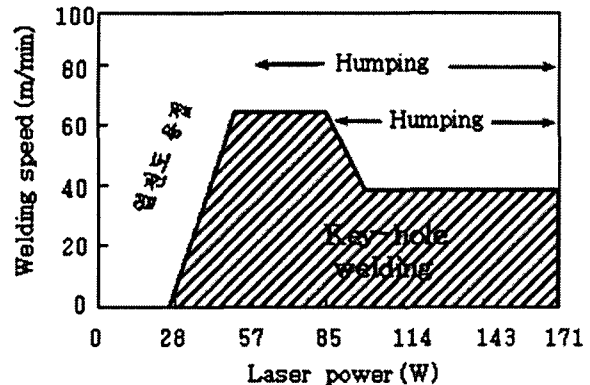


Fig.6 Bead formation in different beam power & welding speed

속 흐름이 원활하지 못한 결과라고 판단 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Y. Kawahito, T. Okada: Intelligent process control in the micro spot welding for copper, Proceedings of 20th ICALEO, LIA Vol. 92/93 (2001) pp.1793-1802