

Q 스위치 YAG 레이저와 펄스 YAG 레이저와의 중첩조사에 의한 금속재료의 용융특성

Melting Characteristics of Metals with Combined Laser Beams of Q switched and Pulsed YAG Laser

삼성 중공업 용접연구 문 중현
삼성 중공업 용접연구 장 태원
삼성 중공업 용접 연구 윤 동렬
한국 해양 대학교 기관공학과 김 중도
오사카 대학 접합과학 연구소 Katayama Seiji

I. 서론

레이저 용접은 고 에너지를 작은 스폿경으로 피가공물에 집광 시킬 수 있기 때문에, 열 영향부(HAZ)가 작고, 열변형이 적다는 장점 때문에 산업분야의 제품생산의 일부로서 사용되고 있다. 한편, 에너지 절약 차원에서 제품의 경량화, 리사이클의 관점으로부터 알루미늄 합금 사용의 요구가 증대되고 있다. 또한, 전자산업 분야에서는 Pb-free 솔더링의 한 방법으로서 동과 동의 직접 용접의 요망이 높아지고 있다. 그러나 알루미늄 합금이나 동은 근적외선대역의 레이저에 대해서는 반사율이 높을 뿐만 아니라 열 전도도가 높기 때문에 용접이 매우 곤란하다. 한편, 고 출력 레이저가 개발되기 이전 후판(厚板)의 레이저 용접의 한 방법으로서 레이저 열원과 아크 열원을 결합한 하이브리드 레이저 용접은 1980년대 부터 M.Steen 등에 CO₂ 레이저와 TIG를 결합하여 레이저 에너지 효율을 높이기 위한 연구가 시작되어, 현재에 이르러서는 다양한 하이브리드 레이저 용접 프로세스가 연구 되어지고 있다.¹⁾ 후 지나가 등은 수 kW급 Nd:YAG 레이저 세대를 하나의 광 화이버에 수속시켜 하나의 집광렌즈로 시료 표면에 집광시켜 입열 효율을 높여 용입 깊이를 증가시켰다.²⁾ 다른 한편으로는 레이저와 아크와의 단점을 상호보완하고, 장점을 상승 시키기 위한 레이저 용접 프로세스로, 하나의 연구 분야로서 그 영역을 접하고 있는 상황이다.

한편, 저자들은 고반사고열전도 재료인 순알루미늄 및 무산소 순동에 대해, 이파장 중첩 레이저 조사(Q 스위치 SHG YAG 레이저와 기본파 펄스 YAG 레이저와의 중첩)에 의해 용융효율을 높일 수 있는 가능성에 대해 검토한 바 있다.⁴⁾

본 연구는 앞서 얻어진 연구 결과에 기초하여 동파장 레이저 중첩 조사에 의한 금속재료의 용융특성 및 용융효율의 개선에 대해 기초적인 검토를 수행하였다.

II. 실험 방법

본 실험에 사용된 레이저 장치는 Miyachi Techno.사의 펄스 Nd:YAG 레이저(파장 $\lambda = 1,064$ nm, 최대 평균 출력 $P_a = 400$ W) 및 Lee Laser사의 Q 스위치 SHG YAG 레이저($\lambda = 532$ nm, $P_a = 50$ W)이다. 그러나, 본 실험을 위해 파장 변환용 SHG LBO 결정을 빔의 안내선으로부터 떼어내어 LD 헤드로부터 나오는 기본파 1,064 nm의 파장을 이용, Q 스위치 YAG 레이저로서 사용하였다.

각각의 레이저를 단독 또는 중첩조사 하여 각 금속재료의 용융특성을 조사하였다. 중첩에 의한 용융특성을 검토하기 위해 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 Q 스위치 YAG 레이저의 집광 광학계가 고정되어

있기 때문에, 이 광학계에 대해서 펄스 YAG 레이저를 용접진행 방향에 대해 전진각 30°가 이루어지도록 하여 합성 중첩조사를 하였다.

레이저 조사는 Ar 실드 가스 분위기(30 ℓ/min)에서, 통상 시료표면을 레이저의 초점위치로 설정하였다. 용접속도는 0.6 mm/s이며, 이때 펄스 YAG 레이저 조사에 의한 램비율은 90% 이상이다.

용접재료는, 시판 알루미늄 합금 A5083(판두께 6 mm) 및 오스테나이트계 스테인레스강 SUS 304(판두께 10 mm)이다. 용접 전 시험재료를 사포 #400으로 연마한 후, 아세톤 액으로 시료표면에 부착된 유지분을 제거한 후 레이저를 조사하였다.

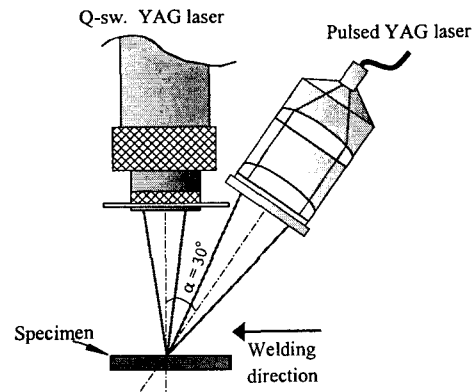


Fig. 1 Schematic optical arrangement showing combined laser beams.

III. 결과 및 고찰

우선 중첩 레이저 조사에 의한 용융특성을 검토하기 전 Q 스위치 YAG 레이저를 단독 조사하여 용입깊이를 검토하였다. 초점거리 0 mm, 주파수 10 kHz, 평균 출력 60 W에서는 A5083은 거의 용융되지 않음을 확인 하고, Q 스위치 YAG 레이저의 모든 조사조건은 주파수 5 kHz, 평균 출력 40 W에서 실험하였다. SUS 304에 대해 Q 스위치 YAG 레이저의 초점 이탈 거리에 의한 용융비드 및 용융 단면을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2의 결과에서 용융비드가 검은색과 회색의 두개의 비드가 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 또한, 초점 이탈 거리 0 mm을 중심으로 (-) 방향의 경우 두개의 비드가 하나의 비드로 형성되고, (+) 방향으로 멀어짐에 따라 두개의 비드 간 거리는 점점 벌어지는 것을 알 수 있다. 초점 이탈 거리 5 mm의 경우 초점 이탈 거리 0 mm과 비슷한 검은색을 띄는 비드를 형성하고 있으나, 용융단면의 광학 현미경 관찰 사진에서 보여지는 것과 같이 시료표면 부근의 아주 작은 양의 증발 흔적만이 보일 뿐, 그 주위는 용융한 흔적이 보이지 않고, 또한 회색 비드부는 단지 용융점 이하의 아주 작은 열에 의해 그을린 흔적이라고 생각된다. 고 배율 광학현명의 사진의 결과에서 보여지는 것과 같이 용융단면은 모든 조건에서, Q 스위치 YAG 레이저의 고 피크 파워에 의해 용융부를 형성하지 못하고 증발에 의한 드릴 가공의 상태가 된 것을 알 수 있다. 초점 이탈 거리 0 mm의 경우, 재료표면 부근에서 증발량이 많고, 시료표면으로부터 두께 방향으로 갈수록 증발량

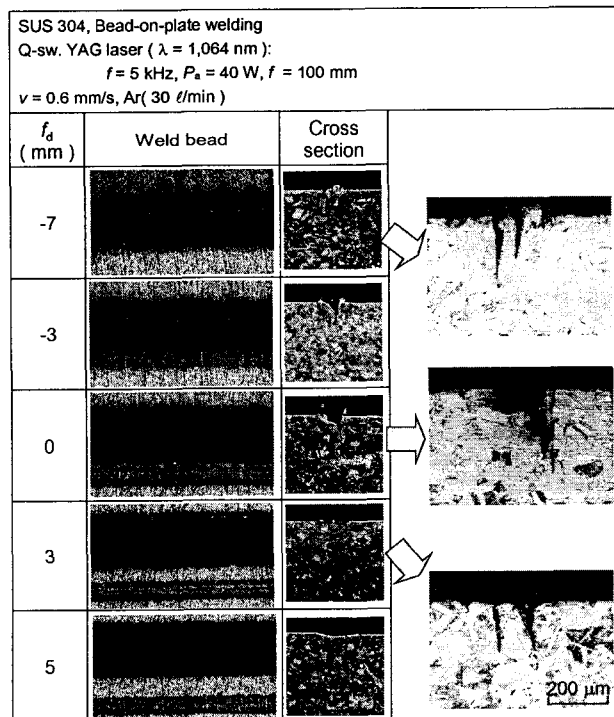


Fig. 2 Penetration shapes and weld beads of SUS 304 with Q switched YAG laser.

이 작아 지면서 직경이 작아지며, 최대 용입 깊이는 0.22 mm 였다. 더욱이 초점 이탈 거리가 증가함에 따라 홀의 수가 2개 또는 3개로 증가하는 것이 보여지는데, 빔 모드의 영향인지, 집광렌즈와 빔과의 얼라이먼트의 영향인지는 추후 고찰이 더 필요하다고 생각된다.

다음은 A5083에 대해 Q 스위치 YAG 레이저 단독 조사, 펄스 YAG 레이저 단독 조사 및 중첩조사에 의해 얻어진 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 레이저 조사 조건은 각 레이저 조사에 의한 특성을 검토하기 위해 펄스 YAG 단독 조사에서는 피크 출력과 평균 출력을 5.5 kW, 275 W와 6.3 kW, 315 W로 일정하게 하고, 펄스 지속 시간과 주파수를 변화시켰다. Q 스위치 레이저는 Fig. 2와 같은 조건이다. 중첩 레이저 조사의 경우, 펄스 YAG 레이저에서는 피크 파워 5.5 kW, 평균 출력 275 W의 조건에서 Q 스위치 YAG 레이저와 중첩 조

사를 하였다. Q 스위치 YAG 레이저 단독 조사에서는 Fig. 2의 SUS 304의 결과에서 보여지는 것과 같이 용융부가 형성되지 못하고, 아주 작은 깊이의 드릴가공을 한 것과 같은 단면이 형성된 것을 알 수 있다. 펄스 YAG 레이저 단독 조사의 경우 펄스 지속 시간 1, 2 ms에서는 열 전도형의 용입이 형성되고 그 이상에서는 키홀형 용입 깊이가 얻어졌다. 한편, 중첩 레이저 조사의 경우, 펄스 지속 시간 2 ms부터 키홀형 용입이 형성되지만 용입 깊이의 증가는 펄스 지속 시간 2 ms이상의 조건에서는 그 양이 아주 작은 것을 알 수 있다. 평균 출력 315 W의 펄스 YAG 레이저 단독 조사와 용입깊이를 비교 했을 경우, 펄스 지속 시간 1 ms 이상에서는 펄스 YAG 레이저를 단독으로 조사한 것이 오히려 용입깊이가 증가하고 있는 것을 알 수 있다. Fig. 3의 결과에 기초하여 펄스 YAG 레이저의 펄스 지속 시간에 대하여 용입 깊이를 평균 출력 275 W, 315 W에 대해 펄스 YAG 레이저 단독 조사의 각각의 경우와 중첩 레이저 조사 및 Q 스위치 YAG 레이저 단독 조사 각각을 평가한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그래프중에 일점쇄선은 평균 출력 40 W, 주파수 5 kHz에 있어서 Q 스위치 YAG 레이저 단독 조사에 의해 얻어진 결과를 나타낸다. Q 스위치 YAG 레이저 단독 조사에서는 용입깊이는 0.2 mm로 아주 용입이 얇다. 275 W의 펄스 YAG 레이저 단독 조사에서는 펄스 지속 시간의 증가에 따라 용입깊이는 0.25 ~3.56 mm로, 중첩 레이저 조사의 경우에 있어서는 0.38 ~3.41 mm로 펄스 지속 시간의 증가와 함께 선형적으로 증가하고 있다. 중첩 레이저 조사의 10 ms에서는 용입 깊이가 펄스 YAG 레이저 단독 조사의 용입 깊이보다 약간 작거나 거의 변화가 없는 것을 알 수 있는데, 이것은 Q 스위치 YAG 레이저에 의해 일열된 에너지가 펄스 YAG 레이저에 형성된 키홀(Keyhole)의 크기는 증가 시키지 못하고 용

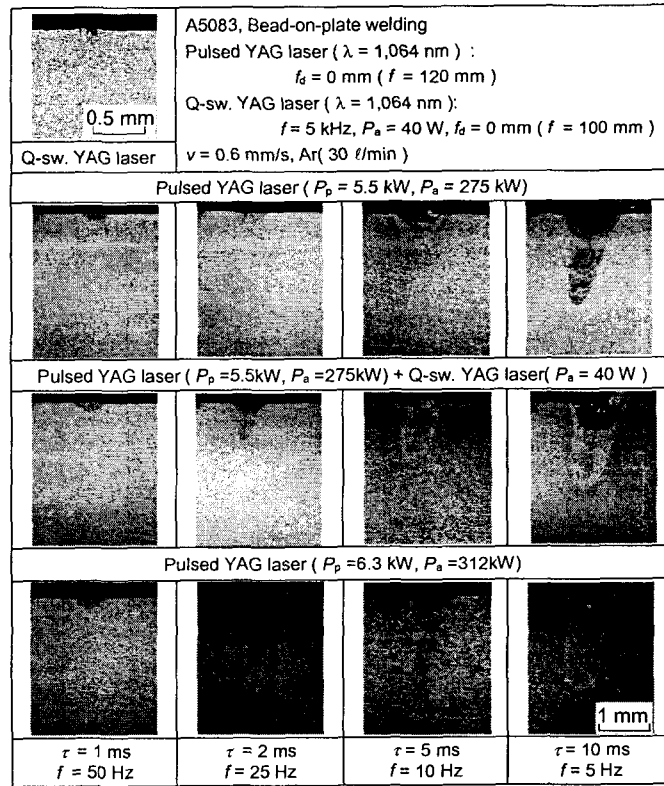


Fig. 3 Effects of pulse duration and repetition rate on penetration depths of A5083 welds made pulsed YAG laser and combined lasers.

용지의 열대류를 촉진시켜 용입깊이는 펄스의 지속 시간의 증가와 함께 증가하기 못하지만 용융 단면적의 증가에 소비되어졌다고 생각되어진다. 한편, 315 W의 펄스 YAG 레이저 단독 조사에서는 펄스 지속 시간 1ms의 0.41 mm로부터 조사 시간의 증가와 함께 최대 4.91 mm까지 증가한 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터, 중첩 레이저 조사에 의한 용융효율은 275 W의 펄스 YAG 레이저 단독 조사보다는 증가하고 있지만 315 W의 펄스 YAG 레이저 단독 조사에 비교하면 중첩에 의한 용융효과는 크게 개선되지 않는 것을 알았다.

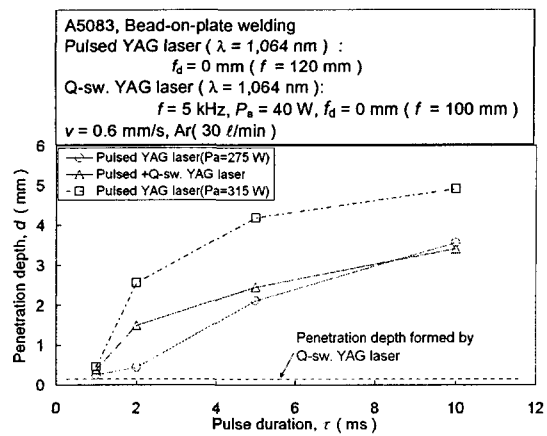


Fig. 4 Effect of pulse duration on penetration depths of weld beads produced in A5083 alloy with pulsed YAG and combined lasers.

IV. 결론

SUS 304 및 A5083의 금속재료에 대해 펄스 YAG 레이저와 Q 스위치 YAG 레이저의 단독 또는 중첩 조사를 하여, 각각의 용융 특성을 검토하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) Q 스위치 YAG 레이저 단독 조사의 경우, 고 피크 파워의 조사에 의해 거의 모든 재료가 증발되어 구멍 가공의 형상으로 되었고, 그 깊이는 아주 얇은 것을 알았다.
- 2) Q 스위치 YAG 레이저에 있어서 초점 이탈 거리에 따른 두개의 용융 비드 형성, 단면에서의 두 세 개로 나누어진 용융 형상에 대해서는 추후 검토가 더 필요하다는 것을 알았다.
- 3) A5083의 중첩 레이저 조사의 경우, 용입깊이와 용융 단면적은 275 W의 펄스 YAG 레이저 단독 조사 보다는 증가하지만, 315 W의 단독 조사에 의한 결과와 비교해서는 중첩에 의한 용융효과는 크게 개선되지 않았다.
- 4) 이파장(異波長) 중첩 레이저에 의한 열 효율 개선 보다 효과가 크지 않았음을 알았다.

V. 참고 문헌

1. William M. Steen, Arc augmented laser processing of materials, App. Phys. Vol.55, pp5636-5641(1980)
2. S. Fujinaga, H. Miura, T. Narikiyo, S. Katayama and A. Ohmori, Welding characteristics with three Nd:YAG laser beams transmitted through single optical fiber, Proc. of ICALEO'97, Section G, pp.263-271(1997)
3. D. Petring, S. Kaierle, M. Dahmen, M. Kasimir, F. Cottone, and C. Maier, Extended range of applications for laser beam welding by laser-MIG Hybrid technique, laser-opto, Vo.33(2001)
4. J.H. Moon, Masami Mizutani, Michio Goto, S. Katayama and Akira Matsunawa, Melting Characteristics of Metals by Combined Laser Beams with Different Wavelength, Proc. of ICALEO2000, Section E, pp143-152(2000)