

고강도 Al 합금의 CO₂ Laser 용접부의 용접조건에 따른 응고조직 변화에 관한 연구

A Study on the Solidification Microstructures with Welding Condition in CO₂ Laser Welding for High Strength Al Alloy.

김경남, 김장량, 윤재정, 하정원, 강정운
부산대학교 공과대학 금속공학과

I. 서론

고강도 Al 합금은 경량구조용 재료로서의 우수한 특성 때문에 항공기, 자동차, 고속전철차량, 고속선등의 구조용 재료로서 널리 적용되어 왔으며, 타금속 및 비금속의 경량화재료와 비교해서 물성, 경제성 및 자원의 재활용 관점에서 우수한 특징을 가지고 있다. 그러나 고강도 Al 합금의 레이저 용접시에 기공 및 균열과 같은 결함이 발생하기 쉽고, 용접부의 인장강도가 모재보다 아주 낮다는 문제점이 있으며, 일반적으로 용접부의 미세조직에 관한 전반적인 응고 조직의 변화에 대한 보고가 적다.

그러므로 본 연구에서는 경량화 재료로 사용되고 있는 고강도 Al 합금으로서 비열처리형 합금인 A5083 (Al-Mg계)과 열처리형 합금인 A6N01 (Al-Mg-Si계) 합금의 CW-CO₂ 레이저 용접시, 레이저 출력과 용접속도의 변화 및 합금에 따른 용착금속 내의 응고조직 형성, 등축정 크기, 리플라인(ripple line) 형성 등과 같은 미세조직 변화 등에 대해서 상세히 검토해 보았다.

II. 실험방법

본 연구에서는 경량화 재료로서 A5083, A6N01 합금을 사용하였다. 이 용접에 사용한 시험편은 120(L)×100(W)×4(T)mm 크기로 절단하여, 에머리 페이퍼 400번까지 연마하고 아세톤 세척 후 사용하였으며, 이때 사용한 레이저 장치는 50kw급 5축 3차원 CO₂ 레이저 용접기로서 빔 mode는 Ring mode, 레이저 출력은 4, 5, 6, 7 (kw), 용접속도는 1, 2, 3, 4 (m/min), 초점거리는 ±0 (mm), 실드가스는 He을 70 (l/min)로 사용하여 압출 방향에 평행하게 Bead-on-plate용접을 실시하였다.

각 빔 조사조건(출력, 속도)에 따른 용접부의 매크로 조직과 미세조직은 미세연마 한 후 A5083 합금의 경우 Keller's 부식액(증류수 50ml + HF 10ml + HNO₃ 25ml + HCl 15ml)을 사용하였고 A6N01 합금의 경우 10% 불산(증류수 90ml + HF 10ml)을 사용하여 부식시켜 O.M, SEM 등으로 관찰하였다.

III. 실험결과 및 고찰

CO₂ 레이저 용접에서 용융 특성에 영향을 미치는 인자 중에 영향이 가장 큰 것은 출력과 용접속도 일 것으로 예상된다. 그래서 A5083, A6N01 합금을 대상으로 평균출력을 4~7kw 범위에서 용접속도를 1~4m/min로 변화 시켜 용접했을 때 크게 관통 용입과 비관통 용입으로 나눌 수 있었다. 우선 관통 용입의 경우는 A5083 합금은 속도 1m/min일 때 출력이 6, 7kw인 경우와 속도가 2m/min일 때 출력이 7kw인 경우에 발생했고 A6N01 합금은 속도가 1m/min일 때 출력이 7kw인 경우에 나타났으며, 나머지는 비관통 용입현상이 나타났다.

Photo 1은 출력이 7kw, 속도 1m/min일 때의 관통 용입시와 출력 5kw, 속도 2m/min일 때의 비관통 용입시의 비드형상을 나타낸 것이며, Fig 1은 관통 용입시 두 합금의 출력과 속도에 따른 상부 비드폭(Ws)과 하부 비드폭(Wb)을 나타낸 것이다. Photo 1과 Fig 1에서 A5083 합금이 A6N01 합금에 비해 상부에서 하부로 갈수록 비드폭의 감소비가 낮았으며, A6N01의 경우 하부 비드폭이 상부 비드폭의 50% 이하로 낮게 나타나고 있다. 그리고 비관통 용입시에도 하부의 곡률반경이 더 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

Photo 2는 출력 7kw, 속도 1m/min의 관통 용입시 두 합금에 나타나는 상들을 분류한 미세조직을 나타낸 것이다. A7N01의 경우 용융경계부에서부터 셀상, 수지상, 등축정이 나타났었지만, A5083과

A6N01 합금은 Photo 2에서 보여지듯이 계면에서 셀상이 나타나지 않고 주상정이 바로 형성되고 있으며, 등축정의 발달이 잘 나타나지 않고 있다. 용융경계부에서 대부분 주상정이 열흐름 방향에 따라 형성되고 있으며, A5083의 경우가 A6N01보다 더 조대하게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이는 A6N01 합금의 열전도가 A5083 합금보다 더 빠르기 때문이라고 판단된다. Fig 2는 관통 용입시의 DAS(Dendrite arm spacing)와 냉각속도를 나타낸 것으로 측정 위치는 용접부의 중간부위이며, 출력이 증가하고 속도가 감소 할 수록 DAS가 증가하고 있고, 냉각속도는 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

Photo 3은 출력 5kw, 속도 2m/min의 비관통 용입시 리플 라인이 존재할 때의 미세조직을 나타낸 것으로 A5083 합금의 경우 셀상에 의해 리플 라인이 형성되며, A6N01 합금은 계면성장에 의해 리플 라인이 형성되고 있다. 이 역시 A6N01 합금의 높은 열전도에 의한 것이라 판단된다.

Fig 3은 출력 7kw, 속도 1m/min의 관통 용입시와 출력 4kw, 속도 4m/min의 비관통 용입시 경도를 측정한 것으로 두 합금 모두 모재에 비해 용접부의 경도가 낮게 나타나고 있으며, A6N01 합금의 비관통 용입 경우에는 용접부에서 급격한 경도 감소가 나타나고 있다. 이는 용접부내의 균열과 기공 등의 결함에 의한 것으로 판단된다.

IV. 참고논문

1. T.F. Bower, H.D. B개요, M.C. Fleming : AIME, 236-5(1966), 624-634
2. 輕金屬容接, 27-12(1989), 564-570
3. 容接學會誌, Vol.68, No.6 (1999.9), 20-27
4. 容接學會誌, Vol.68, No.7 (1999.10), 18-21
5. 容接學會論文集, 第 17卷, 第 1号 (1999), 69-77

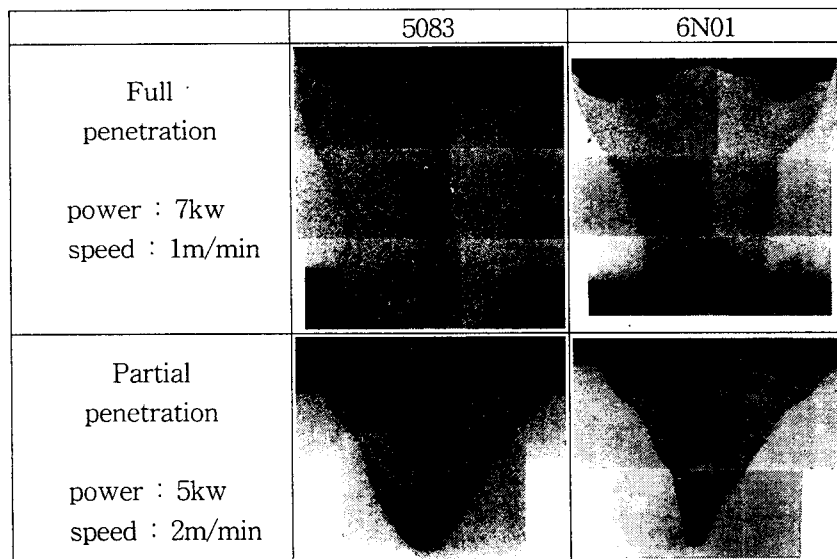


Photo 1. Macrostructures of bead of joints welded with laser power and weld speed.

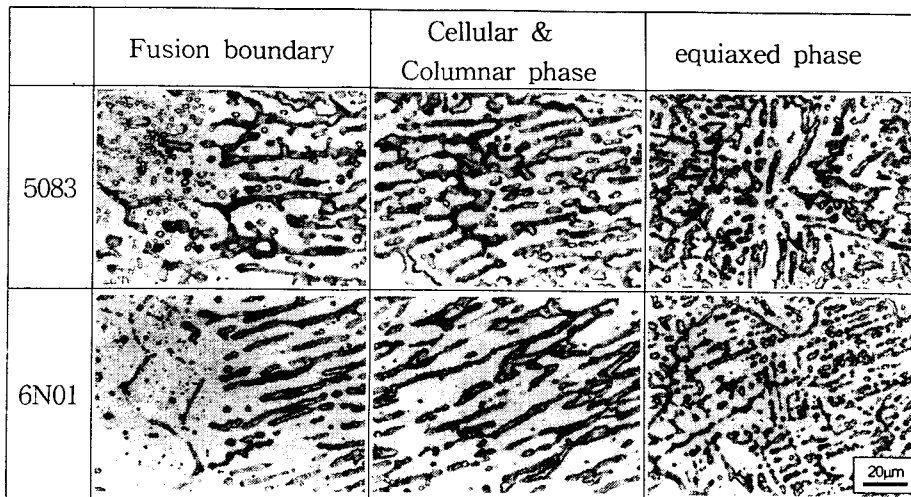


Photo 2. Microstructures of near fusion boundary and weld metal for laser power.
(power : 7kw, speed : 1m/min)

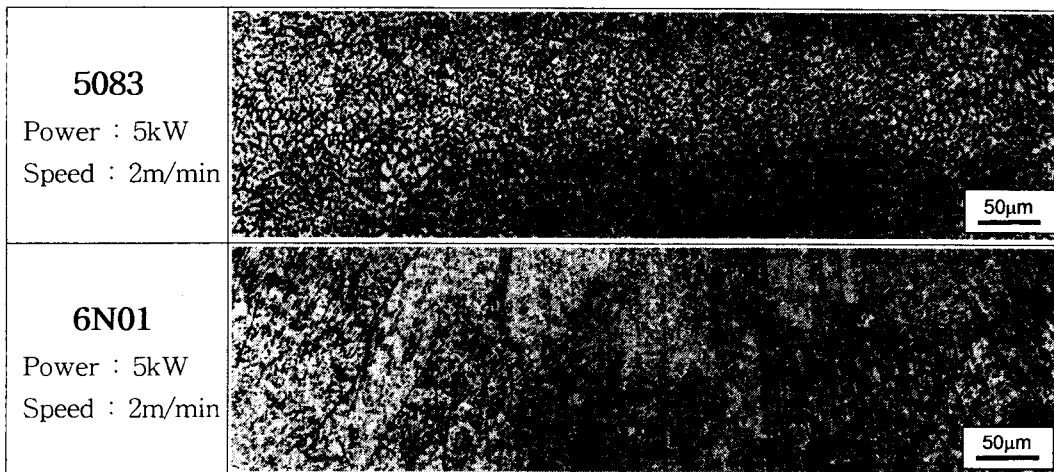


Photo 3. Ripple line formed with each alloy of partial penetration

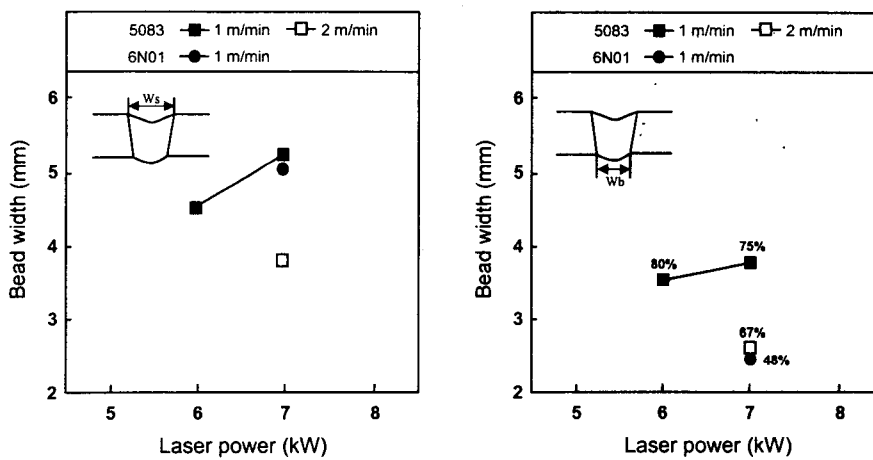


Fig 1. Bead width with laser power.

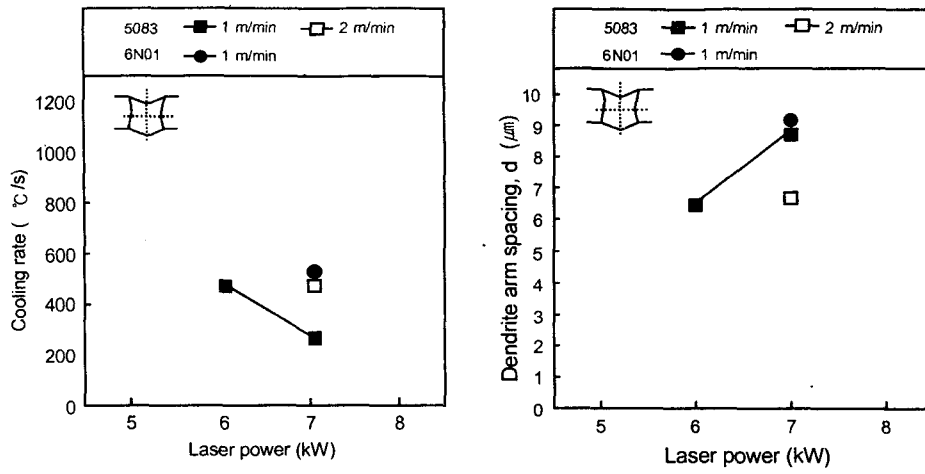


Fig 2. DAS & Cooling rate with laser power

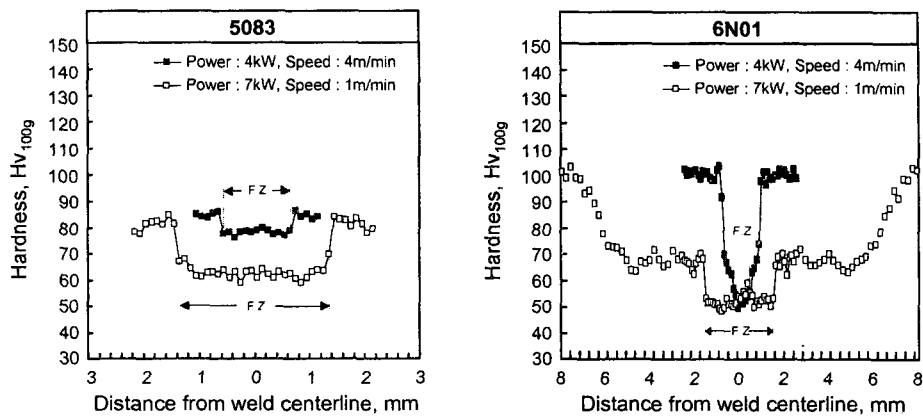


Fig 3. Hardness distributions of the welds of Al alloy.