

# 고강도 A7N01 합금의 CO<sub>2</sub> Laser 용접부의 응고조직에 관한 연구

## A Study on the Solidification Microstructures in CO<sub>2</sub> Laser Welding for High Strength A7N01 Alloy.

김경남, 윤재정, 강정운, 김인배  
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 일반적으로 용접부의 미세조직에 관한 전반적인 응고 조직의 변화에 대한 보고가 적다. 그러므로 본 연구에서는 경량화 재료로 사용되고 있는 고강도 Al 합금으로서 열처리형 합금인 A7N01 (Al-Zn-Mg계) 합금의 CW-CO<sub>2</sub> 레이저 용접시, 레이저 출력과 용접속도의 변화에 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 A7N01 합금을 사용하였다. 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 CO<sub>2</sub> 레이저 용접기로서 빔 mode는 Ring mode, 레이저 출력은 4, 5, 6, 7 (kW), 용접속도는 1, 2, 3, 4 (m/min), 초점거리는 ±0 (mm), 실드가스는 He를 70 (l/min)로 사용하여 압출 방향에 평행하게 Bead-on-plate용접을 실시하였으며 출력과 속도에 따른 용접부의 매크로 조직과 미세조직은 미세 연마 후 Keller's 부식액 (증류수 50ml + HF 10ml + HNO<sub>3</sub> 25ml + HCl 15ml)을 사용하여 O.M, SEM 등으로 관찰하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

CO<sub>2</sub> 레이저 용접에서 용융 특성에 영향을 미치는 인자 중에 영향이 가장 큰 것은 레이저 출력과 용접속도 일 것으로 예상된다. 그래서 A7N01 합금을 대상으로 평균출력을 4~7kW 범위에서 용접속도를 1~4m/min로 변화 시켜 용접했을 때 크게 관통용입과 비관통용입으로 나눌 수 있다. 우선 관통용입의 경우는 속도 1m/min일 때 출력이 4,5,6,7kW인 경우와 속도가 2m/min일 때 출력이 6,7kW인 경우와 속도가 3m/min일 때 출력이 7kW인 경우에 발생했고 나머지는 비관통용입현상이 나타났다. 사진 1과 사진 2는 7N01합금을 용접속도를 1m/min로 일정하게 하고, 레이저 출력을 변화시킨 경우, 용접부의 Macro 조직과 Micro 조직을 나타낸 것으로 사진의 위치는 용융금속의 중앙부이다. 출력이 증가할수록 비이드 폭이 증가하고, 용융 경계부(fusion boundary)에서부터 중앙부로 감에 따라서 조직의 차이가 뚜렷이 나타나고, 결정립의 크기는 출력증가에 따라 증가하고 있다. 사진3는 레이저 출력을 7kW로 하고, 용접속도를 1,2,3m/min로 용접한 경우 용접부의 미세조직을 나타낸 것이다. 용접부는 용융 경계부(fusion boundary)에서 중앙부로 감에 따라서 응고형태가 다른 3가지 조직으로 변화한다. 즉, 셀(cell) 조직에서 열확산 방향으로 성장한 세포상 수지상(cellular dendrite)으로, 용접부 중앙에서 등축 수지상(equiaxed dendrite)이 나타나는 주조직의 특징을 보여주고 있다. 사진 3를 좀더 자세

히 관찰하기 위해서 사진 4에서는 용접속도 1m/min, 출력이 7kW로 용접된 시험편을 선택하여 용융 경계부(fusion boundary)로부터 용접부의 중앙까지의 미세조직을 관찰하고, 그때 나타나는 리플 라인에 대한 상변화를 관찰한 것이다. 먼저, 용융 경계부(fusion boundary)로부터 수직으로 셀 조직(A)이 생성되어 열확산 방향으로 용접부의 중앙으로 성장한 세포상 수지상(B)이 성장하다가 2차 weld pool에 의한 리플 라인이 형성되면 다시 새로운 셀 조직(C)에서 열확산 방향으로 성장하는 세포상 수지상(D)이 형성되어 중앙부 방향으로 성장하다가 중앙부 근방부터 등축 수지상(E)이 형성되어 중앙부에 분포한다. 여기서 A(셀 조직 : 용융 경계부)는 C(셀 조직 : 리플 라인)와 비교해서 크기가 작음을 알 수 있다.

그림 1과 그림 2는 앞에서 살펴본 사진을 토대로 해서 관통용입과 비관통용입 각각의 용접부내에서 셀(cell)조직, 세포상 수지상(cellular dendrite), 등축 수지상(equiaxed dendrite)이 분포하는 상황을 나타낸 것으로 속도가 1m/min인 관통용입의 경우 출력이 증가할수록 등축 수지상(equiaxed dendrite)의 분포가 넓어지는 것을 볼 수 있으며 속도가 4m/min인 비관통용입의 경우 저출력에서는 등축 수지상(equiaxed dendrite)이 존재하지 않는 것을 알 수 있고 리플 라인의 발생위치는 일정하지 않음을 알 수 있다. 그리고 관통용입의 경우 출력이 증가할수록 속도가 느릴수록 리플라인의 개수가 증가하는 경향을 알 수 있다. 그림 3은 laser 출력과 용접 속도에 대하여 DAS(dendrite arm spacing)를 측정하여 냉각속도를 구한 것으로 laser 출력이 증가할수록, 용접 속도가 느릴수록 DAS는 증가하는 것을 알 수 있으며 냉각속도는 이와는 반대로 출력이 증가할수록, 용접 속도가 느릴수록 냉각속도가 느려지는 것을 알 수 있다. 그리고 출력:7kW, 속도 2m/min인 비관통용입의 경우 관통용입보다 DAS가 작으며 냉각속도는 높은 것을 알 수 있다.

그림 4는 출력:7kW, 속도:1m/min의 조건으로 용접금속내에서 비드표면근처의 상부와 중간부분 그리고 비드의 밑부분인 하부의 DAS(dendrite arm spacing)를 관찰한 결과 상부, 하부, 중부 순으로 DAS(dendrite arm spacing)가 커짐을 알 수 있다. 그리고 냉각속도는 중부가 가장 느리고 상부가 가장 빠른 것을 알 수 있다.

#### IV. 결론

1. 용접속도가 1m/min일 경우 출력이 4, 5, 6, 7kW로 증가할 때, 비이드 폭이 증가하고 용융 경계부로부터의 셀 조직, 세포상 수지상, 등축 수지상의 크기가 증가한다. 출력증가에 따라서 용접부내에는 등축 수지상의 존재 폭이 넓어진다.

2. 용접부의 용착금속에서 리플 라인이 존재할 경우, 용융 경계부(fusion boundary)와 마찬가지로 리플 라인에서부터 셀(cell)조직에서 열확산 방향으로 성장한 세포상 수지상(cellular dendrite)으로, 용접부 중앙에서 등축 수지상(equiaxed dendrite)이 나타나는데 만약 다시 리플 라인이 형성되면 다시 처음과 마찬가지로 셀 조직 ⇒ 세포상 수지상 ⇒ 등축 수지상 조직으로 변화한다.

3. laser 출력이 증가할수록 용접속도가 느릴수록 DAS(dendrite arm spacing)가 크고 용접금속내에서 비드표면근처의 상부와 중간부분 그리고 비드의 밑부분인 하부의 DAS(dendrite arm spacing)를 관찰한 결과 상부, 하부, 중부 순으로 DAS(dendrite arm spacing)가 커짐을 알 수 있다. 그리고 냉각속도는 중부가 가장 느리고 상부가 가장 빠른 것을 알 수 있다.

#### V. 참고논문

1. 容接學會誌, Vol.68, No.6 (1999.9), 20-27
2. 容接學會誌, Vol.68, No.7 (1999.10), 18-21
3. 容接學會論文集, 第 17卷, 第 1号 (1999), 69-77

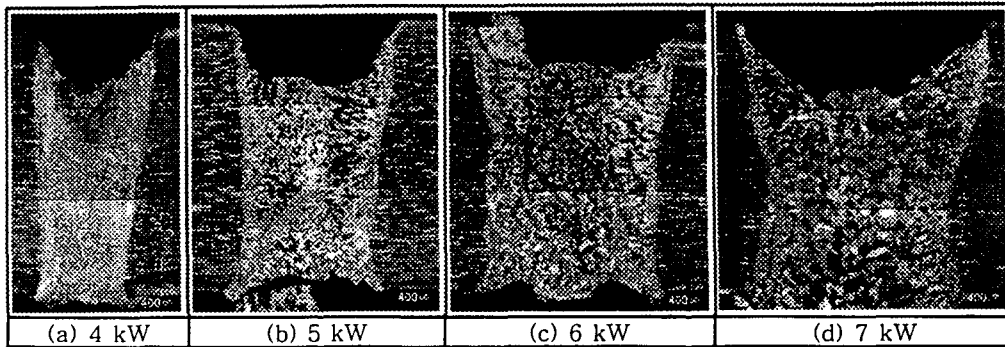
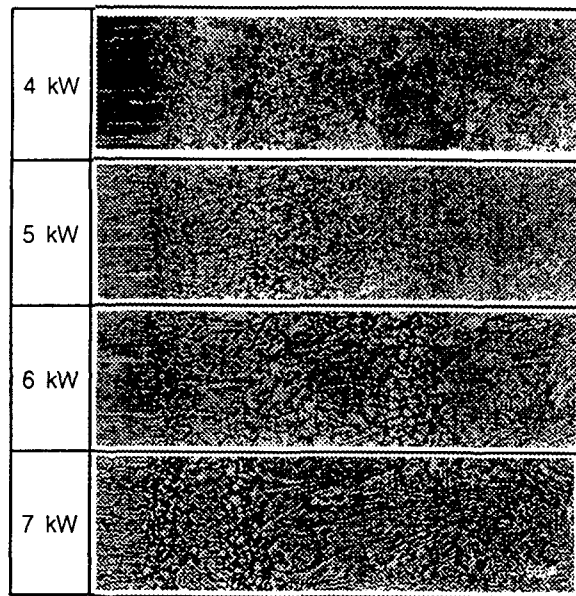


Photo 1 Macrostructures of bead of joints welded with laser power.  
( welding speed : 1m/min )



.Photo 2 Microstructure of bead of joints welded with laser power  
in 1m/min welding speed.

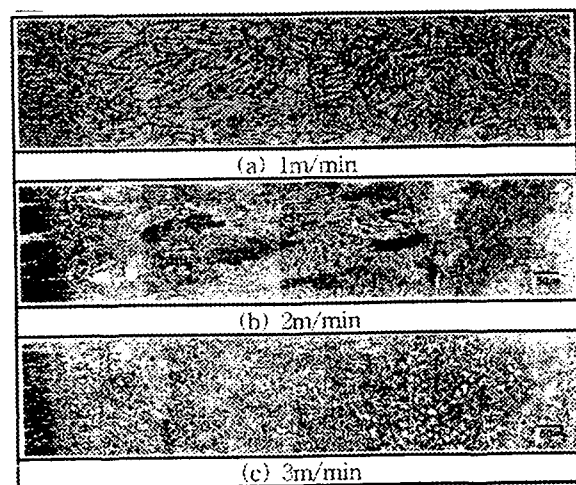


Photo 3 Microstructures of bead of joint welded with 7kW laser power

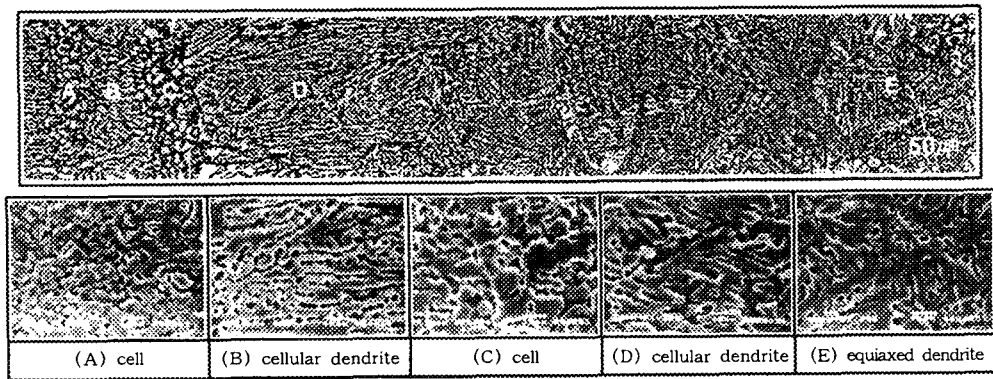


Photo 4 Microstructures of bead of joint welded and solidification types with 1m/min welding speed and 7kW laser power.( laser power : 7kW)

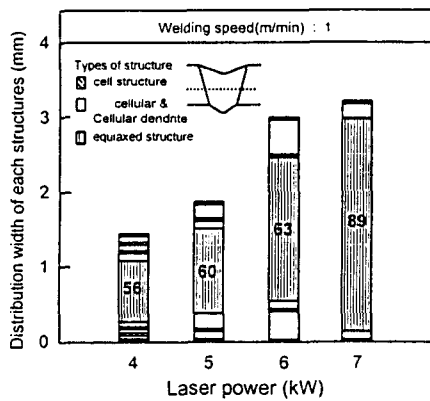


Fig. 1 Width distribution of each structures with laser power (Full penetration)

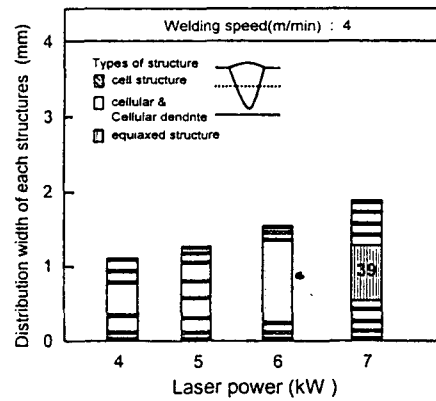


Fig. 2 Width distribution of each structures with welding speed (Partial penetration)

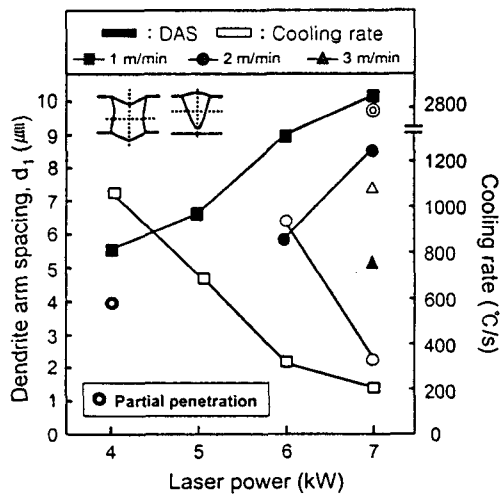


Fig. 3. DAS and cooling rate with laser power and welding speed on the A7N01

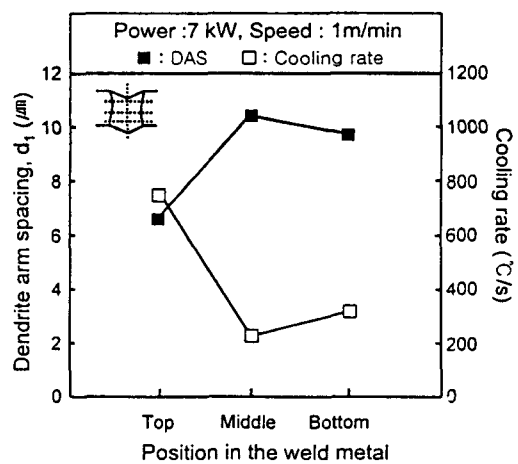


Fig. 4 DAS and cooling rate with each region on the A7N01