

**고강도 A7N01합금의 CO₂ 레이저 용접시,
용착금속의 미세조직 변화에 미치는 용접조건에 영향**
Effect of Welding Conditions on the varying microstructure of weld metal
in A7N01 alloy by CO₂ laser welding .

윤재정, 김장량, 하용수, 강정윤
부산대학교 금속공학과

I. 서론

자동차·차량·선박 등의 수송기기의 “경량화기술”은 고속화·대량수송의 효율화 등과 함께 지구환경에 대한 문제점을 해결하는 중요한 기술과제로 인식되고 있다. 고강도 Al합금으로 구성된 구조물의 대형화, 고품질 및 고정밀화 추세에 따라 레이저빔 용접의 수요가 급증하고 있다. 그러나, 고강도 Al합금의 용접시에 발생하는 문제점들은 파악되어 있으나, 발생 원인과 이에 대한 대책방안이 확립되어 있지 않기 때문에 실용화 단계에 들어가지 못하고 있다. 특히 열처리형 고강도 Al합금을 레이저 용접을 하면, 용착금속 및 HAZ부는 기계적 성질이 저하하는 문제가 있다. 따라서 후열처리(PWHT)로 용접부의 강도회복을 추구할 필요가 있다. 특히 A7N01합금은 시효경화형 합금이므로 용접부의 자연시효 현상과 거기에 적합한 저온시효 현상을 검토할 필요가 있다. 그래서 우선 용접조건에 따른 용접부의 미세조직의 변화에 대해서 검토하여 보았다.

II. 실험방법

본 연구에서는 경량화 재료로서 A7N01 열처리형 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 5-axis 3-dimensional Processing Machine 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 He를 70 (l/min)로 사용하여 압출방향에 평행하게 Bead-on-plate 용접을 실시하였다.

각 빔 조사 조건(출력,속도)에 따른 용접부의 매크로 조직과 미세조직은 micro-polishing한 후 Keller's 부식액(distilled water 50ml + HF 10ml + HNO₃ 25ml + HCL 15ml)을 사용하여 부식시켜 O.M, SEM 등으로 관찰하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 관통 용입조건에서의 미세조직 변화

본 실험에서는 속도 1m/min일 때, 출력이 4,5,6,7kW인 경우와 속도가 2m/min일 때, 출력이 6,7kW인 경우 그리고 속도가 3m/min일 때, 출력이 7kW인 경우의 관통 용입현상이 일어난 경우에만 한해서만 검토하였다.

사진 1은 7N01합금을 용접속도를 1m/min로 일정하게 하고, 레이저 출력을 변화시킨 경우, 용접부의 매크로 조직을 나타낸 것이다. 출력이 증가할수록 비이드 폭이 증가하고, 용융 경계부(fusion boundary)에서부터 중앙부로 감에 따라서 조직의 차이가 뚜렷이 나타나고, 결정립의 크기는 출력증가에 따라 증가하고 있다.

사진 2는 7N01합금을 출력 7kW로 일정하게 하고, 용접속도를 변화시킨 경우, 용접부의 매크로 조직을 나타낸 것이다. 용융 경계부(fusion boundary)와 평행하게 리플 라인이 형성된다. 그림 1에서 속도가 빨라질수록 비이드 폭은 좁아진다. 그림 2에서 속도가 1m/min인 경우는 출력이 증가할수록 리플라인의 갯수는 감소하고, 출력이 7kW인 경우에는 속도가 1m/min인 경우보다는 3m/min인 경우가 리플라인 갯수가 더 많음을 알 수 있다. 사진 3은 레이저 출력을 7kW로 하고, 용접속도를 1,2,3m/min

로 용접한 경우 용접부의 미세조직을 나타낸 것이다. 용접부는 용융 경계부(fusion boundary)에서 중앙부로 감에 따라서 응고형태가 다른 3가지 조직으로 변화한다. 즉, 셀(cell)상 조직에서 열확산 방향으로 성장한 세포상 수지상(cellular dendrite)으로, 용접부 중앙에서 등축 수지상(equiaxed dendrite)이 나타나는 주조직의 특징을 보여주고 있다.

위의 사진 3을 좀더 자세히 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 A: 셀 상이 생성되어 열확산 방향으로 용접부의 중앙으로 성장한 B: 세포상 수지상이 성장하다가 2차 weld pool에 의한 리플 라인이 형성되면 다시 새로운 C: 셀 상 조직에서 열확산 방향으로 성장하는 D: 세포상 수지상이 형성되어 중앙부 방향으로 성장하다가 중앙부 근방부터 E: 등축 수지상이 형성되어 중앙부에 분포한다. 여기서 A(셀 상 : 용융 경계부)는 C(셀 상 : 리플 라인)비교해서 크기가 작음을 알 수 있다.

그림 3과 그림 4는 앞에서 살펴본 사진을 토대로 해서 각각의 용접부내에서 셀(cell) 상, 세포상 수지상(cellular dendrite), 등축 수지상(equiaxed dendrite)이 분포하는 상황을 나타낸 것이다.

그림 3으로 부터, 레이저 출력이 증가할 경우, 각 상들 중에서 등축 수지상이 많이 분포하며 또한 출력 증가에 따라서 그 분포 폭 또한 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 4로 부터 용접속도를 변화시켰을 경우, 속도가 증가함에 따라서 리플 라인의 증가로 인해서 각 상들이 리플 라인을 경계로 반복되는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

1. 용접속도가 1m/min일 경우 출력이 4,5,6,7kW로 증가할 때, 비이드 폭이 증가하고 용융 경계부로부터의 셀상, 세포상 수지상, 등축 수지상의 크기가 증가한다. 출력증가에 따라서 용접부내에는 등축 수지상의 존재 폭이 지배적으로 넓어진다.
2. 레이저 출력이 7kW일 경우 용접속도가 1,2,3m/min로 증가할 때, 비이드 폭은 좁아지고 각 상들의 크기는 작아지고, 리플라인의 갯수가 증가한다.
3. 용접부의 용착금속에서 리플 라인이 존재할 경우, 용융 경계부(fusion boundary)와 마찬가지로 리플 라인에서부터 셀(cell) 상에서 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 상 ⇒ 세포상 수지상 ⇒ 등축 수지상 조직으로 변화한다.

V. 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

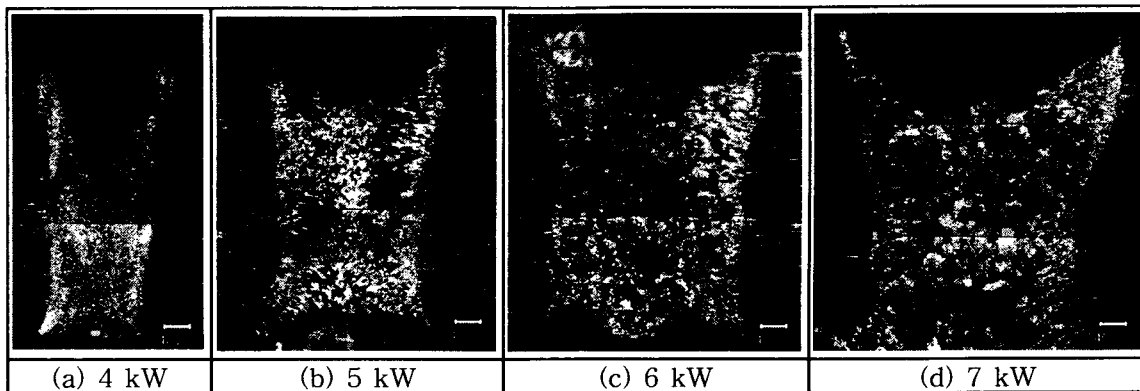


Photo. 1 Macrostructures of bead of joints welded with laser power.
 (welding speed : 1m/min)

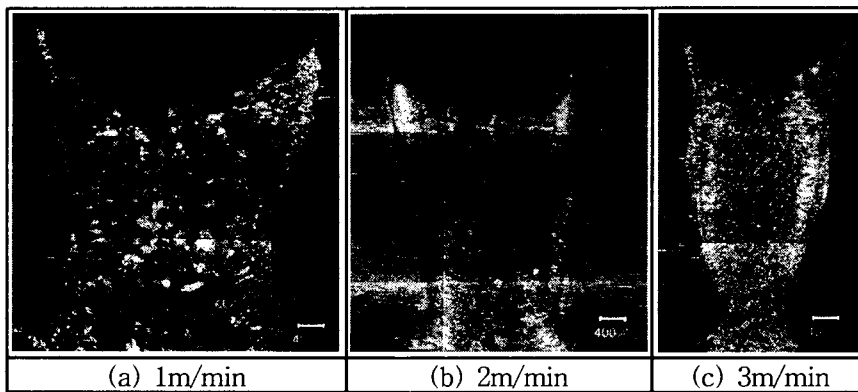


Photo. 2 Macrostructures of bead of joints welded with welding speed. (laser power:7kW)

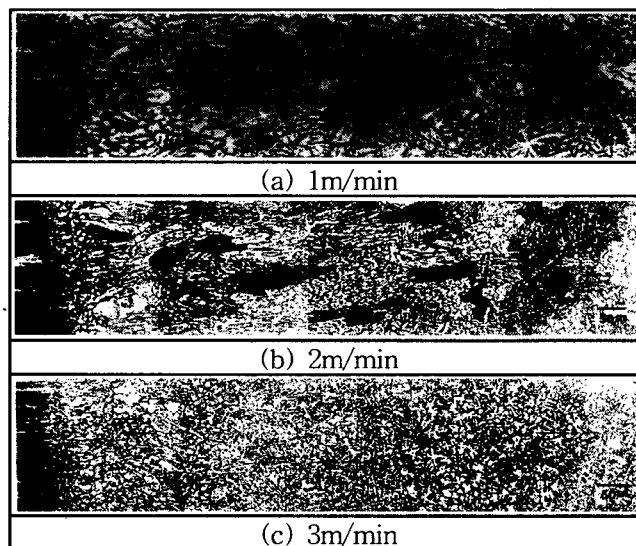
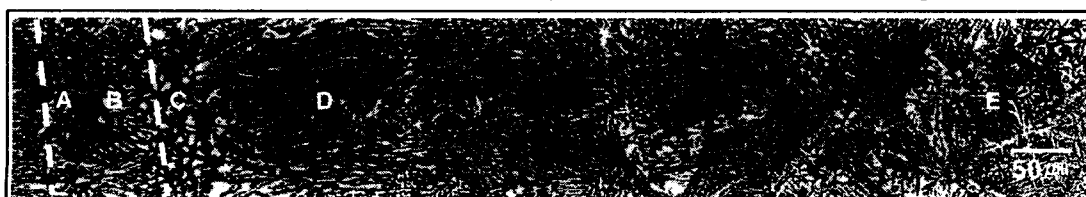


Photo. 3 Microstructure of bead of joint welded with 7kW laser power.



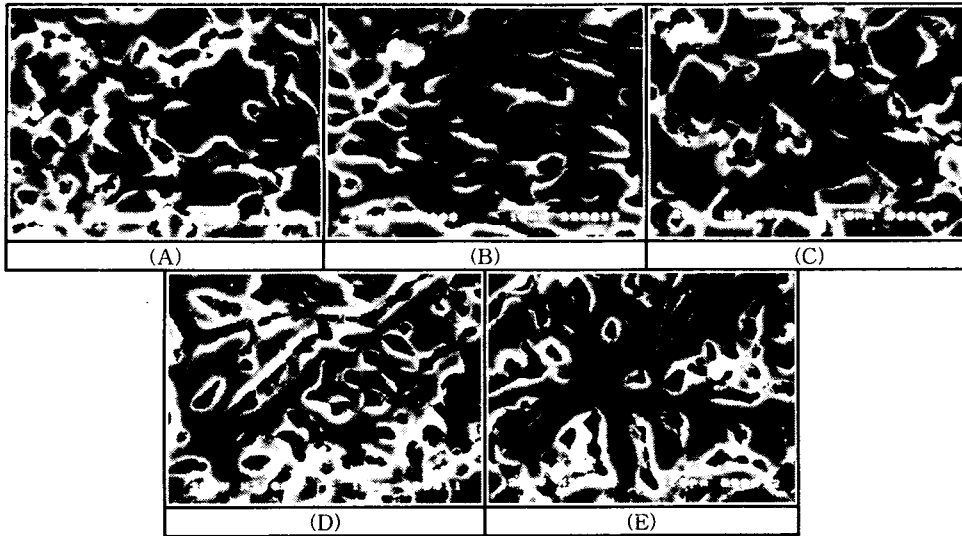


Photo. 4 Microstructure of bead of joint welded and solidification types with 1m/min welding speed and 7kW laser power.(laser power : 7kW)

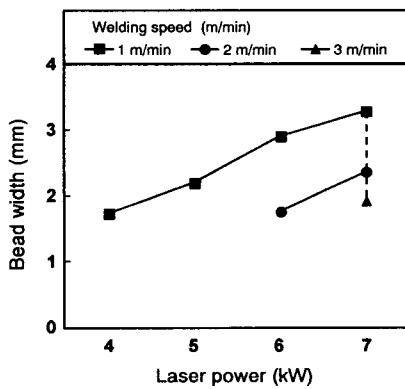


Fig 1. Bead width with laser power (welding speed : 1,2,3m/min)

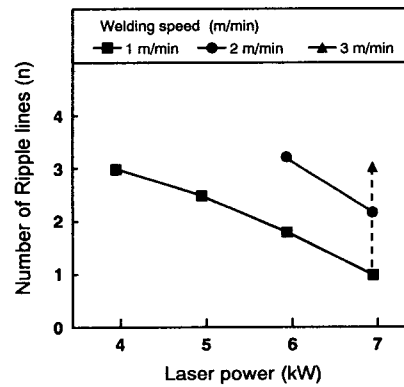


Fig 2. Number of ripple line with laser power (welding speed : 1,2,3m/min)

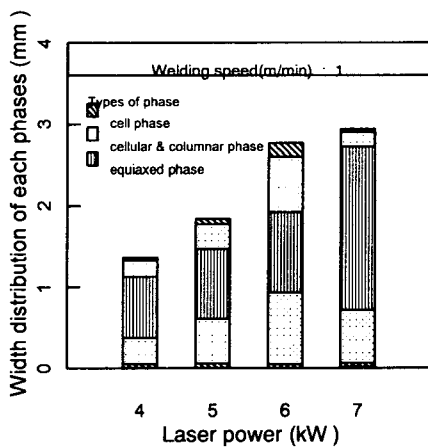


Fig 3. Width distribution of each phases with laser power (welding speed:1m/min)

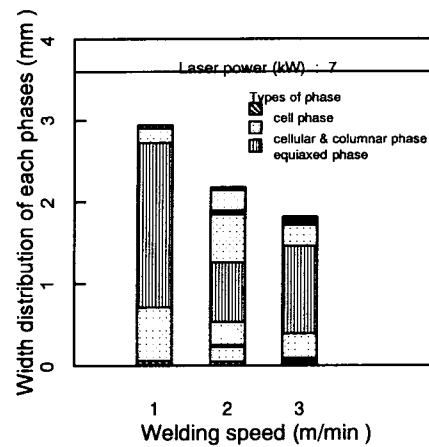


Fig 4. Width distribution of each phases with welding speed (laser power:7kW)